



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ”

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту



**МАТЕРІАЛИ
VII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

**Київ
2015**

Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. – 480 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на VII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина».

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики; енергоефективні екобезпечні технології та обладнання; автоматизація управління електротехнічними комплексами; електромеханічне обладнання енергоємних виробництв; теплотехніка та енергозбереження; геобудівництво та гірничі технології; охорона праці, промислової та цивільної безпеки; інженерна екологія, а також особливості функціонування паливно-енергетичного комплексу України з урахуванням природоохоронних вимог. Викладено методи аналізу системи електропостачання, дано оцінку рівнів енергозабезпеченості та енергоефективності з урахуванням екологічного фактора та впливу галузі на людину.

*Друкується за рішенням організаційного комітету науково-технічної конференції
«Енергетика. Екологія. Людина»*

Організаційний комітет: Денисюк С. П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ НТУУ «КПІ»; Закладний О.М., к.т.н., доцент, заступник директора ІЕЕ НТУУ «КПІ»; Кравець В. Г., д.т.н., професор, зав. кафедри ГТіБ; Дешко В. І., д.т.н., професор, зав. кафедри ТЕ; Шевчук С. П., д.т.н., професор, зав. кафедри ЕМОЕВ; Ткачук К.К., д.т.н., професор, зав. кафедри ІЕ; Левченко О. Г., д.т.н., професор, зав. кафедри ІЕ; Розен В. П., к.т.н., професор, зав. кафедри АУЕК; Лежнюк П.Д., д.т.н., професор, зав. кафедри електричних станцій та систем, ВНТУ; Каплун В.В., д.т.н., професор, зав. кафедри електроніки та електротехніки, проректор з наукової та іноваційної роботи, КНУТД; Стасюк О.І., д.т.н., професор, зав. кафедри Інформаційні системи і технології на залізничному транспорті, ДЕТУТ; Щокін В.П., д.т.н., професор, зав. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, ДВНЗ КНУ; Костюк В.О., к.т.н., с.н.с. Відділу прогнозування розвитку атомної та відновлюваної енергетики ІЗЕ НАН України;

Відповідальний секретар: Оборонов Т. Ю., інженер

Технічний секретар: Могилат Д.Ю., аспірант

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22, ауд. 310

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Тел./факс: (044) 406 83 08, 456 96 89

conference_eel@ukr.net

ЗМІСТ

Пленарне засідання

Управление электротепловыми объектами с запаздыванием. *Перекрест А.Л.*, к.т.н., доц, *Журавель Т.В.*, аспирант, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского 10

Прогнозирование использования полигонов твердых бытовых отходов в качестве основания сооружения. *Осипова Т.А.*, асп., *Ремез Н.С.*, д.т.н., проф.....24

Снижение энергоемкости разрушения ГП субрезонансными нагрузками. *Терентьев О.М.*, проф., д.т.н., *Клещов А. Й.*, асп.....29

Дослідження можливостей підвищення ефективності вітроенергетичних установок різної потужності. *Горенко Д. С.*, магістр., *Базюк Т.М.*.....34

Модельовання системи електромеханічних властивостей асинхронно-вентильного каскаду при регулюванні швидкості на насосних установках. *Красносільський М.О.*, магістр, *Закладний О.М.*, к.т.н., доц.....42

Підвищення рівня енергоефективності вентиляторної установки за схемою асинхронно-вентильний каскад. *Довгопола Н. О.*, магістр., *Закладний О.М.*, к.т.н., доц.....50

Управління електротехнічними комплексами

Система інтелектуального управління на базі нейронної мережі для прогнозування споживання електроенергії. *Демчик Я.М.*, студ., *Розен В.П.*, д.т.н. проф.....60

Вентильно-індукторний двигун з системою керування для приводу верстат-гойдалок. *Бібік О.В.*, с.н.с., інституту електродинаміки НАНУ, *Клименко В. Г.*, магістр, *Поліщук В.О.*, ст. викл.....63

Контроль та управління якістю повітряного середовища у приміщенні по рівню CO₂. *Масник Т.В.*, студ., *Шульга Ю.І.*, *Броницький В.О.*, асп.....65

Дослідження систем автоматичного регулювання (САР) навантаження видобувних машин по фактору газовиділення з використанням прикладного пакету SIMULINK програмного комплексу MATLAB. *Андросова І.В.*, магістрант, *Алтухов Є.І.*, к.т.н., доц. 70

Математичне моделювання розподільних електричних мереж. *Суменко К.Ю.*, студ, *Зорін В.В.* 74

Нечітке керування електроприводом припливної вентиляції на базі програмованого логічного контролера. *Добровольський А.В.*, студ., *Торопов А.В.*, к.т.н. 78

Модельовання елементів дробильно-помольного комплексу з використанням штучних нейронних мереж. *Мейта О.В.*, к.т.н., доц., *Поліщук В.О.*, ст. викл., *Поволоцький Є.Р.*, студ. 81

Реалізація систем розмотки стрічкових матеріалів з використанням ультразвукового датчика радіуса. <i>Шумський Є.В.</i> , студ., <i>Торопов А.В.</i> , к.т.н.	88
Распознавание аварийных ситуаций асинхронного электродвигателя по акустическому сигналу. <i>Рябоконт К.М.</i> , студ., <i>Дубовик В.Г.</i> , <i>Лебедев Л.Н.</i> , <i>Брагина Л.Е.</i>	94
Многодвигательный асинхронный электропривод согласованного вращения. <i>Данилин А.В.</i> , к.т.н., доц., <i>Бычковский О.С.</i> , студ., <i>Реентенко В.Р.</i> , студ., <i>Гайдаенко И.В.</i> , студ.	102
Комбіноване керування статично врівноваженою підйомною установкою з задаючою моделлю і нечітким регулятором. <i>Босак А.В.</i> , асист., <i>Петрученко А.О.</i> , асп., <i>Шевченко В.І.</i> , студ.	106
Модельовання радіаційної активності Сонця в межах м. Києва та нагрівання фото електричних панелей. <i>Бичківський О.С.</i> , студ.	110
Исследование динамических режимов работы вентиляторной установки с регулируемым электроприводом по системе ТРН-АД. <i>О. В. Чермалих</i> , <i>В.М. Пермяков</i> , <i>О. С. Иржавский</i>	116
Прості математичні моделі на основі системи лінійних алгебраїчних рівнянь. <i>Рудковський В. В.</i> , студ., <i>Осадчук М.П.</i> , асп., <i>Поліщук В.О.</i> , ст. викл.	123
Сучасні методи прогнозування енергоспоживання за допомогою нейронних мереж. <i>Тишевич Б.Л.</i> , к.т.н., доц.	125
Сучасні методи підготовки даних та розробки моделей в прогнозуванні енергоспоживання. <i>Тишевич Б.Л.</i> , к.т.н., доц., <i>Марченко А.А.</i> , студ.	131
Використання нейронних мереж для короткострокового прогнозування електричного навантаження в енергосистемах. <i>Тишевич Б.Л.</i> , к.т.н., доц.	138
Енергозберігаюча система електроприводу шахтних ручних бурильних машин. <i>Закладний О.М.</i> , к.т.н., доц., <i>Прядко С.Л.</i> , ст.вик., <i>Шевель Є.Д.</i> , <i>Буря О.О.</i>	143
Оптимальное управление электроприводом з вентильним двигуном електронавантажувача. <i>Закладний О.М.</i> , к.т.н., доц., <i>Могила Д.Ю.</i> , асп.	151
Прогнозування залишкового ресурсу синхронного електропривода. <i>Закладний О.М.</i> к.т.н., доц., <i>Оборонов Т.Ю.</i> інж., <i>Закладний О.М.</i> , к.т.н., доц.,.....	159
Сталий розвиток енергетики	
Вибір чинників для побудови математичних моделей електроспоживання виробничих об'єктів. <i>Єгорова І.О.</i> , студ., <i>Находов В. Ф.</i> , к.т.н., доц., <i>Титарчук О.П.</i> , студ.....	163
Ефективність використання вентиляційних установок рекуперативного типу. <i>Листопадська Т.В.</i> , студ., <i>Ковальчук А.М.</i>	168
Побудова моделі для оцінювання рівня енергетичної безпеки регіону. <i>Лосєва В.І.</i> , студ., <i>Чернявський А.В.</i> , к.т.н., доц.	174

Сучасний стан та перспективи розвитку альтернативних джерел енергії в Україні. Троцька М.С., студ., Мітюк Л.О., к.т.н, доц., Онопрієнко М.Г.	179
Тепловой потенциал грунта киевской области как основной источник для работы теплового насоса. Олійник М.В., студ., Задвернюк В.В.	183
Перспективи використання торфу в якості місцевого альтернативного палива для котельні промислового об'єкту. Плотник Л.А., студ., Іншеков Є.М, к.т.н., доц.	192
Блискавичні ферми – альтернативне джерело енергії. Мітюк Л.А., к.т.н, доц., Слободян Е.М., Шевченко А.О.	200
Удосконалення методів розрахунку компенсації реактивної потужності. Орлов М.В., студ., Самарцев І.В., студ.	204
Моніторинг показників енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту. Пецова О.О, студ., Іванько Д.О., студ., Находов В.Ф., доц., к.т.н.....	210
Формування кластерної моделі для визначення стратегії оптимального рівня використання потенціалу енергозбереження. Мидловець О.А., студ, Чернявський А.В., к.т.н., доц.	218
Аналіз та можливі шляхи удосконалення методики розрахунку нормативних витрат електричної енергії на виробництво і транспортування тепла. Мазасва Т.В., студ., Іванько Д.О., студ., Находов В.Ф., доц., к.т.н.	226
Методи керування процесом енергозбереження. Куцан А.С., студ., Чернявський А.В., к.т.н., доц.	234
Вплив воднево-кисневого генератора на якість роботи установок, що працюють на твердому паливі. Ковальчук А. М., к.т.н., доц., Сусюк Д. В., студ.	240
Новітні способи контролю та визначення місць ушкодження ізоляції кабелів. Романюк Р.А., студ., Третьякова Л.Д., к.т.н., проф.	241
Оцінка стану мережі згідно концепції SGMM та її використання. Ериєнгорен Н.Е., студ., Денисюк С.П., д.т.н., проф.	246
Актуальні проблеми функціонування систем обліку електричної енергії. Кравцов В.С., студ., Калінчик В.П., к.т.н.....	251
Техноценологічний підхід у вирішенні задач з енергетичної ефективності. Василенко В.И., Денисюк С.П., д.т.н., проф.....	252
Аналіз та можливі шляхи удосконалення методики розрахунку нормативних витрат електричної енергії на виробництво і транспортування тепла. Находов В.Ф, доц., к.т.н., Мазасва Т.В., Іванько Д.О.	260

Енергоефективні екобезпечні технології та обладнання

Теплообмін і гідродинаміка потоку з надкритичними параметрами при стаціонарному та нерівномірному обігріві. <i>Очеретнюк Р.В., Гавриш А.С.</i>	269
Аналіз ефективності роботи системи опалення навчального корпусу №7 НТУУ «КПІ». <i>Яценко О. І., Мотрич С. С., студ., Суходуб І.О., к.т.н., асп.</i>	277
Техніко-економічний аналіз систем вентиляції з теплоутилізацією для будівель з різними типами теплопостачання. <i>Кузьмина Ю.С., студ., Суходуб І.О., к.т.н., асп.</i>	284
Про застосування поверхнево-активних речовин та перспективи застосування нанокераміки в теплообмінних установках. <i>Гальченко І.В., студ., Затірка Н.О., студ., Гавриш А.С.</i>	291
Порівняльний аналіз національного методу розрахунку енергоспоживання згідно з ДТСУ Б EN ISO 13790 та українських стандартів. <i>Щербакова Ю.Є., студ., Дешко В.І., проф., д.т.н.</i>	296
Аналіз активних геліосистем на основі сонячних колекторів для опалення та кондиціонування житлових приміщень. <i>Сачук В.О., студ., Ленькин О.В., к.т.н., доц.</i>	301
Огляд та аналіз показників твердопаливних «піролізних» та звичайних котлів. <i>Виноградов-Салтиков В.О., Пабат М.Г.</i>	305
Дослідження впливу експлуатаційних факторів на енергоспоживання навчальних корпусів. <i>Войналович О.О., студ., Шовкалюк М.М.</i>	313
Розрахунок тепло насосної установки з горизонтальним ґрунтовим колектором для опалення та гарячого водопостачання. <i>Дмитренко Т.В., студ., Константинов С.М., к.т.н., проф.</i>	320
Термомолекулярна енергетика – новий стандарт енергоефективності та екологічної безпеки. <i>Бублей В.О., студ., Тишковець А.В., Бублей В.О.</i>	328
Методи зниження параметрів пари. <i>Задьора А.Т., студ., Задвернюк В.В., ст. вик.</i>	334
Аналіз ефективності фотоелектричних систем комунального призначення. <i>Карпенко Д.С., студ., Шкляр В.І., к.т.н., Дубровська В.В., к.т.н.</i>	337
Застосування акустичних сенсорів для передбачення потоку відхилення в компактних флотаційних пристроях. <i>Бірюков Д.В., студ., Приходько А. Є.</i>	345
Використання енергії геотермальних родовищ. <i>Петрова К.І., студ.</i>	353
Геотехнологія, екологія та промислова безпека	
Аналіз ризиків АЕС на стан здоров'я жителів прилеглих регіонів. <i>Наумчук О.С., студ, Лемешко О.Г., к.т.н.</i>	358

Переваги та недоліки термokatалітичного реактору при очищенні шкідливих газів на хімічних підприємствах. <i>Петренко О.В.</i> , студ., <i>Шевчук Н.А.</i> , к.т.н. доц.	362
«Зелена економіка» для забезпечення переходу України сталого розвитку у контексті екологічних проблем ХХІ століття. <i>Носова В.О.</i> , студ., <i>Шевчук Н.А.</i> , к.т.н., доц.	366
Діяльність та вплив машинобудівного підприємства на екологічну ситуацію в місті (ТОВ «Мотордеталь-Конотоп», м. Конотоп). <i>Мельничук М.О.</i> , студ., <i>Висоцький О.І.</i> , асист.	370
Утворення відпрацьованих свинцево–кислотних акумуляторів та методи їх утилізації на філії «Бородянське Рай ДУ» ДП «Київське обласне дорожнє управління». <i>Косяк І.В.</i> , студ., <i>Висоцький О.І.</i>	376
Екологічність та енергетичність хмарних обчислень. <i>Канар М.О.</i> , студ., <i>Шевчук Н.А.</i> , к.т.н., доц.	381
Дослідження процесу переробки нафтошламу методом біодеструкції. <i>Радецька О.Й.</i> , студ., <i>Сергієнко М.І.</i> , ст. викл.	386
Торф як доступне джерело енергії для України в період енергетичної кризи. <i>Кольцов М.А.</i> , студ., <i>Гребенюк Т.В.</i>	391
Зменшення шуму від шахтних вентиляційних установок шляхом застосування методу вібродемпферування. <i>Мельничук М.О.</i> , студ., <i>Жукова Н.І.</i> , ст.вик.	397
Проектування заходів очистки стічних вод та утилізації сироватки з утворення біогазу на підприємстві «Кагма». <i>Косяк І.В.</i> , студ., <i>Жукова Н.І.</i> , ст.вик.	402
Спосіб знешкодження фільтрату на полігонах твердих побутових відходів. <i>Шабельник І.Ю.</i> , студ., <i>Шевчук Н. А.</i> , к.т.н., доц.	406
Выбор вентиляционного режима при пожаре на шахте. Устойчивость и стабилизация вентиляции. <i>Петренко О.В.</i> , студ., <i>Носова В.О.</i> , студ., <i>Жукова Н.І.</i> , ст.вик.	410
Питома поверхнева енергія, як один з ключових параметрів руйнування гірських порід. <i>Терентьєв О. М.</i> , <i>Стрельцова І. М.</i>	414
Вибухо-механічне руйнування гірських порід концентрованим ударним ядром. <i>Терентьєв О. М.</i> , д.т.н., професор, <i>Гонтарь П. А.</i> , асп.	419
Аналіз утилізації твердих побутових відходів в місті Києві. <i>Гурська Ю.В.</i> , студ., <i>Задвернюк В.В.</i> , ст. вик.	425
Очистка біогазу за допомогою молекулярних сит. <i>Бойко А.Г.</i> , студ., <i>Козьяков В.С.</i> , к.т.н., доц.	430
Отримання біогазу шляхом інтенсифікації процесу метанового бродіння. <i>Шкуріна А.О.</i> , студ., <i>Козьяков В.С.</i> , к.т.н., доц.	433

Перспективи видобування та ефективність використання сланцевого газу в Україні. Петренко О.В., студ., Сергієнко М.І., ст. вик.	437
Інтенсифікація процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз. Ополінський І.О., студ., Дичко А.О.	442
Покращення ефективності вловлювання аерозолі фарби при фарбуванні автомобілів. Меркулова А.О., студ., Козьяков В.С., к.т.н., доц.	445
Вплив технології відпрацювання розвалу гірської породи на розміри та форму розвалу негабариту. Шамрай В.І., асп., Коробійчук В.В., к.т.н., доц.	450
Аналіз способів регенерації трансформаторних масел. Прченко Я.М., студ., Ворфоломеев А.В.	453
Аналіз способів очищення стічних вод від нафтопродуктів. Бовкун Д.С., студ. Ворфоломеев А.В.	458
Механіка контактної взаємодії гірської породи х плоскими різьцями шнекового бура в процесі віброруйнування. Шевчук С.П., д.т.н., проф., Зайченко С.В., д.т.н., доц., Захарова І.В., асп.	463
Струминний апарат прямої дії для підвищення продуктивності видобутку вуглеводнів. Сліденко В. М., к.т.н., доц., Лістовицький Л.К., к.т.н., доц., Галба Є. В., асп.	468
Удосконалення технології двигунів внутрішнього згоряння з метою підвищення екологічної безпеки на гірничих підприємствах. Перелет М.С., студ, Лемешко О.Г., к.т.н.	474
Обґрунтування рекомендації щодо зменшення негативного впливу деревообробного підприємства на робочу зону. Тимошук Л.В., студ, Лемешко О.Г., к.т.н.	477

РОЗДІЛ А
ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

УДК 621.365:621.316.7

А.Л. Перекрест, канд. техн. наук, доцент,

Т. В. Журавель, аспирант

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Рассмотрена задача регулирования теплопотребления систем отопления гражданских зданий, имеющих значительное запаздывание по каналам регулирования. Приведен анализ способов регулирования тепловой нагрузки. В качестве базового способа обосновано качественно-количественный принцип с помощью автоматизированных узлов погодного регулирования, устанавливаемых в индивидуальных пунктах. Процесс настройки и эксплуатации автоматизированных узлов погодного регулирования является достаточно трудоемкой задачей, так как зависит от динамических свойств и режима использования здания, а также погодных условий. В результате параметрической идентификации систем отопления различных зданий по переходным характеристикам пуска установлено, что это объекты с существенным запаздыванием. Выполнен сравнительный анализ классических и современных методов настройки регуляторов для объектов с запаздыванием. Анализ результатов настройки различных регуляторов для замкнутых систем регулирования объектов с запаздыванием показал, что наиболее целесообразно использовать существующие автоматизированные интерактивные процедуры настройки регуляторов. В ходе сравнительной оценки показателей качества для двух соизмеримых по объему учебных зданий определено, что чем меньше зависимость времени запаздывания от постоянной времени здания, тем проще настройка регулятора и лучше показатели качества регулирования. Выявлено, что для соизмеримых по объему зданий с одинаковой этажностью динамические показатели работы системы отопления здания с двумя насосами лучше, чем системы отопления здания с одним насосом. Обоснован подход к режимному регулированию теплопотребления зданий с переменным характером использования, обеспечивающий при выполнении требований санитарно-гигиенических норм, уменьшение теплопотребления за счет уменьшения влияния запаздывания.

Ключевые слова: система отопления, индивидуальный тепловой пункт, система автоматического регулирования, время запаздывания, режимное регулирование теплопотребления.

Введение. На отопление зданий расходуется около 40% топливных ресурсов нашей страны. Учитывая значительный рост тарифов на жилищно-коммунальные услуги, в том числе на отопление, важным для Украины является решение проблемы рационального использования энергоресурсов. Повысить эффективность работы системы отопления (СО) здания за счет экономии энергоресурсов при обеспечении требуемых параметров микроклимата в помещениях возможно посредством регулирования тепловой мощности СО.

Развитие способов регулирования в отечественном теплоснабжении происходило параллельно с развитием теплофикации, ростом городов, появлением в балансе нагрузок систем теплоснабжения разнородных тепловых нагрузок отопления, вентиляции и

горячего водоснабжения. Способы регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения разработаны в 50-е годы прошлого века, когда определяющей нагрузкой систем теплоснабжения была отопительная нагрузка коммунально-бытовых потребителей, а основными источниками теплоснабжения были районные котельные. Небольшая протяженность тепловых сетей, малое количество потребителей, постоянный расход теплоносителя – все это позволяло достаточно эффективно осуществлять регулирование тепловой нагрузки потребителей по отопительному температурному графику [1].

Из-за отсутствия приборов автоматического регулирования и обеспечение страны дешевым топливом в прошлом, широкое распространение получило качественное регулирование тепловой нагрузки, при котором расходы сетевой воды в теплосети остаются постоянными, а тепловая нагрузка потребителей регулируется изменением температуры подающей магистрали теплосети. Другие не менее эффективные способы регулирования, такие как количественный (регулирование изменением расхода в зависимости от температуры наружного воздуха при постоянной температуре воды подающего трубопровода) и качественно-количественный (регулирование изменением расхода и температуры теплоносителя), практически не развивались. В настоящее время появились новые технические возможности, позволяющие реализовать в системах теплоснабжения способы количественного и качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки, которые имеют целый ряд преимуществ перед качественным регулированием [1].

Для решения этой задачи необходимы тщательный пересмотр и корректировка концепции теплоснабжения и, в частности, положений, касающихся регулирования тепловой нагрузки, сформулированных в 50-е годы XX века. При разработке новой концепции отечественного теплоснабжения необходимо в полной мере использовать положительный опыт зарубежных стран по выходу из энергетического кризиса 70-80 годов. Существенные результаты по энергосбережению в системах теплоснабжения зарубежных стран были достигнуты за счет централизации теплоснабжения, применение комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, технической модернизации всех составляющих системы теплоснабжения, 100% автоматизации абонентских установок [2].

Отопление домов начинают при устойчивом (в течение 5 суток) снижении среднесуточной температуры наружного воздуха до 10 °С и ниже, а заканчивают при устойчивом повышении температуры наружного воздуха до 10 °С. Период отопления



Рис. 1. Продолжительность стояния одинаковой среднесуточной температуры наружного воздуха за различные отопительные периоды в г. Кременчуг

домов в течение года называют отопительным сезоном. Продолжительность отопительного сезона устанавливают на основании многолетних наблюдений как среднее число дней в году с устойчивой среднесуточной температурой наружного воздуха $T_{нар} \leq 10$ °С. Для характеристики изменения температуры наружного воздуха $T_{нар}$ в течение различных отопительных сезонов рассмотрим графики продолжительности стояния одинаковой среднесуточной температуры на примере города Кременчуг (рис. 1), где нормативная продолжительность отопительного сезона составляет 178 суток [3]. Данные по распределению температур по разным диапазонам для различных отопительных периодов сведены в табл. 1. Как видно, наибольшая продолжительность стояния температуры наружного воздуха относится к средней температуре отопительного сезона (3 °С). Эта закономерность характерна для большинства районов страны.

Продолжительность отопительного сезона небольшая лишь на крайнем юге (3-4 месяца), а на большей части Украины она составляет 183 суток.

Таблица 1

Количество дней и проценты распределения температур по разным диапазонам для различных отопительных периодов

Отопительный период	(-22...-4)	(-3...+2)	(+3...+20)
2010-2011	75 дней (41%)	58 дней (32%)	50 дней (27%)
2011-2012	58 дней (32%)	98 дней (53%)	28 дней (15%)
2012-2013	58 дней (32%)	82 дня (44%)	43 дня (24%)
2013-2014	34 дня (19%)	101 день (55%)	48 дней (26%)

На основе данных из графиков продолжительности стояния одинаковой среднесуточной температуры прошлых отопительных сезонов (рис. 1.10-1.12), при которых 40-50% отопительных сезонов стояла температура выше 0 °С, целесообразно регулировать режимы работы системы отопления гражданских зданий с целью экономии тепловых ресурсов.

Для регулирования тепловой нагрузки систем отопления зданий различного назначения известны и частично используются различные подходы и решения. Так, например, в [4] осуществляется измерение температур наружного воздуха и обратной воды, вычисление полусуммы температур наружного воздуха и обратной воды и стабилизация исчисленной полусуммы температур изменением расхода теплоносителя или его температуры. Данное решение предназначено для использования в системах отопления, присоединенных к тепловым сетям, при пофасадного или ином регулировании.

В работе [5] обеспечение комфортных условий в помещении достигается изменением расхода теплоносителя по определенной зависимости, которая учитывает экспериментально определенные паспортные характеристики отдельных отопительных приборов. Данный способ заключается в том, что поддерживают температуру воды на входе в систему постоянной, а расходы воды, контролируемых датчиком расходов, изменяются или в зависимости от температуры наружного воздуха, или в зависимости от температуры обратной воды.

Согласно [6] в систему отопления введен второй нагреватель, вход которого соединен с микроконтроллерной системой, а выход – с датчиком температуры окружающей среды, основной задачей которого является осуществление контроля над точностью измерений датчика температуры окружающей среды.

В работе [7] на трубе подачи горячей воды установлено управляемое электронным регулятором устройство, которое осуществляет управляющие воздействия регулятора путем подачи горячей воды импульсами максимального расхода воды заданных частоты и скважности; величины этих параметров определяются техническими характеристиками здания и температурой наружного воздуха.

Но вместе с тем, рассмотренные подходы и решения имеют ряд недостатков:

- необходимость экспериментального определения паспортных характеристик отдельных отопительных приборов;
- не учитывается переменное использование зданий и возможность меньшего потребления тепловой мощности в выходные дни и нерабочее время;
- не учитывается текущее значение температуры воздуха обслуживаемого помещения;
- не учитывается режим работы обслуживаемого помещения;
- отсутствие универсальных принципов расчета параметров управляющего воздействия с электронного регулятора на электромагнитный клапан в зависимости от особенностей обслуживаемого здания: внешний объем, принятый температурный график;
- не учитывается транспортное запаздывание в системах отопления зданий.

Таким образом, регулирования параметров систем отопления зданий является достаточно актуальной задачей.

Цели и задачи исследования. Обоснование подхода к регулированию теплотребления зданий с переменным режимом работы и его экспериментальная апробация.

Материал и результаты исследований.

Решить большую часть описанных выше недостатков в существующих решениях регулирования параметров систем отопления гражданских зданий позволяет предложенный авторами подход к режимному регулированию [8]. Согласно подходу, регулирование параметров системы отопления гражданских зданий проводится в зависимости от температуры окружающей среды, технических характеристик здания и режима его использования, для обеспечения управления затратами тепловых ресурсов на систему отопления и, как следствие, управление температурой воздуха в здании, что

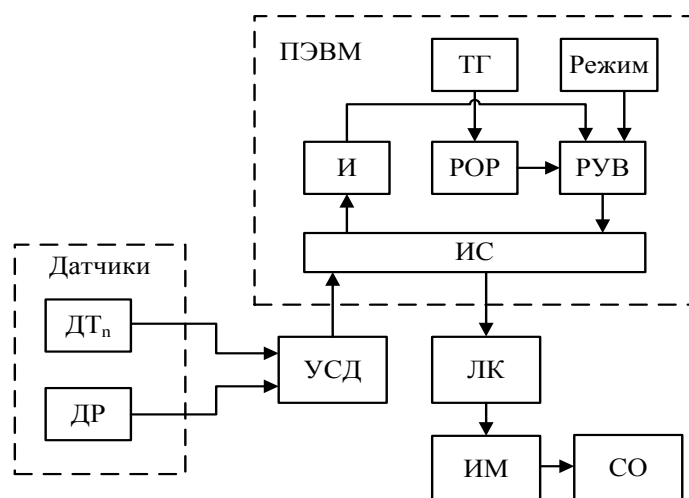


Рис. 2. Функциональная схема системы управления тепловым пунктом общественного здания

позволит уменьшить тепловые потери на отопление обслуживаемого здания. Для регулирования температуры в системе отопления проводится идентификация системы отопления конкретного здания, учитывается температурный график работы тепловой сети, индивидуальный для определенной климатической области, в которой находится здание, определяется режим работы здания, учитывается текущее значение температуры внутреннего воздуха помещения. Функциональная схема и этапы работы системы управления тепловым пунктом общественного здания представлены на рис. 2 и 3.

На рис. 2 приняты обозначения: ДТ_н – датчики температуры наружного и внутреннего воздуха, температуры теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах; ДР – датчик расхода теплоносителя; УСД – устройство сбора данных; ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина (персональный компьютер); ТГ – температурный график системы отопления; Режим – режим работы здания, И – блок идентификации системы отопления здания; РОР – блок расчета относительных расходов теплоносителя; РУВ – блок расчета управляющих воздействий; ИС – интерфейс связи; ЛК – локальный контроллер управления; ИМ – исполнительные механизмы теплового пункта; СО – система отопления здания.

Существующие решения по изменению мощности систем отопления отдельных зданий в зависимости от внешней температуры связаны с применением методов качественно-количественного регулирования параметров теплоносителя. Это достигается путем модернизации тепловых пунктов зданий с установкой комплекса исполнительной арматуры, измерительной и управляющей аппаратуры (рис. 4), включая насосы, клапан с электроприводом, электронного микропроцессорного регулятора с датчиками температуры теплоносителя и воздуха.

Насосы являются основными элементами системы отопления здания. Их работа полностью взаимосвязана со всем оборудованием системы, в том числе и запорно-регулирующей арматурой, так как от их совместной работы зависит эффективность функционирования всей системы. Особенно это касается систем с переменным гидравлическим режимом, где регулирование расходом теплоносителя приводит к изменению гидравлических и электрических параметров насоса.

Насос можно включать на подающей линии системы отопления, на обратной линии или же на перемычке между ними. Размещение насосного узла на подающей линии внутренней системы теплоснабжения применяется при необходимости повышения располагаемого напора на вводе в здание, обычно, при большой этажности здания и значительной удаленности от источника теплоснабжения. Размещение насосного узла на обратной линии внутренней системы теплоснабжения применяется в случаях малого располагаемого перепада на вводе в здания. Установка насосного узла смещения на подающей или обратной линиях внутренней системы теплоснабжения приводит к увеличенному расходу электроэнергии насосным узлом вследствие необходимости установки насосов с большим расчетным расходом в сравнении с насосом на перемычке. Насос на перемычке, обеспечивая смешивание, не влияет на величину циркуляционного давления для системы отопления [2].



Рис. 3. Этапы работы системы управления тепловым пунктом общественного здания

В схеме на рис. 4 насос Н1 выполняет функции смесительного устройства, а насос Н2 используется для улучшения гидравлических и тепловых режимов в крайних ветвях системы отопления обслуживаемого здания.

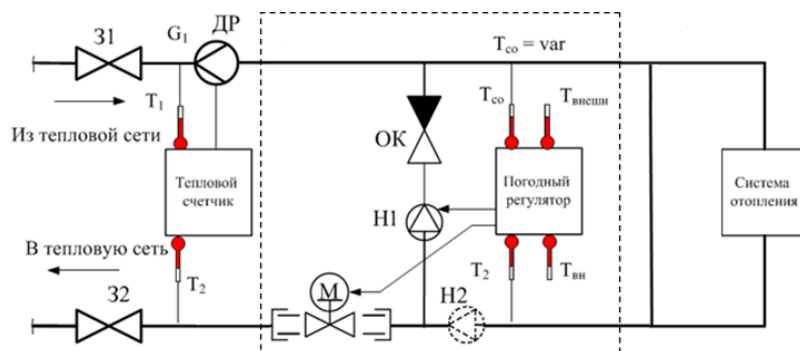


Рис. 4. Блок-схема регулируемых ИТП зданий

Теплосчетчики за счет измерения расхода и температур теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе позволяют определять фактическое теплopotребление зданий. Стандартный функционал теплосчетчиков позволяет фиксировать в своей внутренней

памяти среднечасовые значения параметров системы теплоснабжения здания за различные периоды времени (месяц, год), а также благодаря наличию встроенного коммуникационного интерфейса может включаться в автоматизированные системы учета энергоресурсов.

Погодные регуляторы обеспечивают пропорционально-интегральное регулирование температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления здания, в зависимости от температуры наружного воздуха с коррекцией по температурам внутреннего воздуха и теплоносителя, возвращаемого в теплотрассу по определенному температурному графику отопления. Контроллер индивидуального теплового пункта определяет на основании постоянной времени здания так называемую «комбинированную» температуру наружного воздуха, которая и используется как корректирующий сигнал в автоматической системе регулирования температуры воды на отопление. При этом от правильного выбора коэффициентов и настроек таких регуляторов зависит эффективность функционирования в целом систем теплоснабжения отдельных зданий. Поэтому процесс настройки контроллера под определенную конкретную систему отопления является достаточно трудоемкой задачей.

В работе рассматриваются два пятиэтажных учебных корпуса (корпуса №№ 2 и 5) Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского (КрНУ), данные которых приведены в табл. 1. В университете внедрена и успешно используется автоматизированная система мониторинга температурных режимов и удаленного управления теплоснабжением [9]. В индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) рассматриваемых зданий (рис. 4) установлено оборудование для погодного регулирования температуры теплоносителя, которое включает: электронный контроллер (Danfoss ECL Comfort 200 и Siemens RVD); циркуляционные насосы (Н1 и Н2); клапан с электроприводом (М); датчики температуры теплоносителя, внешней и внутренней температур воздуха. Для учета расхода теплоносителя в каждом ИТП установлено тепловые счетчики. Для удаленного контроля и регулирования теплоснабжения отдельных учебных корпусов используется диспетчерские решения в виде преобразователей интерфейсов связи, персонального компьютера оператора с установленным программным обеспечением [9].

Таблица 1

Данные корпусов КрНУ

Характеристики	Корпус № 2	Корпус № 5
Внешний объем, м ³	21961	23423
Общая площадь, м ²	5132,4	4462,4
Расчетная тепловая нагрузка Q, Гкал/час (кВт)	0,302 (351,23)	0,2762 (321,22)
Система отопления	вертикальная однетрубная	вертикальная двухтрубная
Количество насосов (рис. 2)	Н1	Н1, Н2
Год постройки	1980	1987

Для обеспечения регулирования параметров системы отопления здания необходимо иметь математическое описание объекта. Проведенные исследования [10] показывают, что объект управления имеет существенное запаздывание и может быть представлен в виде следующей передаточной:

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \cdot e^{-T_d \cdot s}, \quad (1)$$

а также конкретные ее параметры (коэффициенты, постоянные времени, время запаздывания) для учебных корпусов № 2 и № 5 (табл. 2).

Таблиця 2

Значение параметров передаточной функции (2) для учебных корпусов КрНУ

Параметры	k	T_1 , ч	T_2 , ч	T_d , ч	$s = \frac{T_d}{T_\Sigma}$
Корпус № 2	0,563	0,74	0,13	0,38	0,44
Корпус № 5	0,776	0,807	0,076	0,11	0,13

При переходе с одной тепловой нагрузки системы отопления на другую новый тепловой режим устанавливается не сразу, а с некоторым запаздыванием, которое вызвано в первую очередь инерционностью процессов, протекающих в системе отопления и значительной протяженностью ее трубопроводов. Наличие запаздывания объекта ухудшает динамику системы, поэтому для реализации регулирования тепловой нагрузки системы отопления возникает необходимость в выборе регуляторов. Регуляторы следят за отклонением контролируемого параметра от заданного значения и формируют управляющие сигналы для минимизации этого отклонения. Классификация регуляторов представлена на рис. 5.

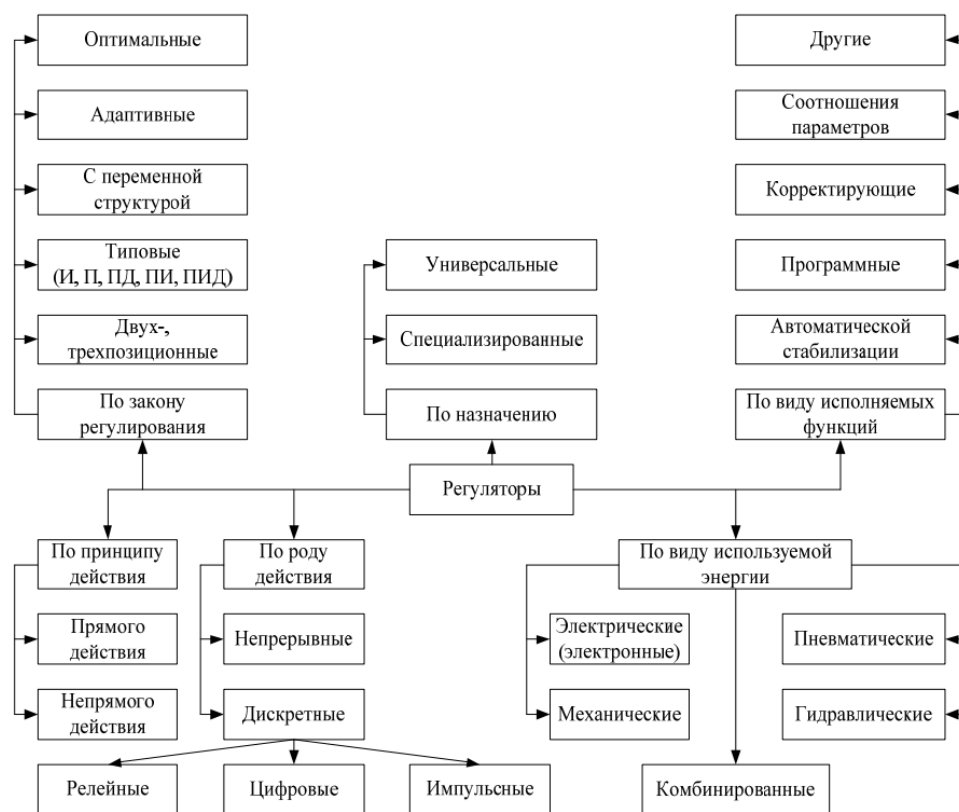


Рис. 5. Классификация регуляторов

Для исследуемых объектов выполнен синтез классических и современных регуляторов различными методами. В классических методах регулятор размещают в прямой или обратной цепи структуры системы. Современные методы, благодаря дополнительной обратной связи, моделирующей динамику объекта, из основного контура исключают чистое запаздывание. Результаты анализа методов синтеза сведены в таблицу 3. Так как объект регулирования включает звено запаздывания следует применять рекомендации для выбора закона регулирования и типа регулятора в зависимости от соотношения времени запаздывания от суммарной постоянной времени объекта (табл. 4) [11].

При отношении $T_d / T_{\Sigma} > 0,5$ типовые законы управления не могут обеспечить высокую точность и быстродействие процесса регулирования. Поэтому, повысить качество управления можно либо путем уменьшения запаздывания в объекте, либо за счет применения регулятора более сложной структуры, а именно оптимального регулятора. Из теории оптимального управления следует, что такой регулятор в своей структуре должен содержать модель объекта управления. Системы управления с моделью объекта обладают возможностью предугадывать будущие изменения состояния объекта. Они незаменимы для объектов с существенным запаздыванием. Перечисленные в табл. 4 объекты регулирования с $T_d / T_{\Sigma} < 0,2$ устойчивы и обладают самовыравниванием.

Таблица 3

Существующие методы синтеза регуляторов

Название	Суть метода	Особенности метода
Классические методы синтеза	Гурецкий/Громов	Синтез параметров регулятора с двумя доминирующими T_1 и T_2
	Кулаков	Использование передаточных функций оптимальных регуляторов, а также соответствующие каждому алгоритму регулирования частные случаи передаточных функций объектов
	Промышленный	Использование статических и астатических объектов
Современные методы синтеза	Смитт	Используется прямая модель объекта, звено запаздывания не входит в контур обратной связи и не влияет на устойчивость и быстродействие системы, происходит регулирование в контуре с моделью без запаздывания, которое добавляется к полученному результату
	Ресвик	В регуляторе Ресвика используется обратная модель объекта, которая имеет дифференцирующее звено
	Циглер-Никольс	Определяются настройки исходя из коэффициента затухания равного 4, это приводит к медленному затуханию колебаний, а как следствие долгий процесс настройки параметров

Таблица 4

Рекомендации по выбору регулятора для объектов с запаздыванием

Соотношение $s = \frac{T_d}{T_{\Sigma}}$, ($T_{\Sigma} = T_1 + T_2$)	Характеристика объекта		Закон регулирования и тип регулятора
	По запаздыванию и инерционности	По степени регулирования	
$0 < s < 0,05$	Без запаздывания	Очень хорошо регулируемый	Релейный непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,05 < s < 0,1$	С большой инерционностью и малым запаздыванием	Очень хорошо регулируемый	Релейный непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор

$0,1 < s < 0,2$	С существенным запаздыванием	Хорошо регулируемый	Релейный непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,2 < s < 0,4$	С существенным запаздыванием	Еще регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,4 < s < 0,8$	С существенным запаздыванием	Труднорегулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,8 < s < 1$	С большим запаздыванием	Очень труднорегулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$s > 1$	С большим запаздыванием	Очень труднорегулируемый	Цифровой регулятор с предиктором

Используя данные методы синтеза регуляторов получено настроечные коэффициенты регулятора и показателями качества переходных процессов [12]. Графики переходных процессов, полученных при пуске и режимном регулировании для учебных корпусов при одинаковой наружной температуре воздуха представлены на рис. 6. Из графика видно, что для соизмеримых по объему зданий, время регулирования в замкнутой системе корпуса № 5 в два раза меньше времени регулирования корпуса № 2, благодаря наличию в ИТП корпуса № 5 корпуса дополнительного насоса на обратной линии системы отопления.

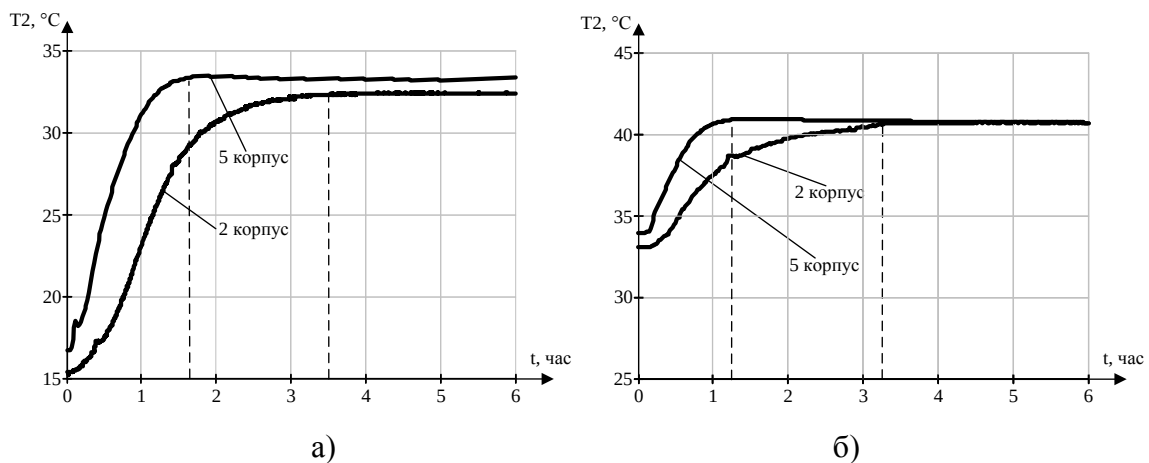


Рис. 6. Графики изменения температуры теплоносителя обратного трубопровода корпусов КрНУ № 2 и 5: а) при пуске и б) режимном регулировании

Анализ теплотребления корпусов КрНУ №№ 2 и 5 за различные отопительные периоды (рис. 7) показывает, что при одинаковых наружных условиях теплотребление пятого корпуса меньше чем второго. Так, в после внедрения автоматизированной системы в варианте рис. 4 в пятом корпусе в начале 2013 года его теплотребление в отопительном периоде 2012-2013 годов снизилось на 40 Гкал, в 2013-2014 гг. – еще на 54 Гкал даже при большем значении градусосумм (ГСОП) за счет оперативного режимного изменения теплотребления и еще на 33 Гкал в 2014-2015 гг. за счет увеличенных каникул. Теплотребление второго корпуса, в ИТП которого используется только насос на перемычке, тоже снижается. При этом, величина снижения значительно меньше чем в пятом корпусе.

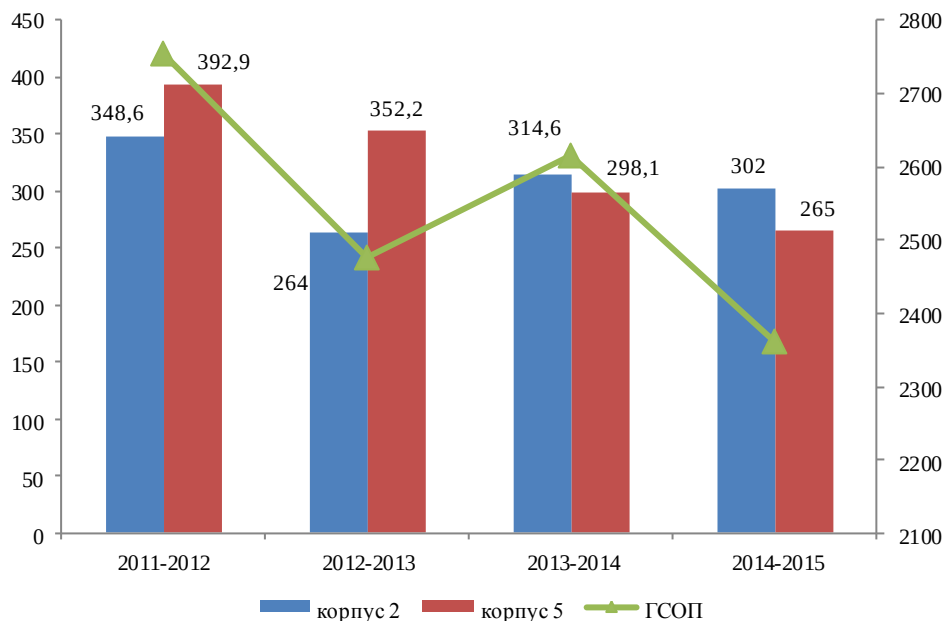


Рис. 7 Теплопотребление сравниваемых корпусов по различных сезонах

Выводы.

1. Выполненный анализ методов, способов и решений по регулированию тепловой нагрузки многоэтажных зданий показывает, что они не учитывают переменный во времени характер основного возмущающего воздействия – наружной температуры воздуха, режима использования здания, трудны в настройке регуляторов для объектов с запаздыванием.

2. Предложен способ режимного регулирования системы отопления, согласно которому регулируется расход теплоносителя путем управления исполнительными механизмами с локального контроллера в зависимости от температурного графика работы системы отопления, режима работы здания и определенных в блоке идентификации постоянных времени здания.

3. Предложена схема автоматизированного теплового пункта, которая за счет одновременного использования насосов на перемычке и в контуре систем отопления позволяет улучшить динамические свойства систем теплопотребления зданий при переменном характере их использования с учетом внешних факторов. Экспериментальными исследованиями по переходным характеристикам в пусковых и регулировочных режимах регулируемых по тепловой нагрузке и соизмеримых по объему зданий подтверждено возможность уменьшения влияния запаздывания на качественные параметры процесса регулирования.

Список литературы

1. Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. – М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.
2. Пырков В.В. Современные тепловые пункты: Автоматика и регулирование. – К.: Такі справи, 2007. – 252 с.
3. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2006. – 73 с.

4. Патент СССР 657221 Способ регулирования системы отопления, Гершкович В.Ф., Даниленко С.С., Нагорный Н.Д., Ферт А.Г., F24D 3/00, 1979.
5. Патент СССР 1688053 Способ количественного регулирования тепловой мощности системы отопления здания, Красиков В.И., Виглин Е.С., F24D 19/10, 1991.
6. Патент Украины 18454 Устройство для регулирования температуры системы отопления, Нарожный В.В., Бандура И.М., Малина В.Ю., Кальченко О.В., G05D 23/19, 2006.
7. Патент Украины 14325 Тепловой пункт КИАРМ, Маргулис К.Д., Кисель В.Л., Кисель В.В., Шквирич Д.Л., G05D 7/00, 2006.
8. Патент України 85322 Спосіб регулювання параметрів системи опалення цивільної будівлі, Перекрест А.Л., Карайбіда Т.В., F24D 3/00, 2013.
9. Загирняк М.В., Перекрест А.Л. Опыт внедрения и использования автоматизированной системы мониторинга температурных режимов и удаленного управления теплопотреблением Кременчугского национального университета // Электротехнические и компьютерные системы, Одесса, 2014. – № 15 (91), С. 423–426.
10. Перекрест А.Л., Карайбіда Т.В. Идентификация процессов в системах отопления учебных зданий // Вестник КрНУ. – Кременчуг, 2014. – Вып. 2/2014 (85), С. 15–24.
11. Ивашкевич С.А., Гаранский Г.Ф. Инструкция по настройке систем автоматического регулирования тепловой энергии тепловых пунктов. – Гродно: «Гродноэнерго», 2012. – 35 с.
12. Романча Д.В., Журавель Т.В. Синтез регуляторов для систем управления объектами с запаздыванием // Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів, 8–9 квітня 2015 р., Кременчук / Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. – Кременчук: КрНУ, 2015. – С. 219–220.

A. Perekrest, **PhD., Associate Prof.**, T. Juravel, **postgraduate**
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

MANAGEMENT OF ELECTRIC AND THERMAL OBJECTS WITH DELAY

The problem of regulating heat heating systems of civil buildings with a significant lag control channels. The analysis methods for heat load. As a basic method for qualitative and quantitative justified by the principle of using automated weather control units installed in individual offices. The process configuration and operation of automated control nodes weather is quite time-consuming task, as it depends on the dynamic properties and usage of the building, as well as weather conditions. As a result, the parametric identification of the different heating systems of buildings for transient response start found that this object with a significant delay. A comparative analysis of the classical and modern methods of tuning knobs for objects with delay. Analysis of the results of different settings controls for closed systems control objects with delay showed that the most appropriate to use the existing automated interactive setup procedure regulators. During the comparative assessment of quality indicators for two comparable in terms of school buildings is determined that the smaller the dependence of the delay on the time constant of the building, the easier and better control setting indicators of regulatory quality. It was found that the volume of comparable buildings with the same number of floors the dynamic performance of the building heating system with two pumps is better than building heating system with one pump. Based approach to the regulation of heat regime of buildings with character of the use, providing in meeting the requirements of hygiene, reducing the heat by reducing the impact of the delay.

Keywords: heating, individual heating unit, cruise control, time delay, modal heat regulation.

1. Sharapov, V.I. and Rotov, P.V. (2007), *Regulirovanie nagruzki sistem teplosnabjleniya* [Load regulation of heating systems], Novosti teplosnabjleniya, Moscow, Russia.
2. Pyrkov, V.V. (2007), *Sovremennye teplovye punkty: Avtomatika i upravlenie* [Modern heat points: Automation and control], Taki spravy, Kiev, Ukraine.
3. State Building Codes V.2.6–31:2006 (2006), *Konstruktsii budynkiv i sporud. Teplova izolyatsiya budivel* [Construction of buildings and structures. Thermal insulation of buildings], Minregionbud, Kiev.
4. Patent the USSR 657221 (1979), *Sposob regulirovaniya sistemi otopleniya* [A method for controlling the heating system], Gershkovich, V.F., Danilenko, S.S., Nagornyi, N.D. and Fert, A.G., F24D 3/00.
5. Patent the USSR 1688053 (1991), *Sposob kolichestvennogo regulirovaniya teplovoi moshnosti sistemi otopleniya zdaniya* [Method of quantitative regulation of thermal power of the heating system of the building], Krasikov, V.I. and Viglin, E.S., F24D 19/10.
6. Ukraine Patent 18454 (2006), *Ustroystvo dlya regulirovaniya temperatury sistemi otopleniya* [Apparatus for controlling the temperature of the heating system], Narojnyi, V.V., Bandura, I.M., Malina, V.Yu. and Kalchenko, O.V., G05D 23/19.
7. Ukraine Patent 14325 (2006), *Teplovoi punkt KIARM* [Thermal point KIARM], Margulis, K.D., Kisel, V.L., Kisel, V.V. and Shkvirin, D.L., G05D 7/00.
8. Ukraine Patent 85322 (2013), *Sposib reguluvannya parametriv systemy opalennya tsyvilnoyi budivli* [The method of regulation of parameters of the heating system of civil buildings], Perekrest, A.L. and Karaybida, T.V., F24D 3/00.
9. Zagirnyak, M.V. and Perekrest, A.L. (2014), "Experience in the implementation and use of the automated monitoring system of temperature modes and remote control of heat consumption Kremenchug National University", *Elektrotehnicheskie i kompyuternie sistemi*, Vol. 15, no. 91, pp. 423–426.
10. Perekrest, A.L. and Karaybida, T.V. (2014), "Identification of processes in heating systems of educational buildings", *Vestnyk KrNU*, Kremenchuk, KrNU, Vol. 2, no. 85, pp. 15–24.
11. Ivashkevich, S.A. and Garanskiy, G.F. (2012) *Instrukciya po nastroiike sistem avtomaticheskogo regulirovaniya teplovoy energii teplovi punktov* [Instructions for setting up systems of automatic regulation of thermal energy heat points], Grodenargo, Grodno, Belarus.
12. Romancha, D.V. and Juravel, T.V. (2015), "Synthesis of controllers for systems control objects with delay", *Elektromekhanichni ta enerhetychni systemy, metody modeliuvannia ta optymizatsii. Zbirnyk naukovykh prats XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistiv* [Electromechanical and Energy Systems, Modeling and Optimization Methods. Conference proceedings of the 13 th International conference of students and young researches], Kremenchuk, KrNU, April 8–9, 2015, pp. 219–220.

УДК 621.365:621.316.7

А.Л. Перекрест, канд. техн. наук, доцент, **Т. В. Журавель**, аспірант
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВИМИ ОБ'ЄКТАМИ З ЗАПІЗНЕННЯМ

Розглянуто задачу регулювання теплоспоживання систем опалення цивільних будівель, які мають значне запізнєння по каналам регулювання. Наведено аналіз способів

регулювання теплового навантаження. В якості базового способу обґрунтовано якісно-кількісний принцип за допомогою автоматизованих вузлів погодного регулювання, які встановлюються в індивідуальних пунктах. Процес настройки і експлуатації автоматизованих вузлів погодного регулювання є досить трудомістким завданням, оскільки залежить від динамічних властивостей і режиму використання будівлі, а також погодних умов. В результаті параметричної ідентифікації систем опалення різних будівель по перехідним характеристикам пуску встановлено, що це об'єкти з істотним запізненням. Виконано порівняльний аналіз класичних та сучасних методів настройки регуляторів для об'єктів з запізненням. Аналіз результатів настройки різних регуляторів для замкнутих систем регулювання об'єктів з запізненням показав, що найбільш доцільно використовувати існуючі автоматизовані інтерактивні процедури налаштування регуляторів. У ході порівняльної оцінки показників якості для двох співрозмірних за об'ємом навчальних будівель визначено, що чим менше залежність часу запізнювання від постійної часу будівлі, тим простіше настройка регулятора і краще показники якості регулювання. Виявлено, що для співрозмірних за об'ємом будівель з однаковою кількістю поверхів динамічні показники роботи системи опалення будівлі з двома насосами краще, ніж системи опалення будівлі з одним насосом. Обґрунтовано підхід до режимного регулювання теплоспоживання будівель зі змінним характером використання, що забезпечує при виконанні вимог санітарно-гігієнічних норм, зменшення теплоспоживання за рахунок зменшення впливу запізнення.

Ключові слова: система опалення, індивідуальний тепловий пункт, система автоматичного регулювання, час запізнення, режимне регулювання теплоспоживання.

УДК 628.4+ 504.062

Н.С. Ремез, д.т.н., проф.,
Т.А. Осіпова, асп.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИГОНОВ ТБО В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ

АННОТАЦИЯ. Прогнозирование осадки полигонов твердых бытовых отходов осуществлялось с помощью численного моделирования с учетом напряженно-деформированного состояния подстилающего грунтового массива для использования полигона в качестве основания сооружения. Осадка рассчитана для полигонов, в основе которых глинистые и песчаные грунты при движущейся поверхностной нагрузке. В работе впервые учитывается грунт основы, являющийся одним из основных составляющих полигона.

ABSTRACT. The article describes the prediction of landfill settlement carried out by numerical simulations based on the stress-strain state of the underlying soil for the future using of the landfill as a base of structure. Settlement was calculated for landfills, which based on clay and sand with the moving surface load. For the first time takes into account the ground soil, as the one of the main components of the landfill.

ВВЕДЕНИЕ. Украина занимает одно из первых мест в мире по количеству бытового мусора на душу населения. Под полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) и свалки отведено свыше 160 тыс. га земель. В Украине ежегодно образуется более 10 млн. т отходов, из которых более чем 90 % попадает на полигоны. Общее количество санкционированных полигонов и свалок в Украине – около 700. Наибольшие площади под полигоны отведены в Днепропетровской области (140 га), Донецкой области (330 га), Одесской области (195 га), Запорожской области (153 га) и Луганской области (129 га). После закрытия полигона или свалки остаются огромные площади земель, которые не используются. В связи с постоянным увеличением объемов отходов и, как следствие, увеличение площадей, отводимых под полигоны, остро встает вопрос об устойчивости полигонов и их возможном использовании в дальнейшем.

После закрытия полигона возможно его использование в качестве основы для сооружений и конструкций, в частности спортивных площадок, заповедников, автостоянок, промышленных парков, мест отдыха и т. д. Такая ситуация ставит перед учеными задачу по оценке и прогнозированию устойчивости свалки в качестве основы сооружений.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ. Анализ литературных источников показал, что экспериментальные методики оценки устойчивости свалки являются затратными и эффективны только для конкретных условий. Например, метод обратного анализа базируется на учете свойств уже разрушенных свалок, и не является удовлетворительным для других в связи с отличием состава отходов, природных условий, свойств слоев и подстилающего грунтового массива. В свою очередь с помощью лабораторных анализов не удастся отобразить условия полигона, в том числе захватить в одном образце все слои и учесть их геотехнические и физико-механические свойства. Поэтому для учета наряду деформированного состояния слоев полигона и подстилающего грунтового массива и его характеристик целесообразно применять математическое моделирование. Математические модели, прогнозирующие осадку

можно разделить на реологические модели, эмпирические модели, модели, базирующиеся на механике грунтов и модели, учитывающие биodeградацию.

Парк Г.И. и Ли С.Р. предложили модель осадки, учитывающей зависимость от времени биodeградацию отходов. Предполагается, что скорость осадки выражается через множество осадок, прямо пропорциональную количеству твердых веществ, которые разлагаются. Растворения органических материалов, как правило, выражается с использованием уравнения кинетики первого порядка. Сумма двух условий дает общую деформацию сжатия. Однако, определение кинетических коэффициентов или констант гидролиза, а также их изменение в условиях окружающей среды является очень сложным.

Эмпирические модели пытаются имитировать общее поведение отходов путем корректировки эмпирических параметров для конкретного участка. В основном используются следующие математические функции: логарифмическая функция, степенная функция ползучести и гиперболическая функция осадки.

Маркес А. разработал составляющую реологическую модель для учета первичных и вторичных механизмов сжатия, которые руководствуются реологическими параметрами, которые также учитываются при деградации отходов. Первичная компрессия называется «мгновенной компрессией», которая не зависит от времени. Это основано на наблюдении, что соответствующий процесс является линейным для кривых, коэффициент пористости которых является функцией логарифма приложенного напряжения.

Общей чертой этих и других моделей является то, что они учитывают только твердые бытовые отходы, их поведение и свойства, пренебрегая такой важной составляющей полигона, как грунты, лежащие в его основе. Именно от типа, прочности, геотехнических свойств подстилающего грунта зависит устойчивость полигона, поскольку наибольшую нагрузку испытывает именно он. Основываясь на наблюдениях крутых склонов свалок, которые остаются стабильными, можно сделать вывод, что основное внимание при анализе устойчивости полигона должно быть представлено материалам, которые лежат в основе ТБО.

В настоящее время этому вопросу совсем не уделено внимания. Для прогнозирования оценки устойчивости полигона предлагается изучение его осадки с обязательным исследованием напряженно-деформированного состояния подстилающего грунтового основания, которое моделируется с учетом поэтапной нагрузки каждого слоя отходами. Это позволит оценить возможность использования полигона в качестве основы здания или конструкции с учетом типа грунта.

Цель работы – установление зависимости осадки закрытого полигона ТБО от подстилающего грунта при динамических нагрузках.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Полигоны представляют собой очень сложные системы, в которых множество процессов протекают одновременно. Образование свалочного газа меняет давление газа и жидкости в теле полигона, которое может повлиять на пористость, общее напряжение, что в свою очередь вызывает деформации, в первую очередь осадки. Эти деформации негативно влияют на целостность любой структуры, построенной на основе закрытой свалки.

Непредвиденные осадки в конечном счете приводят к ряду проблем, таких как образование трещин в покрывающем слое, повреждения систем сбора газа и жидкостей и дренажных систем, оползней, приводящих к катастрофическим последствиям и вызывают разрушение конструкций и даже гибель людей.

Для прогнозирования осадки закрытого полигона ТБО при его использовании в

качестве основания дорожного покрытия было проведено математическое моделирование. При этом тело полигона моделировалось слабым грунтом с учетом ползучести, использовалась модель Soft Soil Creep (SSC).

$$p_p^{eq} = p' + \frac{q^2}{M^2(p' + c \cdot ctg\varphi)} \quad (1)$$

где c – сцепление; φ – угол внутреннего трения; q – напряжение; p' – преконсолидационное напряжение; p_p^{eq} – эквивалентное преконсолидационное изотропное напряжение; M – коэффициент, который определяется по формуле:

$$M = 3 \sqrt{\frac{(1 - K_0^{nc})^2}{(1 + 2K_0^{nc})^2} + \frac{(1 - K_0^{nc})(1 - 2\nu_{ur})\left(\frac{\lambda^*}{\kappa^*} - 1\right)}{(1 + 2K_0^{nc})(1 - 2\nu_{ur})\frac{\lambda^*}{\kappa^*} - (1 - K_0^{nc})(1 + \nu_{ur})}} \quad (2)$$

где κ^* – модифицированный коэффициент набухания; λ^* – модифицированный коэффициент компрессии (сжатия); μ^* – модифицированный коэффициент ползучести; ν_{ur} – коэффициент Пуассона; K_0^{nc} – коэффициент латерального напряжения при нормальной консолидации.

Отношение параметров модели к международно-нормированным параметрам:

$$\mu^* = \frac{C_\alpha}{2,3(1 + e_0)}; \lambda^* = \frac{C_c}{2,3(1 + e_0)}; \kappa^* = \frac{2C_s}{2,3(1 + e_0)}, \quad (3)$$

где C_c – коэффициент компрессии; C_s – коэффициент набухания; C_α – коэффициент ползучести.

Подстилающий грунт моделировался с помощью модели Кулона-Мора, которая представлена в виде шести поверхностей текучести и шести пластическими потенциальными функциями.

Гидродинамические аспекты проблемы состоят в учете фильтрационных сил, действующих на скелет грунтовой среды, и параметров взаимодействия жидкой и твердой фаз грунта (давления, напряжения и пористости) в процессе консолидации. В предположении безвихревого течения фильтрационного потока и распределения сил сопротивления равномерно по сечению элемента используется обобщенный закон Дарси и уравнение неразрывности. Принимается, что сжимаемость скелета и поровой жидкости мала, что приводит к линейной зависимости пористости грунта от давления.

Взаимодействие скелета грунта и жидкости характеризуется объемной силой, пропорциональной градиенту напора. Тогда при совместном действии на скелет грунта фильтрационных и гравитационных сил напряженное состояние определяется из уравнений равновесия элементов грунтовой области, которые получены путем проецирования приложенных сил на оси координат. Уравнения дополняются начальными и граничными условиями.

Рассматриваемая модель полигона представлена на рис.1.

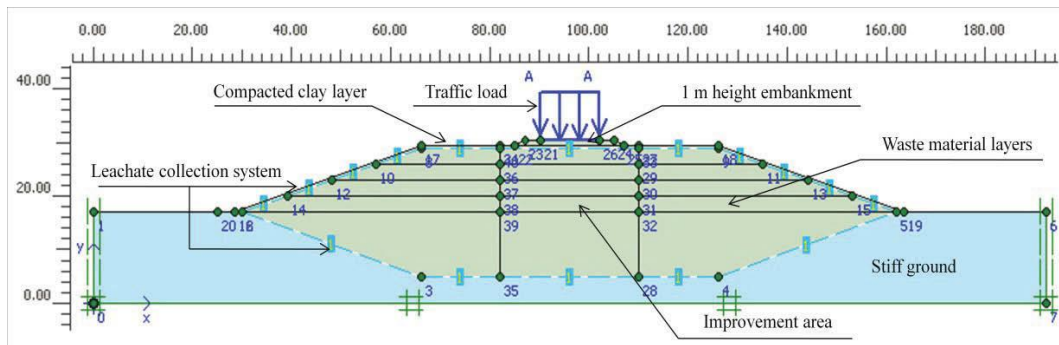


Рисунок 1 - Рассматриваемая модель полигона.

Для численного решения задачи использовался метод конечных элементов. Расчетная область покрывалась треугольными элементами. Были рассчитаны 2 варианта осадки полигона от движущейся нагрузки (20 кПа) при условии разных подстилающих слоев грунта – глина (рис.2) и песок (рис.3).

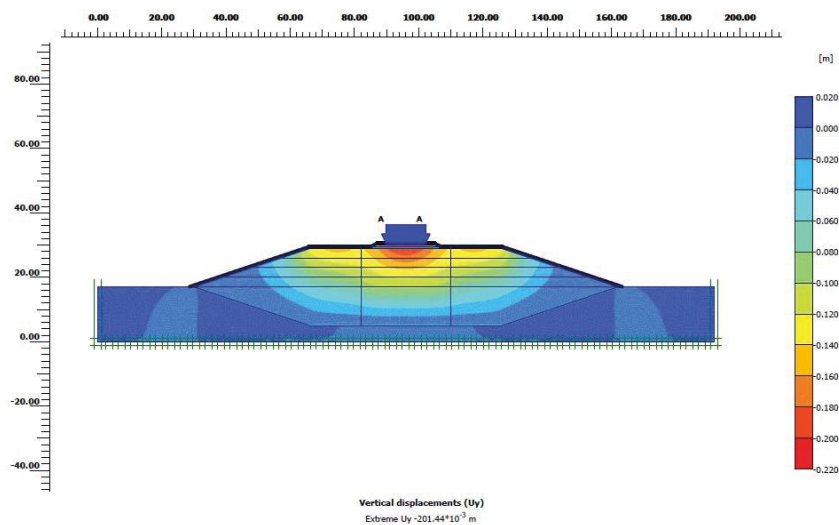


Рисунок 2 - Вертикальные деформации полигона с глинистым грунтом основания.

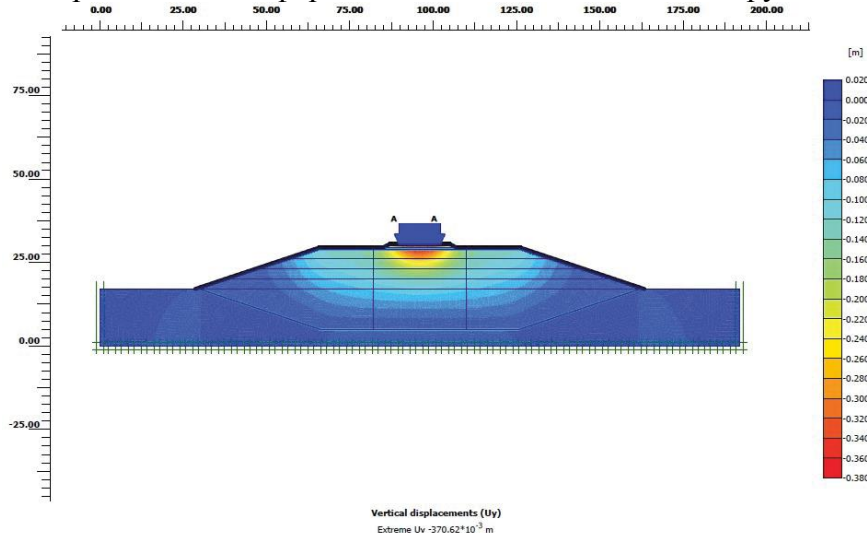


Рисунок 3 - Вертикальные деформации полигона с песчаным грунтом основания.

Выводы: Из проведенных исследований следует:

1) закрытые полигоны занимают огромные площади, поэтому возникает необходимость

их использования в качестве оснований различных сооружений, что невозможно без достоверного прогноза их устойчивости;

2) впервые предложено учитывать при расчете устойчивости полигона подстилающий грунт, так как он является одним из основных условий при формировании осадки;

3) разработана эффективная методика расчета осадки полигона ТБО, основанная на численном моделировании напряженно-деформированного состояния полигона и подстилающего грунта с использованием моделей SSC для полигона и Кулона-Мора для грунтового основания с применением метода конечных элементов;

4) в результате численного решения установлено, что при одинаковых условиях полигона и одинаковых нагрузках (движущаяся нагрузка 20 кПа), если подстилающий слой представлен более слабым грунтом (песком), то достигаются значительно большие осадки по сравнению с глинистым грунтом (в 1,8 раз), что доказывает, что при прогнозировании осадки полигона для его использования в качестве основания сооружения, необходимо учитывать подстилающий грунтовый массив.

Литература

1. Sivakumar Babu G.L., Reddy K.R., Chouskey S.K., Kulkarni H.S. Prediction of Long-term Municipal Solid Waste Landfill Settlement Using Constitutive Model. Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management. New York, ASCE, 2010, vol. 14, no. 2, pp. 139—150. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.1944-8376.0000024](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.1944-8376.0000024).
2. Vermeer P.A., Neher H.P. (1999): A Soft Soil Model that Accounts for Creep. Proc. Int. Symp. "Beyond 2000 in Computational Geotechnics", Amsterdam, pp. 249-261, Balkema, Rotterdam.
3. Marques, A.C.M, and Vilar, O.M. (2003): "Composite compressibility model for municipal solid waste." *J. Geotech. Geoenviron. eng.*, 129(4), 372-378.
4. [Behnam Fatahi](#) (2013) Improving Geotechnical Properties of Closed Landfills for Redevelopment Using Fly Ash and Quicklime, University of Technology, Sydney. Faculty of Engineering and Information Technology, 544 p.
5. Sowers, G. F. 1973. "Settlement of waste disposal fills." *Proc., 8th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Moscow, Russia, Vol. 2, 207–210.
6. Yen, B. C., and Scanlon, B. S. (1975). "Sanitary landfill settlement rates." *J. Geotech. Eng.*, 101(5), 475–487.
7. Gibson, R. E., and Lo, K. Y. (1961). "A theory of soils exhibiting secondary compression." *Acta Polytech. Scand.*, C(10), 1–15.
8. Park, H. I., and Lee, S. R. (1997). "Long-term settlement behavior of landfills with refuse decomposition." *J. Resour. Manage. Technol.*, 24(4), 159–165.

УДК 531.8

Терентьев О. М., проф., д.т.н., Клещев А. Й., студ.
Національний технічний університет України «КПІ», ІЕЕ

РУЙНУВАННЯ МОЛЕКУЛЯРНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

В класичних теоріях руйнування Гілмана-Обреймофа, Рейгеля та інших не враховуються міжмолекулярні сили зв'язків. Цей недолік усувається впровадженням у технологію руйнування гірських порід молекулярно-хвильової теорії, що враховує функціональні змінні і постійні фемтоструктур та їх взаємодію із зовнішнім середовищем. При цьому більш точно підбирається обладнання для руйнування масивів. Це сприяє зниженню енергоємності процесів руйнування гірських порід.

В классических теориях разрушения Гилмана-Обреймофа, Рейгеля и других не учитываются междумолекулярные силы связей. Этот недостаток устраняется внедрением в технологию разрушения горных пород молекулярно-волновой теории, которая учитывает функциональные переменные и постоянные фемтоструктур и их взаимодействие с внешней средой. При этом более точно подбирается оборудование для разрушения массивов. Это способствует снижению энергоёмкости процессов разрушения горных пород.

In classic theories of failures by Gilman-Obreimoff, Reagal and others, intermolecular bonds' forces are not taken into account. This shortcoming is removed by implementation of molecular-wave theory in technology of rock failure. It takes into consideration functional variables and constants of femtostructures and their interaction with the environment. At that, the most appropriate equipment for rock failure is chosen. It subserves the decrease of power consumption of rock failure processes

Вступ. Однією із характеристик продуктів руйнування є поверхнева енергія. Ця енергія виникає за рахунок некомпенсованості кристалічних структур, розташованих на поверхні продуктів руйнування. При розрахунку потужності бурових установок, не враховується енергія руйнування молекулярних зв'язків кристалічних решіток гірських порід. Тому збільшуються енергетичні втрати і зменшується життєвий цикл робочого обладнання. Для зниження енергоємності процесу руйнування породних масивів доцільно враховувати енергію, необхідну для розірвання міжмолекулярних зв'язків кристалічних решіток. Враховуючи вищевикладене, зниження енергоємності процесу на молекулярному рівні є актуальною задачею, що підтверджено в п.3 Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010 – 2015 роки, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 року № 243 [1].

Мета роботи – встановлення залежностей граничної міцності гірських порід від швидкості руйнуючої маси гідроударних пристроїв та від поверхневої енергії молекули гірської породи.

Матеріал і результати досліджень. В процесі руйнування гірських порід енергія витрачається на подолання сил тертя, пружних та пластичних деформацій [2]. Аналізуючи закони Кірпічова – Кіка [3], Реттингера [4], Г. Ф. Бонда [5], при руйнуванні гірських порід встановлено необхідність врахування молекулярних характеристик порід, а саме відстань між молекулами, діаметри молекул, масу молекул. При сучасному рівні знань, потенційна енергія кристалічної решітки визначається через зміщення атомів з положення рівноваги, сили взаємодії між атомами та енергію вільних електронів. При цьому з'являється можливість переходу від класичних теорій Гілмана-Обреймофа до

молекулярно-хвильової теорії руйнування гірських порід. Основою математичних моделей руйнування зв'язків між молекулами є теорії Н. Н. Kausch [8], Рейгеля [9], I. Narisava [10] та інших. Вони визначають взаємодію молекул гірських порід, як сукупність сил пластичності та пружності і представляють сталість фізико-механічних констант середовища, що руйнується [6]. Тобто недоліком цих теорій є емпіричні фізико-механічні константи середовища, що руйнується та постійність процесів руйнування. Розглянута математична модель відрізняється від відомих урахуванням непостійності процесів і розглядає середовище, як модель із функціональними змінними.

Границя міцності гірських порід розриву [6]:

$$\sigma_p = 2 \cdot m \cdot V^2 / (\pi \cdot d_m^2) / \delta \quad (1)$$

де σ_p – границя міцності гірських порід, МПа;

m – маса молекули породи, кг;

V – швидкість взаємодії на породу руйнуючим інструментом, м/с;

d_m – діаметр молекули, м;

δ – відстань між сусідніми молекулами, м.

Розрахунок наведених залежностей енергетичних характеристик руйнування масивів проведено на прикладі галітів. Для реалізації математичних моделей прийнято масу молекули $6,65 \cdot 10^{-27}$ кг, діаметр молекули $3 \cdot 10^{-13}$ м, [7]. Без зміни точності, відстань між сусідніми молекулами прийнято рівною значенню діаметра молекули. Швидкості зовнішньої дії на породний масив обрані згідно з паспортними даними серійної техніки для руйнування породного масиву [6]:

- ГПМ – 120 Бородянського екскаваторного заводу, АО «Борэкс» м. Бородянка, Україна, $V = 6 \dots 7$ м/с;
- ГПМ – 300 – АО «Атек» м. Київ, Україна, $V = 7 \dots 8$ м/с;
- СП – 72 – Воронежський екскаваторний завод м. Воронеж, Росія, $V = 7 \dots 10$ м/с.

Розрив молекулярних зв'язків породного масиву при використанні вказаної техніки, досягається при зовнішньому навантаженні гідроімпульсними ударними органами.

Для моделювання умов руйнування, максимально наближених до реальних, враховано дефектність порід. Швидкість взаємодії руйнуючого інструменту із породою має випадковий характер, що реалізовано при кількісному розрахунку у встановлених межах за Гаусівським шумовим уточненням. При моделюванні, змінні та постійні руйнування переведені у символний і машинний вигляд, таблиця 1.

Таблиця 1 – Символьний вигляд змінних та постійних руйнування

Назва параметру та одиниця виміру	Символьний Вигляд	Машинний вигляд	Значення	Джерело
1	2	3	4	5
Границя міцності гірських по, Па	σ_p	Sr		визначається-
Відстань між сусідніми молекулами, м	δ	S	$3 \cdot 10^{-13}$	[6]
Маса молекули породи, кг	m	m	$6,65 \cdot 10^{-27}$	[7]
Швидкість взаємодії на породу руйнуючим інструментом, м/с	V	Vi		[6]
Діаметр молекули, м	d_m	dm	$3 \cdot 10^{-13}$	[7]

Реалізація вказаних залежностей наведена на рисунках 1 - 4.

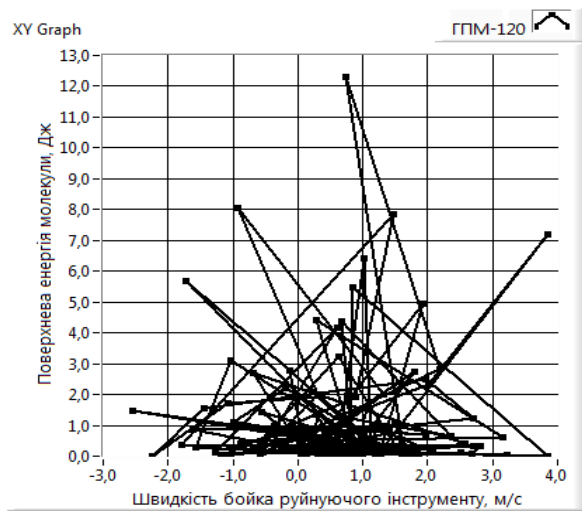


Рисунок 1 – Залежність поверхневої енергії молекули галітів від швидкості бойка ГПМ-120

Згідно з графіком на рис.1, середня поверхнева енергія молекул галітів при руйнуванні породи ГПМ-120 коливається в межах 2 – 4 Дж. Піки, що виходять за вказані межі – не суттєві і присутні через похибки обладнання. Їх кількість не перевищує 5 % від повного обсягу показів. Від’ємні значення швидкості відповідають зміні напрямку руху руйнуючого інструменту. Піки, що не досягають зазначених меж мають місце через наявність дефектності у кристалічній структурі.

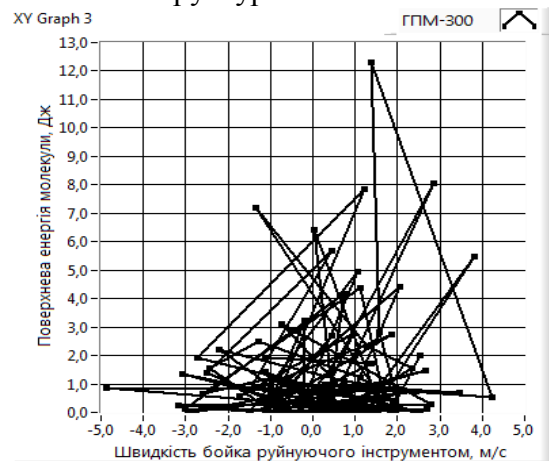


Рисунок 2 – Залежність поверхневої енергії молекули галітів від швидкості бойка ГПМ-300

На рис. 2, аналогічно рис. 1, виведено середню поверхневу енергію молекул галітів при руйнуванні породи ГПМ-300, що коливається в межах 2 – 5 Дж. Підвищення рівня енергії викликано використанням потужнішого руйнуючого інструменту.

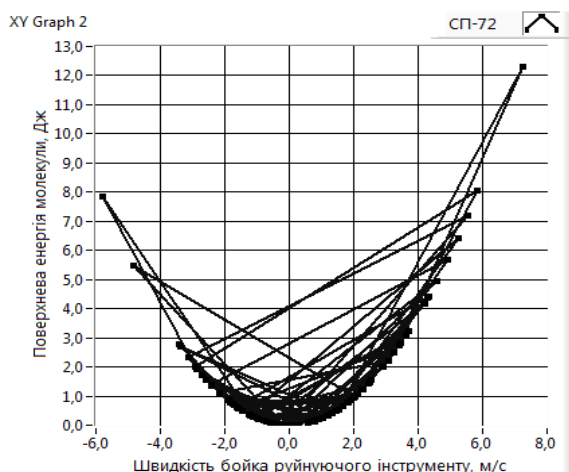


Рисунок 3 – Залежність поверхневої енергії молекули галітів від швидкості бойка СП - 72

На рис. 3 виведено середню поверхневу енергію молекул галітів при руйнуванні породи СП-72, що коливається в межах 2 – 7 Дж. На відміну від ГПМ-120 і ГПМ-300 (рис. 1, рис. 2 відповідно), поверхнева енергія при руйнуванні СП -72 має чіткішу симетрію. При цьому значення поверхневої енергії більші. Через це можна зробити висновок, що із збільшенням швидкості бойка руйнуючого інструменту, поверхнева енергія збільшується. Це призводить до передачі надлишкової енергії вглиб кристалічної структури і збільшення дефектності. В результаті, збільшується кількість мікротріщин, що знижує енергоємність руйнування. На рис. 4 за допомогою комп'ютерних оболонок визначено границю міцності галітів, в залежності від її поверхневої енергії.

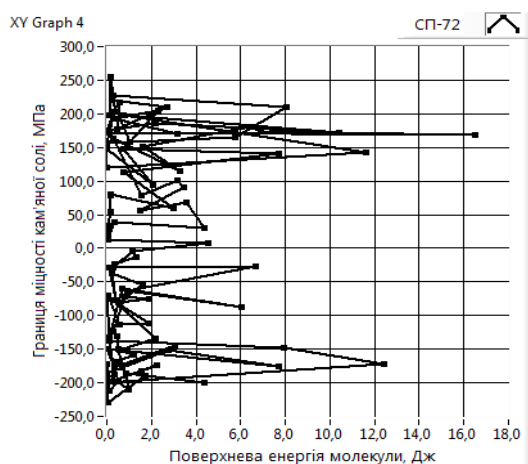


Рисунок 4 – Залежність границі міцності галітів від поверхневої енергії

Згідно з рис. 4, при збільшенні поверхневої енергії галітів, її міцність підвищується, що пояснюється утворенням ядра ущільнення. Із досягненням граничного значення, розриваються молекулярні зв'язки. Це призводить до руйнування породи. Граничним значенням відповідають піки на графіку. Величина граничної міцності залежить від тангенсу кута наповнення енергією фемтоструктур. При використанні обладнання ГПМ-120, ГПМ-300, СП -72, із швидкістю 3...10 м/с, границя міцності коливатиметься в межах 1го – 2го класу міцності за шкалою Протоцьконова. Тобто середня різниця із табличним значенням, вказаним у енциклопедичному словнику Ф. А. Брокгауза і І. А. Ефрона (2й клас) не перевищує одного класу міцності і знаходиться в

межах 140 - 220 МПа. Нижчі значення присутні на графіку через похибку обладнання.

Враховуючи кристалічну структуру породних масивів, знижуються енергоємність процесу руйнування та фізичного зношування за рахунок більш точного підбору обладнання.

Висновки

1. Встановлено, що середня поверхнева енергія молекул галітів при руйнуванні породи ГПМ-120 коливається в межах 2 – 4 Дж. Піки, що мають місце на графіку – не суттєві і присутні через неточність обладнання. Їх кількість не перевищує 5 % від повного обсягу показів. При руйнуванні породи установкою ГПМ-300 - коливається в межах 2 – 5 Дж. При руйнуванні породи установкою СП -72 - в межах 2 – 7 Дж.

2. Виявлено, що при використанні для руйнування галітів обладнання ГПМ-120, ГПМ-300, СП -72, із швидкістю 3...10 м/с, границя міцності коливатиметься в межах 1 - 2 класу міцності за шкалою Протодюконова. Тобто середня різниця із табличним значенням, вказаним у енциклопедичному словнику Ф. А. Брокгауза і І. А. Ефрона (2й клас) не перевищує одного класу міцності і знаходиться в межах 140 - 220 МПа.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Державна цільова економічна програма енергоефективності на 2010 – 2015 роки, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 року № 243 [Текст] . - Введ. 2010-03-01. - 17 с.

2. Співак А. І. Механіка гірських порід [Текст] / А. І. Співак. – М. : Недра., 1967. - 192 с.

3. Технічна енциклопедія [Електронний ресурс] / Technic Hyundai. - Режим доступу : [www/URL:http://www.ai08.org/index.php/term/9da4ac975b545ba09f5c525f56aea9589c56535c59649e61a86b5b63929da260666b53976b545fa661ae975a569fa15cac595f675e.xhtml/](http://www.ai08.org/index.php/term/9da4ac975b545ba09f5c525f56aea9589c56535c59649e61a86b5b63929da260666b53976b545fa661ae975a569fa15cac595f675e.xhtml/) - 2011 р. - Загол. з екрану.

4. Загальні відомості про процес розмолу, вугільного пилу і його властивостях. [Електронний ресурс] / Научные статьи для вашей учебы. - Режим доступу : [www/URL:http://all4study.ru/parovie-kotli/process-razmola-ugolnoj-pyli-i-ee-svojstvax.html/](http://all4study.ru/parovie-kotli/process-razmola-ugolnoj-pyli-i-ee-svojstvax.html/) - 2009 р. - Загол. з екрану.

5. Механічне обладнання [Електронний ресурс] / Story - Content. - Режим доступу : [www/URL: http://stroy-content.ru/mekhanicheskoe_oborudovanie/svedeniya_ob_izmelchaemykh_materiakh_energoyemkost_protsesta_izmelcheniya2/index.html/](http://stroy-content.ru/mekhanicheskoe_oborudovanie/svedeniya_ob_izmelchaemykh_materiakh_energoyemkost_protsesta_izmelcheniya2/index.html/) - 2009 р. - Загол. з екрану.

6. Терентьев О. М. Синтез функционирования систем «Зовнішнє джерело – середовище» [Текст] : дис. докт. техн. наук / О. М. Терентьев. - К., 2008. - 323 с.

7. Спірідонов О. П. Фундаментальні фізичні сталі. [Текст] / О. П. Спірідонов. – М. : Высшая школа., 1982. - 231 с.

8.Kausch, H. H. Polymere Fracture [Text] / H. H. Kausch. – Berlin, Heidelberg, New York. : Springer-Verlag, 1978. - 441 p.

9.Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел [Текст] : учеб. пособие В. Р. Регель, А. И. Слуцер, Э. Е. Томашевский ; под общ. ред. Д. А. Миртовой ; издательство «Наука». - М. : Наука, 1974.- 560 с.

10. Narisava, I. Polymere Strength [Text] / I. Narisava. – Japan. : OHMSHA, 1982. - 399 p.

УДК 621.3

Д.С. Горенко,
Т.М. Базюк, асистент,
Національний технічний університет України «КПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

STUDY OF OPPORTUNITIES FOR IMPROVING EFFICIENCY OF WIND TURBINES OF VARIOUS CAPACITY

Анотація. В даній статті розглядаються переваги використання вітроенергетичних установок. Проаналізовано екологічні та соціально-економічні аспекти вітрової енергетики України та світу. Представлені різновиди методів підвищення ефективності ВЕУ. Показано зміну потенціалу вітрового потоку зі зміною висоти та ландшафту місцевості. Проводиться дослідження можливості регулювання висоти башти вітрогенератора для регулювання вихідної потужності вітрогенератора.

Ключові слова: вітроенергетичні установки, підвищення ефективності.

Аннотация. В данной статье рассматриваются преимущества использования ветроэнергетических установок. Проанализировано экологические и социально-экономические аспекты ветровой энергетики Украины и мира. Представленные разновидности методов повышения эффективности ВЭУ. Показано изменение потенциала ветрового потока с изменением высоты и ландшафта местности. Проводится исследование возможности регулирования высоты башни ветрогенератора для регулирования выходной мощности ветрогенератора.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, повышения эффективности.

Abstract. The benefits of using wind turbines are considered in this article. The environmental, social and economic aspects of wind energy in Ukraine and in the world are analyzed. The variety of methods to increase the efficiency of wind turbines are presented. Article shows the change in potential of wind flow with the change of altitude and topography. A study of opportunities of height adjustment wind turbine towers for wind turbine power output regulation was held.

Key words: wind power, efficiency improvement.

Вступ. Використання енергії вітру є одним із найдавніших відомих способів використання енергії із навколишнього середовища, і було відоме ще в давні часи. Німеччина є світовим лідером з використання енергії вітру. Тільки за перші 6 місяців 2001 року в ФРН було збудовано 673 нові вітрові електричні установки. Загальна кількість «вітряків» у Німеччині становить понад 10 тисяч, а їх загальна сукупна потужність досягла 6900 МВт. У Нижній Саксонії працює близько 2000 таких установок, які виробляють близько 8% електроенергії. Розроблено проект, згідно з яким у 2004-2005 роках почалося будівництво чотирьох промислових вітрових парків у Балтійському морі і десятих – у Північному. Перші експериментальні станції з'явилися у морі на насипних островах у 2003 році [10].

Станом на кінець 2012 р., загальна потужність встановлених вітрових турбін у

світі становила 282,3 ГВт. Не зважаючи на те, що отримана електрична енергія становить більше 3% від обсягу споживання електричної енергії у світі, приблизно 31,3% виробленої в Північній Америці, 27,5% в Європі, 3,9% – Латинська Америка [10].

На території України є регіони та зони з середньорічною швидкістю вітру більше 5 м/с, до них можна віднести: Карпатський, Причорноморський, Приазовський, Донбаський регіони та Харківська і Полтавська зони. Із-за військового конфлікту на сході України враховувати дані території, як перспективні, неможливо. Проте, на даний час, на території України працюють Аджигольська, Асканіївська, Новоазовська та Трускавецька ВЕС.[2]

Технічні системи сонячної енергії з допомогою прямого перетворення сонячного випромінювання безпосередньо в корисну енергію, наприклад, електрику або тепло. Вітер, річкові води і ріст рослин є непрямими формами сонячної енергії. Тут, природні процеси перетворення сонячної енергії в інші види енергії. Технічні системи можуть використовувати ці непрямі види сонячної енергії [11].

Екологічні та соціально-економічні аспекти вітроенергетики в Україні та світі. На рисунку 1 зображено енергетичні потоки для різних видів електростанцій [1].

На вхід до традиційної електростанції подається речовина, що транспортується з місць видобутку або обробки. Ці процеси супроводжуються додатковими за тратами енергії та впливом на оточуюче середовище. На виході системи крім корисних тепла та електроенергії отримуємо відходи, емісії, викиди в атмосферу та поверхневі води. Тоді як в ВЕС на вхід подається вітрова енергія, а на виході отримуємо електроенергію.[2]

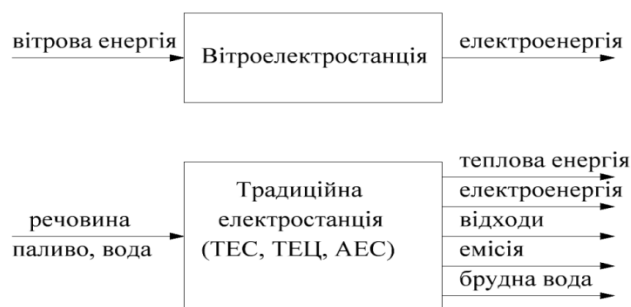


Рисунок 1 – Електростанції як відкриті системи

Проте вітрові електростанції мають ряд недоліків[2]:

- 1) Вітрові електроустановки викликають два різновиди шуму: механічний та аеродинамічний. Шум від вітрогенератора на відстані 350 м складає 35-45 дБ. Поблизу потужної вітрової установки рівень шуму може досягти 100 дБ. Для прикладу, рівень шуму поблизу силового трансформатора потужністю 100 кВ·А складає 75 дБ [3].
- 2) Використання землі. Турбіни займають лише 1 % від всієї території вітряної станції. На 99 % площі станції можливо займатися сільським господарством та іншою діяльністю.
- 3) Шкода, що наноситься фауні. Досліди показують, що вплив на оточуючу фауну вітровими електростанціями складає лише 0,01 % від інших шкідливих факторів.
- 4) Перешкоди телесигналам. Металічні складові електроустановки, створюють перешкоди телепередачі сигналів, що викликає необхідність встановлення додаткових ретрансляторів.

Не дивлячись на численні переваги використання вітрової енергії та альтернативних джерел енергії в цілому експерт з проблем енергетики світової безпеки Девід Роткопф вважає, що впровадження «зеленої» політики може призвести до численних соціально-економічних та навіть військових конфліктів [4].

Тому з урахуванням всього вище сказаного можна зробити висновок, що розвиток та впровадження альтернативної енергетики потрібно проводити в комплексі з існуючими традиційними джерелами електропостачання, поступово замінюючи останні на такі, що використовують поновлювальні ресурси.

Особливості використання енергії вітру. Сучасні вітроенергетичні установки (ВЕУ) використовують вітер приземного шару атмосфери. На попередній стадії виявлення перспективності ВЕУ використовується один з головних показників ефективності – середньорічна швидкість вітру. Вважається, що для побудови ефективної ВЕУ ця величина повинна становити 5 м/с та більше. Майже не використовується, для вироблення енергії, вітер із меншою швидкістю.

При оцінці ефективності вітрового потоку, використовується наступна формула:

$$P = C_p \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{V^3}{2},$$

де C_p – коефіцієнт ефективності вітроколеса, ρ – густина повітря ($\text{м}^3/\text{с}$), S – площа вітроколеса (м^2), V – швидкість вітру біля вітроколеса ($\text{м}/\text{с}$) [2].

Концентратори вітрового потоку мають значний вплив на швидкість вітру, в кубічній залежності від якої знаходиться потужність всього потоку повітря. Їх використання дасть змогу підвищити ефективність використання малопотужних вітрів.

Широкому розповсюдженню ВЕУ перешкоджає ряд причин: 1) мала питома густина вітрового потоку; 2) суттєва залежність величини енергії вітрового потоку від природних умов та перешкод; 3) не достатньо розроблені методики оптимізації основних параметрів. Аналізуючи ці причини, випливає, що густину вітрового потоку, а, отже, і ефективність вітроенергетичних установок, можна підвищити з допомогою концентратора вітрового потоку, або в деяких випадках потоконаправляючого елементу. Вони суттєво змінюють кінематичні характеристики потоку (швидкість течії, напрямки та ін.).

Що стосується ВЕУ, які використовують вітер швидкістю 5 м/с і більше то на етапі проектування вітрових електроустановок обов'язково потрібно враховувати значення швидкості вітру в залежності від висоти осі ротора.

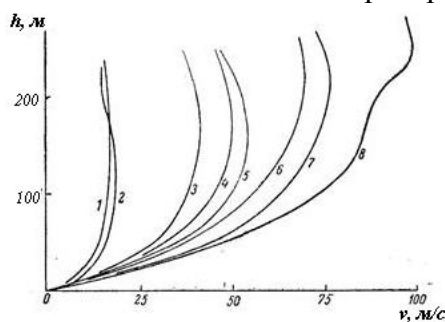


Рисунок 2 – Вертикальні профілі вітру в граничному шарі атмосфери

1,2 – відкрита місцевість; 3,4,5 – ліс та окремі будівлі;

6,7 – міста та селища; 8 – великі міста.

Доведено, що на різній висоті, в одній і тій самій місцевості, в один і той самий

момент часу швидкість вітрового потоку відрізняється. А саме, чим вище точка заміру, тим більша лінійна швидкість потоку [5]. Крім того на профіль швидкості вітру впливає покриття поверхні, рельєф, кущі та дерева, окремі будівлі, міста. Приблизні профілі швидкості вітру наведені на рисунку 2.

В країнах де вагому частину виробленої електроенергії генерують ВЕС, виникає необхідність регулювання вихідної потужності для вирівнювання графіку навантаження. До способів підвищення енергоефективності ВЕУ можна віднести:

1. Керування кутом атаки лопастей вітроенергетичної установки.
2. Регулювання кута повороту осі ротора ВЕУ в залежності від напрямку вітру.
3. Зміна положення в просторі установки в цілому.
4. Розташування ВЕУ у відкритому морі.
5. Використання потоконаправляючих елементів та концентраторів вітрового потоку і т.п.

Система автоматичного регулювання висоти підйому/опускання осі ротора дозволить регулювати вихідну потужність вітрогенератора. Розглянемо можливість такого регулювання на прикладі вітрогенератора типу USW 56-100 параметри якого наведено в таблиці 1[7].

Таблиця 1 – Основні характеристики вітрогенератора USW 56-100

Номінальна потужність	107,5 кВт
Генератор – асинхронний, трифазний, змінного струму, 380 В, 50 Гц	
Кількість лопастей	3
Положення лопастей	Підвітряне
Матеріал лопастей	Склопластик
Діаметр ротора	17 м
Швидкість обертання ротора	72 об/хв.
Система орієнтації за вітром	Пасивна
Трансмсія	двоступінчастий підвищуючий редуктор 1:20
Башня зі сталюого прокату, решітчаста, оцинкована, 18 м	
Спосіб регулювання потужності	автоматична змінна кута атаки лопастей
Кожна турбіна укомплектована мікропроцесорним контролером	
Мінімальна стартова швидкість	5 м/с
Швидкість вітру для виходу номінальної потужності	13 м/с
Максимальна експлуатаційна швидкість вітру	22 м/с
Неруйнівна швидкість вітру	56 м/с
Гондола	3700 кг
Башня	4700 кг
Лопасті	165 кг

Знаючи швидкість вітру на висоті $H_0 = 10$ м та використовуючи формулу[5] можемо визначити швидкість вітру на будь-якій висоті:

$$v_1 = v_0 \cdot \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^k,$$

де v_0 – швидкість вітру на висоті H_0 ;

$k = 0,335$ – показниковий коефіцієнт зміни вітру в залежності від висоти та рельєфу місцевості для сільськогосподарських земель з окремими будівлями на відстані більше 250 метрів [13].

Знаючи залежність потужності вітрогенератора від швидкості вітрового потоку [8, 6] можемо визначити потужність:

$$P_1 = \frac{d^2 \cdot v_1^3}{7000};$$

де d – діаметр вітрового колеса;
 v_1 – швидкість вітру на висоті 18 м;
 P – потужність вітрогенератора.

Розділивши вихідні потужності за різної висоти башти вітряка одна на одну отримаємо можливий діапазон регулювання потужності:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3 = \left(\frac{v_0 \cdot \left(\frac{H_2}{H_0}\right)^k}{v_0 \cdot \left(\frac{H_1}{H_0}\right)^k}\right)^3 = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{3 \cdot k}.$$

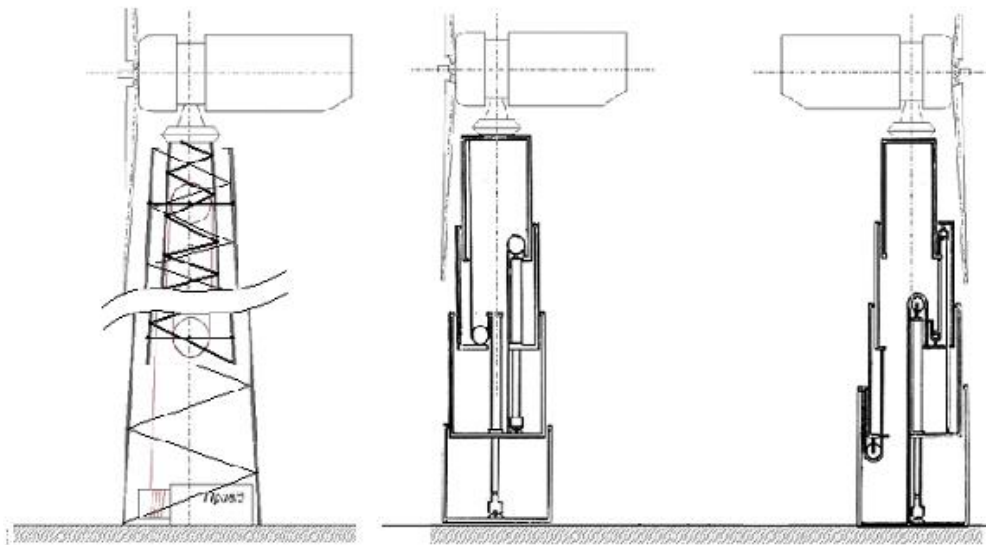


Рисунок 3 – Різні методи реалізації даного способу регулювання

Підставивши значення висоти та коефіцієнта отримаємо:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{28}{18}\right)^{3 \cdot 0,335} = 1,56 \text{ рази.}$$

За проведеними розрахунками можна зробити висновок, що регулювання висоти башти вітряка в діапазоні з 18 до 28 метрів дозволяє збільшувати вихідну потужність вітрогенератора в 1,56 рази. Проте дані розрахунки не враховують деякі важливі фактори як зовнішні, так і внутрішні. Як приклад, не враховуються витрати енергії на власні потреби даної системи. Для горизонтального підйому вантажу масою приблизно 4 тони (сумарна маса гондоли, лопастей вітряка та рухомої частини башти вітряка) за схемою зображеною на рисунку 3 виберемо двигун, з урахуванням, що час підйому задамо 4 хвилини.

Обираємо двигун з каталогу [9] серії МТКН 012-6 потужністю 2,2кВт.

Знаючи, що даний вітряк працює з мінімальною швидкістю вітру 5 м/с, проведемо розрахунок ефективності регулювання висоти башти вітряка від швидкості вітру для коефіцієнта використання вітрового потоку 0,335 [13] (данні розрахунків внесемо до

табл.2).

Різниця між потужністю в залежності від висоти башти визначається за формулою:

$$\Delta P = P(h = 28) - P(h = 18).$$

Розрахунок ефективності даного впровадження з урахуванням потужності привідної системи підйому башти проводиться за формулою:

$$\eta_{\text{еф}} = \frac{\Delta P - P_{\text{дв}}}{\Delta P} \cdot 100\%.$$

Таблиця 2 – Розрахунки ефективності в залежності від швидкості вітру при $k = 0,335$

V(h=10), м/с	5	6	7	8	9	10	11	12	13	22
V(h=18), м/с	6,09	7,31	8,52	9,74	10,96	12,18	13,39	14,61	15,83	26,79
V(h=28), м/с	7,06	8,47	9,88	11,30	12,71	14,12	15,53	16,94	18,35	31,06
P(h=18), кВт	9,32	16,10	25,56	38,16	54,33	74,53	99,20	128,79	163,75	793,63
P(h=28), кВт	14,52	25,10	39,86	59,49	84,71	116,20	154,66	200,79	255,28	1237,26
ΔP , кВт	5,21	9,00	14,29	21,33	30,37	41,66	55,45	71,99	91,54	443,63
$\eta_{\text{еф}}$, %	57,76	75,55	84,61	89,69	92,76	94,72	96,03	96,94	97,60	99,50

Для більш наочного зображення результатів дослідження побудуємо графік (рис.4). За результатами розрахунків, на даному етапі дослідження, можна зробити висновок, що в залежності від місцевості (гірська місцевість, малозаселені райони або поля) ефективність такого впровадження при низьких швидкостях вітру невисока, а при $v < 5$ м/с не ефективно.

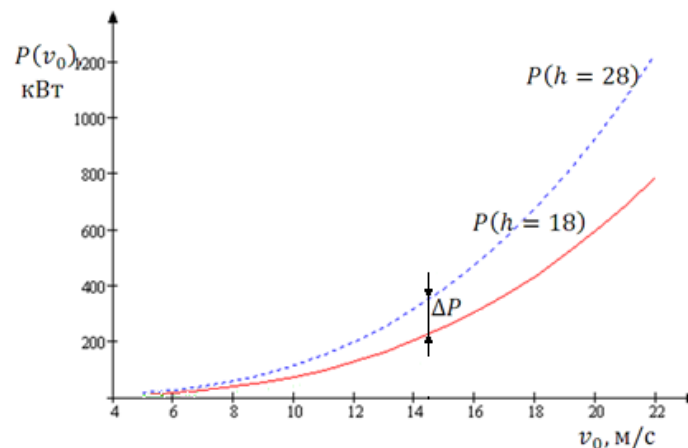


Рисунок 4 – Залежність потужності вітроенергетичної установки від швидкості вітру на різній висоті

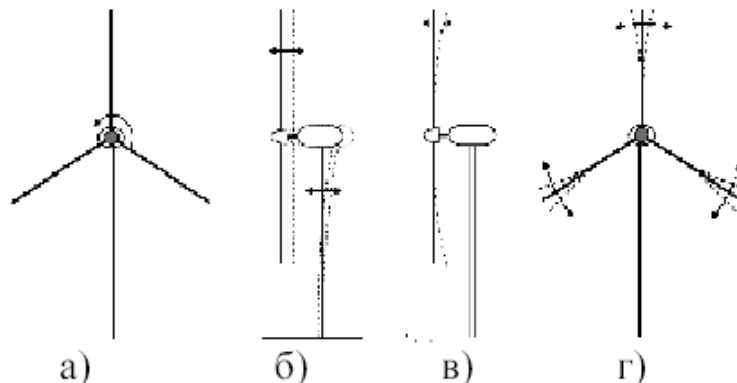


Рисунок 5 – Форми коливань вітроколеса та башти ВЕУ

а) крутильні ротора, б) згинальні башти, в), г) згинальні лопастей

Оскільки ВЕС виробляє електроенергію в мережу то вихідні параметри повинні відповідати стандартам.

Світовий досвід показав, що при паралельній роботі ВЕС та ЕЕС необхідно приділяти увагу наступним питанням [12]:

- підтримання якості електричної енергії;
- зниження втрат в мережі, що містить ВЕС;
- рішення питання компенсації реактивної потужності, якщо в склад ВЕУ входять асинхронні генератори;
- усунення гармонік, що генеруються інвертором, якщо ВЕУ містить перетворювачі частоти (ПЧ);
- усунення радіоперешкод;
- наявність інтелектуальної системи управління;
- захист ВЕУ від нештатних ситуацій (коротке замикання, відключення ПЧ і т.д.).

Висновок. Проведені розрахунки не враховують велику кількість зовнішніх та внутрішніх факторів ідеалізуючи систему, але при цьому показують, що є необхідним продовжити дане дослідження. Наприклад, враховується енергія, що витрачається на підйом башти вітряка, але не враховується перетворення потенціальної енергії в кінетичну, яку можна накопичити, при опусканні гондоли. Необхідно обрати елементи конструкції підйомної системи (трос, блоки і т.д.), перевірити на механічну стійкість система, обрати елементи контролю та регулювання, включити їх в загальну вже існуючу систему, перевірити на стійкість автоматику, і це ще не всі питання які постають при роботі над даним дослідженням перед його впровадженням та реальним застосуванням. Також необхідно врахувати вимушені коливання елементів конструкції, найбільш небезпечні з яких зображені на рисунку 5 [14]. Такий спосіб регулювання потужності може допомогти зменшити навантаження при швальних вітрах, які є частими в приморських регіонах. З усього вище сказаного можна зробити висновок, що дане дослідження має право на існування, проте є необхідність його продовження. Для України проблема регулювання потужності ВЕС не є нагальною, проте для країн, таких як Данія та Німеччина, це питання постає вже зараз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Славута Е. И. Перспективы и проблемы развития альтернативной энергетики в Украине [Електронний ресурс] / Е. И. Славута, В. В. Звягина – Режим доступу до ресурсу: <http://eprints.kname.edu.ua/31240/1/144.pdf>.
- 2 Величко С. А. Ветроэнергетика: состояние и перспективы [Електронний ресурс] / С. А. Величко, А. С. Болтенков // Интернет-журнал «Наше будущее» – Режим доступу до ресурсу: <http://uneworld.uzcoz.com/102.pdf>.
- 3 Шум. Трансформаторы силовые масляные. нормы и методы контроля. // ГОСТ 12.2.024-87
- 4 Rothkopf D. J. Reproduced with permission from Foreign Policy / David Rothkopf. // Washington Post. – 2009.
- 5 Голубенко Н. С. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности [Електронний ресурс] / Н. С. Голубенко, С. И. Довгалюк, А. М.

- Фельдман, В. Б. Худик – Режим доступу до ресурсу: o_zavisimosti_skorosti_vetra_ot_vysoty_s_uchetom_relefa_mestnosti.doc
- 6 Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин., 2008. – 228 с.
 - 7 Ветроустановка сетевая USW 56-100 [Электронный ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.fly-tech.com.ua/USW56-100.html>.
 - 8 Абдюжанов Р. Ветрогенератор для энергоснабжения дома (часть вторая) [Электронный ресурс] / Рустам Абдюжанов – Режим доступу до ресурсу: http://www.domastroim.su/articles/electro/electro_1510.html.
 - 9 Крановые электродвигатели, краново-металлургические (серии МТ) - МТН, МТКФ, МТФ [Электронный ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://globalprom.com.ua/elektrodivigateli/340-kranovye-elektrodivigateli-kranovo-metallurgicheskie-serii-mt-mth-mtkf-mtf.html>.
 - 10 Вітроенергетика [Электронный ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Вітроенергетика>.
 - 11 Quaschnig V. 11 Understanding renewable energy systems / Volker Quaschnig., 2003.
 - 12 Манусов В. З. Особенности параллельной работы ветроэлектростанций и электроэнергетических систем. [Электронный ресурс] / В. З. Манусов, Э. Г. Ядагаев – Режим доступу до ресурсу: <http://pandia.ru/text/78/121/30189.php>.
 - 13 Корнелюк С. ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ВЕТРА ОТ ВЫСОТЫ И МЕСТНОСТИ [Электронный ресурс] / Корнелюк – Режим доступу до ресурсу: <http://seiger.pp.ua/zavisimost-skorosti-vetra-ot-vysoty-i-mestnosti/>.
 - 14 Соляникова Ю. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВІТРОГЕНЕРАТОРНУ УСТАНОВКУ [Электронный ресурс] / Ю. В. Соляникова – Режим доступу до ресурсу: <http://www.kpi.kharkov.ua/archive/MicroCAD/2010/S2/ДОСЛІДЖЕННЯ%20ВПЛИВУ%20ВІТРОВОГО%20НАВАНТАЖЕННЯ%20НА%20ВІТРОГЕНЕРАТОРНУ%20УСТАНОВКУ%20USW%2056-100.pdf>.

О.М. Закладний, к. т. н. доцент; М.О. Красносільський

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ РЕГУЛЮВАННІ
ШВИДКОСТІ НА НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ**

Запропоновано модель для дослідження в MatLab регульованого синхронного електропривода за системою вентильного двигуна в приводах насосних установок, що дозволяє плавно регулювати швидкість обертання двигуна, а також скоротити втрати і заощадити електроенергію від 20% до 40%.

Ключові слова: Система ВД, моделювання, синхронний електропривод.

Предложена модель для исследования в MatLab регулируемого синхронного электропривода по системе вентильный двигатель в приводах насосных установок, позволяет плавно регулировать скорость вращения двигателя, а также сократить потери и сэкономить электроэнергию от 20% до 40%.

Ключевые слова: Система ВД, моделирование, синхронный электропривод.

A model for research into MatLab controlled synchronous drive system drives the engine valve pumping systems, allows to smoothly adjust the speed of the motor, as well as reduce losses and save electricity by 20% to 40%.

Keywords: VE system, modeling, synchronous electric.

Постановка задачі. В сучасному сільському господарстві основними споживачами електроенергії є електродвигуни (понад 60 %) [1]. У зв'язку з цим до них ставляться все більш жорсткі вимоги щодо ефективності роботи: рівень втрат енергії, відповідність навантаження тощо. Останнім часом пріоритетне значення, наряду з оптимальним конструюванням синхронних двигунів, набувають задачі оптимального моделювання електроприводів змінного струму та визначення ефективних режимів роботи [2].

Аналіз способів регулювання швидкості обертання приводів показує, що перспективним є частотне регулювання частотою обертання електроприводів завдяки плавності регулювання швидкості і значному зниженню енергоспоживання. Як регульований привод можна використовувати вентильний двигун (ВД).

Використання комп'ютерного математичного моделювання з розробкою моделей різних пристроїв дозволяє провести розрахунки процесів з високою точністю, а також дослідити електромеханічні властивості перед запровадженням в дію такого

способу регулювання.

Мета дослідження. Дослідження електромеханічних властивостей ВД при регулюванні кутової швидкості за допомогою комп'ютерного моделювання, встановлення математичних залежностей.

Можливість керування частотою обертання ВД була доведена зразу після винаходу електродвигуна. Зазвичай, керування електроприводом змінного струму здійснюється за рахунок зміни вихідних параметрів силового перетворювача (f_m , U_m). Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою нових силових напівпровідникових пристроїв [4].

В залежності від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими керування електродвигуном, реалізуючи ту чи іншу залежність між швидкістю обертання електродвигуна та вихідною напругою. Тому необхідно використовувати імітаційне моделювання з використанням ЕОМ. Такий підхід дозволить спрогнозувати результати з високою точністю.

Частотний спосіб управління заснований на законі М.П. Костенка, який встановив, що відносне діюче значення напруги необхідно змінювати пропорційно добутку частоти на корінь квадратний з відносного моменту двигуна. Надалі А.А. Булгаковим були встановлені закономірності різних співвідношень між частотою і діючим значенням напруги: напруга змінювалася пропорційно частоті; $U_m \approx f_m$; напруга змінювалася так, щоб забезпечити сталість повного або робочого потоку при зміні частоти; керування частотою при номінальній напрузі тощо.

Значний внесок у розвиток теорії частотного управління внесли А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов, І.І. Епштейн, які розглянули як статичні, так і динамічні режими роботи ВД при живленні від перетворювачів частоти (ПЧ).[6]

Основні матеріали досліджень. Використання регульованого електропривода дозволяє скоротити енергоспоживання: pomp – на 25-30 %, компресорів – на 40 %, вентиляторів – на 30 %, центрифуг – на 50 %. Зважаючи на те, що ці типи механізмів становлять понад 50 % у сільському господарстві, приводів які використовуються, даний напрямок є пріоритетним для економії електроенергії.

Найбільш перспективними напрямками впровадження регульованих електроприводів у сільськогосподарському виробництві є системи водопостачання, тепlopостачання, каналізації, вентиляції будівель.

Система водопостачання – це досить складний комплекс взаємозалежних за

The diagram illustrates a control system for a pump and pipeline. It includes the following components and connections:

- Джерело живлення** (Power Source) provides input to the **Асинхронний електропривод** (Asynchronous Motor Drive).
- The **Асинхронний електропривод** receives a reference speed $\omega_{зад}$ and outputs the actual speed ω to the **Насос** (Pump).
- The **Насос** outputs flow Q to **Трубопровід 1** (Pipeline 1).
- Трубопровід 1** outputs flow Q to a junction point.
- A pressure sensor **P** is connected to the junction point, outputting pressure P to a pressure controller **P**.
- The pressure controller **P** outputs a control signal to the **Асинхронний електропривод** to adjust the speed.
- The junction point outputs flow $Q_{дав}$ to a pressure transmitter **Р**.
- The pressure transmitter **Р** outputs a signal to the pressure controller **P**.
- The pressure transmitter **Р** also outputs flow Q to **Трубопровід 2** (Pipeline 2).
- Трубопровід 2** outputs flow Q and pressure H to the **Момент навантаження** (Load Moment).
- The **Момент навантаження** outputs a load moment M_c back to the **Асинхронний електропривод**.

Дослідження проводились на двигуні СД2-74/49-804: 280кВт; 2550об/хв.

При розв'язанні системи диференціальних рівнянь, які описують роботу системи АВК, використано метод Рунге-Кутта в модифікації Гіра. Склавши модель системи ВД в пакеті *MatLab*, отримаєм

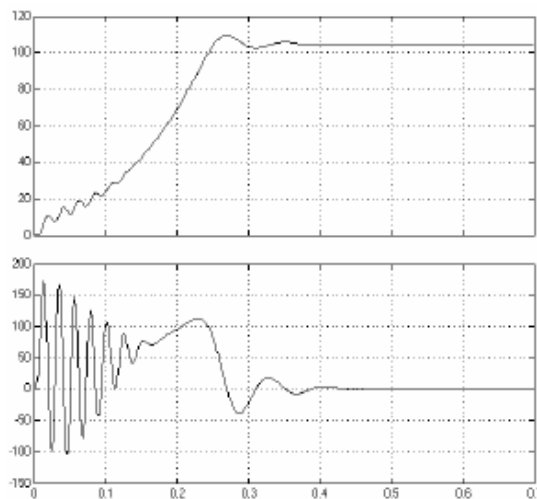


Рисунок. 4 - Графіки $\omega=f(t)$ и $M_v=f(t)$ для $\gamma_2=60$

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: $\omega = 80,47$ рад/с, $I_1=8,108$ А, $M_v=0,337$ Н·м

При куті комутації тиристорів $\gamma_1=30$ отримано наступні графіки перехідних процесів $\omega=f(t)$ (рад/с) и $M_v=f(t)$ (Н·м) (Рис.5).

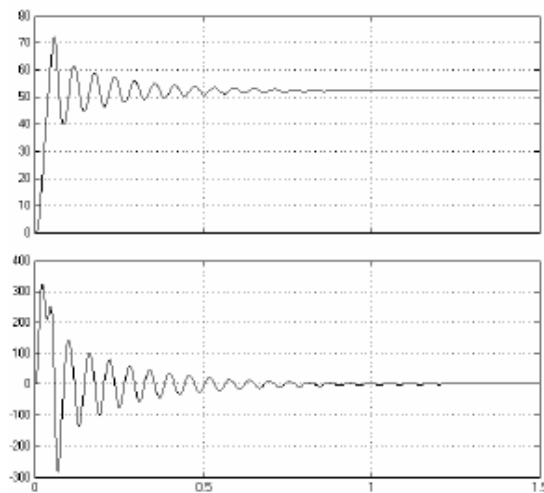


Рисунок. 5 - Графіки $\omega=f(t)$ и $M_v=f(t)$ для $\gamma_3=30$

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: $\omega = 61,06$ рад/с, $I_1=9,31$ А, $M_v=0,029$ Н·м

Для кута комутації тиристорів $\gamma_1=90$ і лінійної напруги $U_L = 380$ В
 змодельємо перехід системи з одного сталого стану $M_v=M_n=70$ Н·м,
 $\omega=\omega_n=103.5$ рад/с, $I_1 = I_n = 14,6$ А до іншого після накиду навантаження на вал двигуна
 ($M_{с.доп.} = 0,3M_n = 21$ Н·м)(Рис.6).

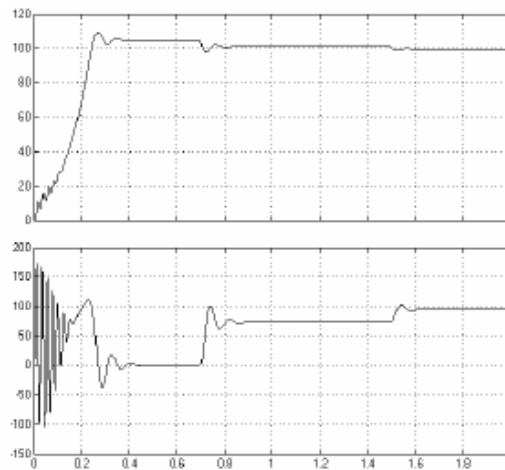


Рисунок. 6 - Накид навантаження

$$M_{с.доп.}=0,3M_n$$

Для більш детального вивчення перехідного процесу на рис. 7. наведено
 фрагмент графіків $\omega=f(t)$ (рад/с) и $M_v=f(t)$ (Н·м), що охоплює тільки момент
 уповільнення двигуна після накиду додаткового навантаження.

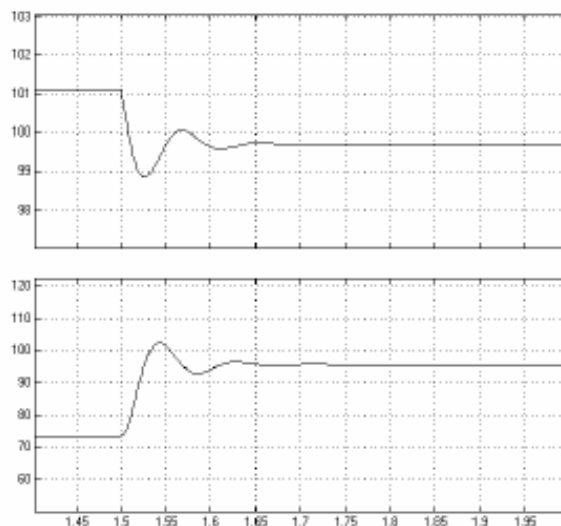


Рисунок. 7 - Накид навантаження

$$M_{с.доп.}=0,3M_n \text{ (фрагмент)}$$

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: ω

$\omega = 95 \text{ рад/с}$; $I_1 = 19,14 \text{ А}$; $M_v = 93,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Регулювання в цій системі, може здійснюватися плавно, в широкому діапазоні, в обидві сторони від природної характеристики, тобто ВД, може мати швидкість як більше, так і меншу від номінальної. При цьому регулювальні характеристики мають високу жорсткість, а ВД зберігає значну переважувальну здатність.

Висновки. Результати досліджень показують, що регульований електропривод за системою ВД задовольняє основним потребам його використання у насосних установках об'єктів промисловості та житлово-комунального господарства.

Проведені дослідження свідчать про те, що регулювання швидкості синхронного двигуна з використанням ВД дозволяє не лише відрегулювати технологічний процес, але й зменшити втрати енергії та зекономити від 20 % до 40 % електроенергії, а також плавно регулювати швидкість обертання електродвигуна від нуля до номінального значення при збереженні максимального моменту на валу, що дає можливість збільшити термін служби і підвищити надійність електроприводів та обладнання і підвищити якість надання послуг у водопостачанні за рахунок стабільного тиску в мережі.

Література:

1. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. - М.: Энергоиздат, 1982
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. - 3-е изд., переработ. и доп.-М.: Высш.шк., 2001.-327 с.
3. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. - СПб.: КОРОНА-Век, 2006.
4. Масандилов Л.Б Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. М.: - Энергия, 1978 .- 96 с.
5. Сипайлов Г.С., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. -М.: Высшая школа, 1980. - 176 с.
6. Корчемний М.О. Енергозбереження в АПК. Підручник для студентів вищих навчальних закладів.– Тернопіль: 2001, 984с.
7. Ковач К., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.Л., Госэнергоиздат, 1963. -744 с.
8. Высоцкий В.Е., Зубков Ю.В., Тулупов П.В. Математическое моделирование и оптимальное проектирование вентильных электрических машин. - М.: Энергоатомиздат,

2007.

9. Герман-Галкин Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Mathlab 6.0. - М.: Коронапринт, 2001.-320 с.
10. Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 192 с.
11. Петров Л.П., Ладензон В.А., Подзолов Р.Г., Яковлев А.В. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением. - М.: Энергия, 1977. - 200 с.
12. Беспалов В. Я. Перспективы создания отечественных электродвигателей нового поколения для частотно-регулируемого электропривода, - М.: МЭИ (ТУ), 2005.
13. Герман-Галкин Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. - СПб.: КОРОНА принт, 2007. -256 с.

Закладний О.М., Довгопола Н.О.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ЗА СХЕМОЮ АСИНХРОННО- ВЕНТИЛЬНИЙ

Актуальність теми. Вентиляція вугільних шахт є найважливішим технологічним процесом і забезпечується великим комплексом устаткування і заходів.

В силу обмеженого простору і не малої глибини, підземні гірничі виробки схильні скупченню різних шкідливих речовин природного і техногенного характеру, що в свою чергу неминуче впливає на людей, що знаходяться в гірничій виробці.

Одним з найважливіших ланок складної технологічної системи шахти, є система вентиляції шахтних виробок, перед якою стоїть завдання боротьби з шкідливими викидами в гірничих виробках. Від надійної, безвідмовної роботи системи провітрювання залежить безпека, а часто і життя людей, що працюють в шахті. У зв'язку з необхідністю наявності в шахтних умовах надійної, необхідної потужності і керованого джерела сил руху повітря, в якості основного джерела цих сил використовується вентилятор. В гірничій галузі на привід вентиляторів йде до 8-10% електроенергії, яка витрачається всією шахтою. Тому, створення високоекономічних вентиляторів і правильне їх використання має велике економічне значення.

Завдання автоматизації провітрювання шахт зводиться до подачі і розподілу по виробках такої кількості повітря, при якій забезпечується задана продуктивність вибоїв, дотримуються вимоги правил техніки безпеки та санітарно-гігієнічних норм, підтримуються оптимальні режими вентиляторних установок. Труднощі вирішення обумовлені наступними причинами:

- а) значною мінливістю параметрів вентиляційних мереж шахт;
- б) складністю і суперечливістю динамічних зв'язків між вхідним впливом і безліччю вихідних параметрів цього об'єкта;
- в) наявністю викидів у випадкових функціях регульованих параметрів;
- г) значна кількість датчиків, що використовуються для контролю параметрів атмосфери;
- д) складністю побудови системи автоматичного управління вентиляторними установками.

Для нормальної роботи системи автоматизації необхідно регулювати параметри, що змінюються в процесі роботи установки. Для цього важливо також підібрати датчики, які використовуються для виміру й контролю даних параметрів.

Заходи для зменшення витрат електроенергії на шахтній вентиляторній установці.

- а) заміна старих вентиляторів на нові, більш економічні;
- б) впровадження економічних способів регулювання продуктивності вентиляторів;
- в) блокування вентиляторів теплових завіс з пристроями відкривання і закривання воріт;
- г) вимкнення вентиляторів під час обідніх перерв, перезмін;
- д) усунення відхилень від проекту;
- е) усунення експлуатаційних дефектів;
- ж) впровадження автоматичного керування вентиляторними установками.

Основні шляхи енергозбереження електроенергії вентиляторними установками:

Перший шлях полягає в удосконалюванні процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації.

Другий шлях підвищення економічності масового нерегульованого електропривода - перехід на енергозберігаючі двигуни й двигуни поліпшеної конструкції, спеціально призначені для роботи з регульованим електроприводом.

Третій шлях - усунення проміжних передач.

Четвертий шлях полягає в підвищенні ефективності роботи електропривода, тобто у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода.

П'ятий шлях - вибір раціонального типу електропривода для конкретної технологічної установки й переході від нерегульованого електропривода до регульованого.

Шостий шлях – поліпшення якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

Сьомий шлях - економія електроенергії робочими установками й механізмами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

На рисунку 1 зображена структурна схема асинхронно-вентильного каскаду.

Структурна схема асинхронно-вентильного каскаду

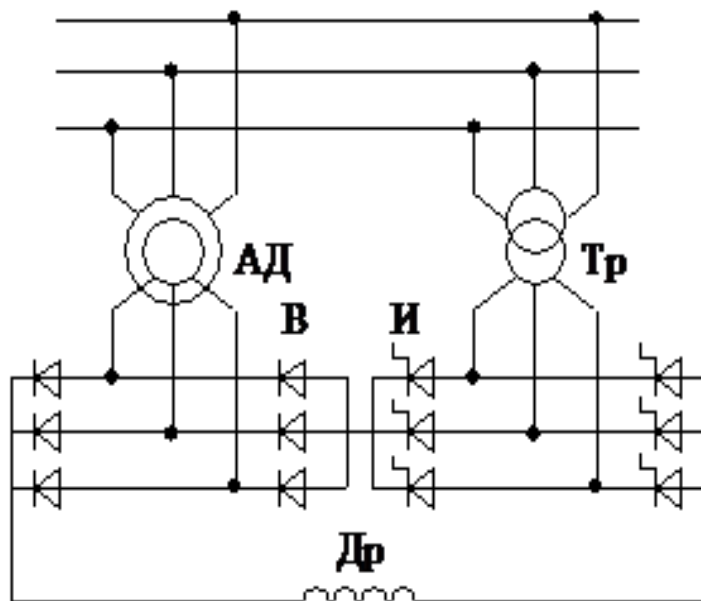


Рисунок 1

Асинхронний вентильний каскад складається з асинхронного двигуна АД, що приводить у рух вентиляторну установку; трифазного випрямляючого моста В, що перетворює змінний струм в постійний; інвертора І, за допомогою якого енергія постійного струму перетворюється на енергію змінного струму, яка повертається через трансформатор Тр в мережу.

На рисунку 2 зображена Функціональна схема АВК

Функціональна схема АВК

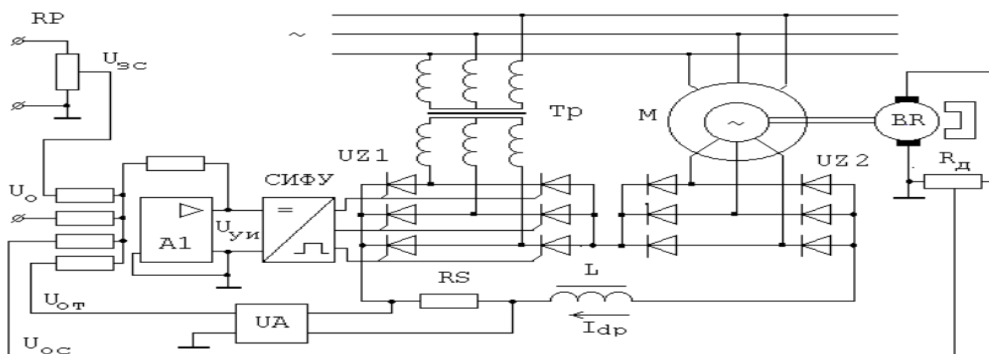


Рисунок 2

Керуючим елементом схеми є інвертор $UZ1$ з системою імпульсно-фазового управління. Швидкість асинхронного двигуна задається задатчиком напруги RP . Опорна напруга U_o дає можливість забезпечити зменшення напруги управління при збільшенні U_{zc} , дозволяючи, тим самим, забезпечити зниження кута управління інвертором. Збільшення жорсткості статичних характеристик в АВК досягається за рахунок використання комбінованого зворотного зв'язку - негативного по швидкості і позитивного по струму. Контроль швидкості в системі здійснюється за допомогою тахогенератора BR , а контроль випрямленого струму ротора - датчиком струму UA .

При збільшенні навантаження на валу АД швидкість знижується, і для її підвищення необхідно знижувати ЕРС інвертора. Отже, зворотній зв'язок по швидкості повинен бути негативним, оскільки $U_y = U_{zc} - K_c$. Оскільки зі збільшенням навантаження напругу управління U_y необхідно підвищувати, то зворотний зв'язок по струму повинен бути позитивним. На рисунку 3 зображена структурна схема електроприводу.

Структурна схема електроприводу

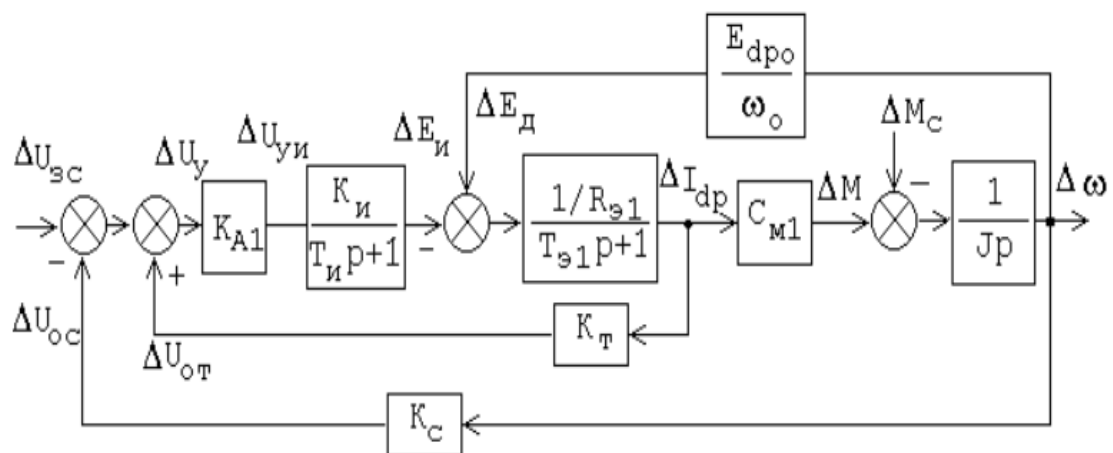


Рисунок 3

Передавальна функція по задаючому впливу прийме вигляд:

$$W_{зз}(p) = \frac{\Delta\omega_1(p)}{\Delta U_{zc1}(p)} = \frac{k_3}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0},$$

де $K_3 = K_{A1} K_{io} / E_{dpo}$; $T_2 = J R_{el} / (C_{m1} E_{dpo})$; $a_3 = T_i T_{el} T_2$; $a_2 = (T_i + T_{el}) T_2$; $a_1 = T_i + T_2 (1 - K_m K_{A1} K_i / R_{el})$; $a_0 = 1 + K_c K_3$.

$$W_{зв}(p) = \frac{\Delta\omega_1(p)}{\Delta M_c(p)} = \frac{k_{зв} (T_{эл} p + 1) (T_i p + 1)}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}.$$

де $K_{зв} = R_{el} / (C_{m1} E_{dpo})$.

Передавальна функція оптимізованого регулятора швидкості має вигляд: $W_{pc}(p) = \frac{JK_T}{4T_{\mu}C_M K_C}$.

Передавальна функція оптимізованого контуру швидкості опишеться виразом:

$$W_{окс}(p) = \frac{1}{K_C(4T_{\mu}p(2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)+1)+1)}.$$

У результаті моделювання отримано графіки перехідних процесів об'єкту регулювання при підпорядкованому законі регулювання за збурювальним впливом з ПІ-регулятором у зовнішньому контурі регулювання:

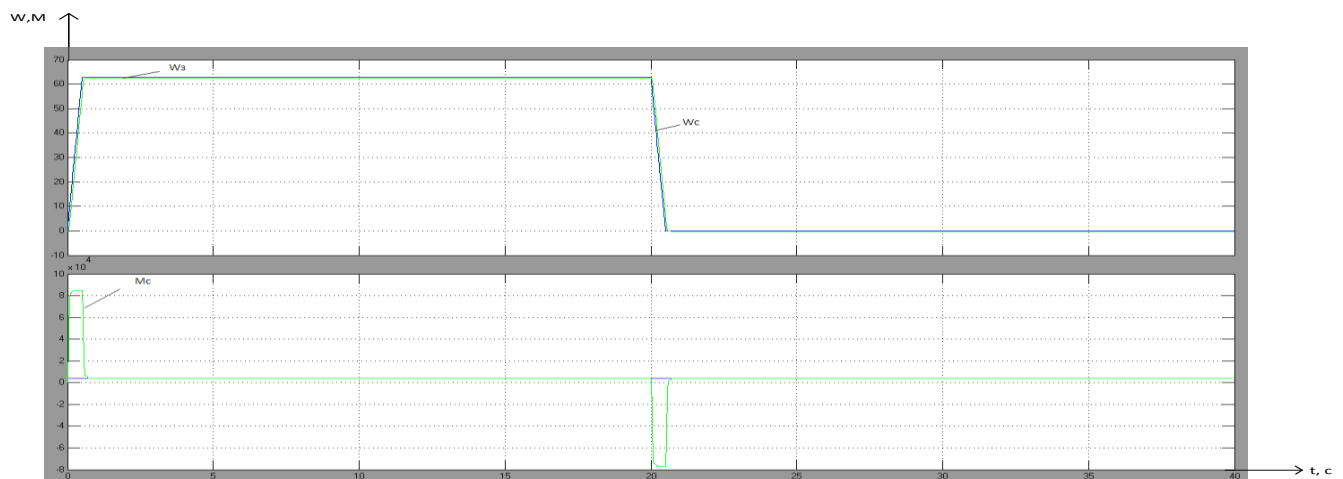


Рисунок 4 – Графіки перехідних процесів

На рисунку 5 зображена структурна схема АВК системи з підлеглим регулюванням.

Структурна схема АВК системи з підлеглим регулюванням

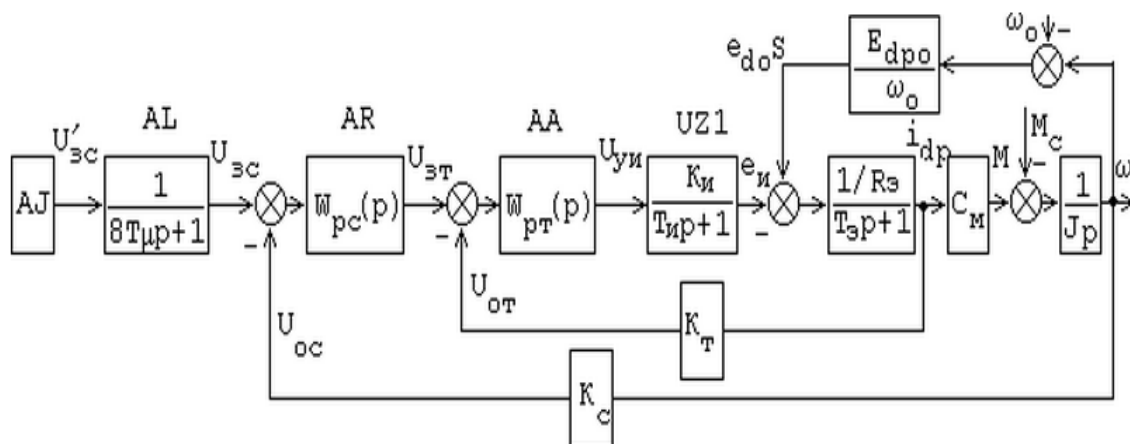


Рисунок 5

Передавальна функція оптимізованого контуру має вигляд: $W_{\text{окт}}(p) = \frac{1}{K_T(2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)+1)}$.

У зв'язку з тим, що R_e і T_e залежать від ковзання, то для обліку цього слід було б виконати регулятор струму зі змінними параметрами, залежними від S . Тоді при регулюванні швидкості вниз від основної, ковзання буде зростати, і стійкість контуру струму буде підвищуватися. Графіки перехідних процесів в АВК при різних значеннях S :

На рисунку 6 зображені графіки перехідних процесів.

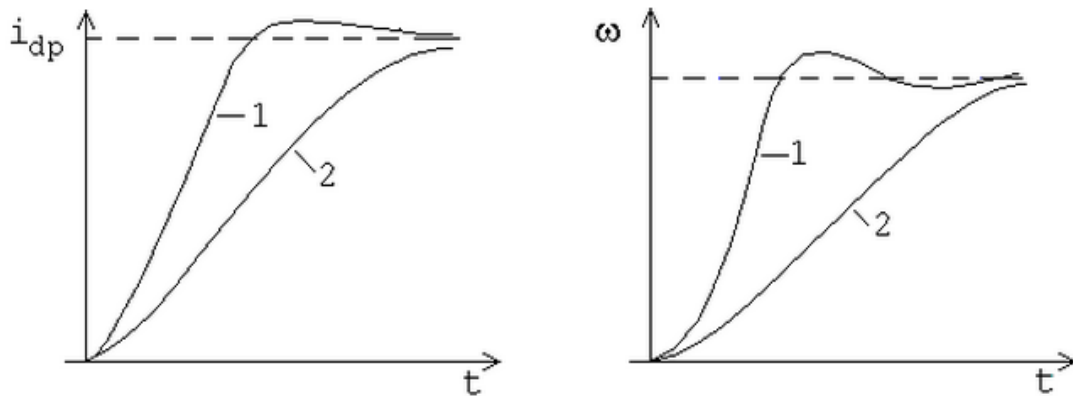


Рисунок 6

В даний час ВМП автоматизуються на основі використання апаратури АПТВ.

Апаратура АПТВ призначена для контролю надходження повітря до забою тупикової виробки від ВМП і автоматичного відключення електроенергії при порушенні нормального режиму провітрювання виробки, а також автоматизованого управління ВМП, у тому числі і резервним.

Апаратура забезпечує:

- автоматичне відключення групового апарату з регульованою витримкою часу від 30 до 120 секунд з моменту видачі датчиком швидкості повітря сигналу про порушення нормального провітрювання;
- автоматизоване місцеве і диспетчерське управління через систему телемеханіки;
- збереження включеного стану пускача працюючого ВМП і відключення роз'єднувача апаратури;
- імпульсний регульований пуск робочого і резервного ВМП;
- автоматичне включення резервного ВМП при відключенні робочого ВМП;
- автоматичний перекид апаратури і контролюючого пункту телемеханіки на резервну лінію живлення напругою 36 В;

- автоматичне відключення групового пускача, що живить електроприймачі забою, з регульованою витримкою часу від 0,5 до 2 хв після порушення нормального режиму провітрювання;
- блокування групового пускача у разі зникнення напруги живлення більш ніж на 2 хв і подальшого поста групового апарату;
- повторне автоматичне включення ВМП при перервах живлення на час до 1 хв.

Таким чином, дана апаратура не забезпечує одну з необхідних функцій - контроль витоків повітря.

Структурна схема процесу провітрювання

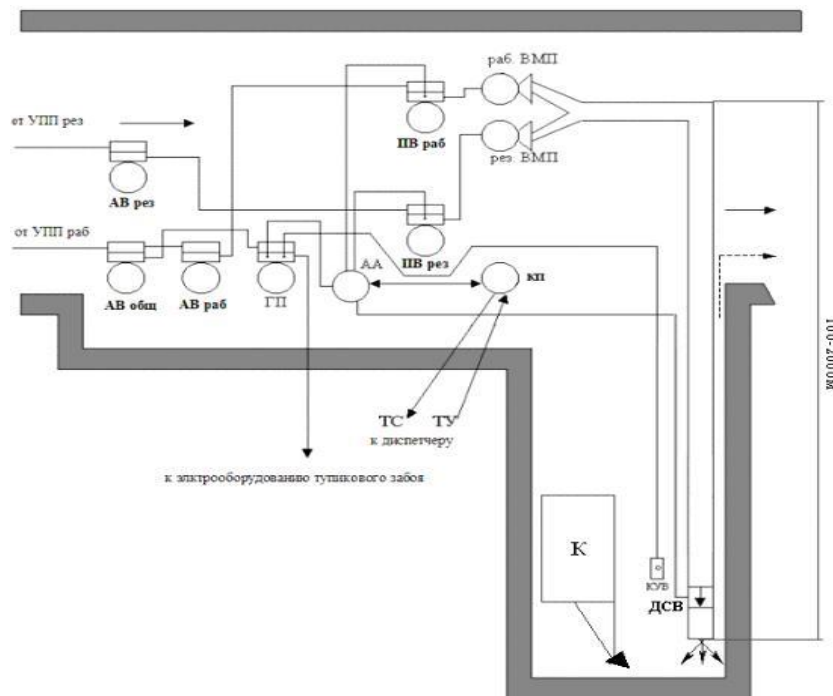


Рисунок 7

КП - контрольний пункт; КУВ - кнопка управління вентилятором;

ДСВ - датчик швидкості повітря; АВ - автоматичний вимикач;

АА - апаратура автоматизації; ПВ - пускач вибухобезпечний;

ДП - головний пускач; К - очисний (прохідницький) комбайн.

Основними елементами процесу є два ВМП: робочий і резервний, що забезпечує високий коефіцієнт готовності. ВМП працюють на загальний трубопровід, який подає свіжий струмінь повітря до забою. Кожним ВМП управляють відповідні АВ і ПВ. Обов'язковим елементом процесу є АА, яка здійснює безперервний контроль за

швидкістю повітря за допомогою тахогенераторного датчика ДСВ. При погіршенні режиму провітрювання АА за певним алгоритмом відпрацьовує відключення групового пускача, що живить споживачі тупикового вибою. АА також забезпечує включення резервного ВМП при несправності робітника. Наявність керуючої зв'язку АА, з ПВ ВМП забезпечує можливість імпульсного виключення ВМП, забезпечуючи плавність заповнення трубопроводу повітрям, можливість включення справного ВМП, при не включенні одного з двох і ін. Для забезпечення можливості управління ВМП з диспетчерської шахти використовуються КП, через який передаються сигнали ТУ. Сигнали ТЗ забезпечує сигналізацію про стан ВМП на пульті диспетчера.

Висновки.

1. Означено шляхи енергозбереження електроенергії шахтними вентиляторними установками та встановлено, що підвищення ККД вентиляційної мережі забезпечується за рахунок зниження підсосів повітря через надшахтну будівлю і канали вентилятора і зниженням опору вентиляційної мережі.

Визначено, що електропривод застосовується тоді коли швидкість потрібно регулювати в малому діапазоні і коли не потрібна висока точність регулювання. Це обумовлює застосування АВК в електроприводах зі спокійним графіком навантаження, у яких момент на валу змінюється дуже сильно (вентилятори, компресори, насоси).

2. Знайдені основні причини низької енергоефективності та виникнення аварій:

- неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження;
- недостатній обсяг інформації про технічний стан;
- відсутність ефективного безперервного захисту двигунів;
- несвоєчасне виявлення і усунення дефектів устаткування;
- недостатній рівень експлуатації;
- неякісний ремонт.

3. У результаті моделювання отримано графіки перехідних процесів об'єкту регулювання при підпорядкованому законі регулювання за збурювальним впливом з ПІ-регулятором у зовнішньому контурі регулювання. Аналіз отриманих результатів показав, що застосування ПІ-регулятора в зовнішньому контурі регулювання задовольняє вимоги технічного оптимуму, забезпечує високу швидкодію та усунення статичної помилки регулювання.

4. Для підвищення ефективності провітрювання підготовчих виробок необхідно автоматично управляти процесом провітрювання в залежності від поточних значень нормованих параметрів рудничної атмосфери виробки, її загазованості, подачі повітря в забій і працездатності вентиляторів.

РОЗДІЛ В
УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

УДК 681.5

Я.М. Демчик;
В.П. Розен, доктор технічних наук, професор;
Б.Л. Тишевич канд. техн. наук, доцент

СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ НА БАЗІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В статті досліджено цілі, завдання та методи прогнозування споживання електроенергії за допомогою системи інтелектуального управління на базі нейронної мережі. На підставі результатів досліджень зроблено висновок, що врахування різних нейронних мереж та строковість прогнозування впливає на похибку критерій регулярності.

Ключові слова: Прогнозування електричного навантаження, відносна похибка, критерій регулярності, штучна нейронна мережа.

Вступ.

Необхідність точного прогнозування споживання електроенергії обумовлена технологічними та економічними причинами. Робота електричних станцій проводиться відповідно до планових графіків, розрахованими на основі прогнозів споживання енергії. Особливість управління електроенергетикою полягає в необхідності постійної підтримки електричного балансу - точної відповідності генеруючих потужностей рівнем споживання. Якщо рівень генерації НЕ дорівнює споживанню, це нерівність (небаланс) потужності миттєво відбивається на основних параметрах електричних режимів, передусім на частоті електричного струму. Затримка з відновленням балансу призводить до погіршення параметрів режимів, можливості аварій і перерв електропостачання. Точне прогнозування забезпечує оптимальне з економічної точки зору розподіл навантажень між станціями, сприяє здійсненню економічно доцільних операцій з купівлі та продажу електроенергії. На основі прогнозів споживання проводиться підготовка балансів потужності та електроенергії, які визначають рівень власного споживання і можливості його покриття.

Програмні засоби статистичного аналізу дозволяють провести розрахунки середніх величин, сум, дисперсій, значень приростів в абсолютних величинах і відсотках, наростаючі значення за певний часовий інтервал. При проведенні статистичних розрахунків можливе завдання певних типів днів (робочі, вихідні) і складних часових інтервалів. Результати можуть бути представлені в графічному і табличному вигляді, виведені на друк і експортовані в таблиці Windows-програми Excel. Таким чином можливо зробити попередній висновок що класичні методи прогнозування є трішки застарілими і в них є ряд недоліків:

- відсутність у моделі уявлень щодо структури й системи зв'язків реального об'єкта, що вносить суб'єктивізм у вибір як самої моделі, так і її структури;
- труднощі побудови моделей за умови, що дані зберігаються в різних часових рядах та (або) мають тимчасові зрушення стосовно один одного;
- недостатня точність прогнозу;
- значна чутливість отриманих результатів до недостатньої інформації та (або) її зашумленість;
- потреб а у високій кваліфікації математиків-програмістів;
- залежність результату прогнозу від кваліфікації аналітика в конкретній предметній області.

Завдання та мета дослідження.

Завданням і метою роботи є дослідження відносних похибок при прогнозуванні електричних навантажень за допомогою штучних нейронних мереж.

Результати досліджень.

Аналіз досліджень електричних навантажень показує як правильно вибирати ШНМ при різних видах прогнозу (достроковий, середньостроковий, короткостроковий).

У прогнозування електроспоживання ідеальним рішенням є застосування часових рядів математичних моделей, заснованих на використанні апарата ШНМ, що включає в себе розвинену методологію структурного моделювання й методів навчання, основаних на добре розвинутій теорії нелінійного програмування [3, 4].

Прогнозування обсягів електроенергії (навантаження), яке необхідне для вирішення завдань планування та оперативного управління режимами функціонування підприємств, проводиться в наступних часових діапазонах: оперативне (доба); короткострокове (доба-тиждень-місяць); довгострокове (місяць-квартал-рік).

Розроблено велику кількість методів і моделей прогнозування навантаження. Традиційні статистичні моделі можуть бути умовно розділені на регресивні моделі і моделі на основі часових рядів.

Особливий інтерес представляє використання нейронної мережі (НМ) в якості моделі виконує прогноз. Перевага НМ перед традиційними моделями зумовлена тим, що не потрібно будувати модель об'єкта, не губиться працездатність при неповній вхідній інформації, у НМ висока стійкість до перешкод і швидкодія. Дані прогнозів за різні періоди зберігаються в базі даних. Важливим етапом синтезу НМ прогнозування є вибір, формування і нормування вектора вхідних даних [1]. Залежно від розмірності цього вектора визначається кількість входів НМ. Для вибору оптимальної конфігурації НМ прогнозування були досліджені кілька типів НМ з різними параметрами [2]. Результати досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вид прогнозу	Назва НМ	Конфігурація НМ	Алгоритм навчання	Критерій регулярності $\Delta_p, \times 10^{-6}$	Максимальна відносна похибка $\Delta, \%$
Довгостроковий	Каскадна	$20 \times \text{tansig} + 10 \times \text{tribas} + 5 \times \text{poslin} + 1 \times \text{purelin}$	trainlm	606,22	5,5524
Довгостроковий	Каскадна	$20 \times \text{tansig} + 10 \times \text{tribas} + 5 \times \text{poslin} + 1 \times \text{purelin}$	trainbfg	5746,9	13,028
Довгостроковий	Реккурент-на Елмана	$20 \times \text{tribas} + 10 \times \text{tansig} + 5 \times \text{poslin} + 1 \times \text{purelin}$	trainbfg	471,2	4,3464
Средньостроковий	Каскадна	$20 \times \text{radbas} + 10 \times \text{tansig} + \text{poslin} + 1 \times \text{purelin}$	trainlm	1787,8	8,3801
Средньостроковий	Каскадна	$20 \times \text{radbas} + 10 \times \text{tansig} + \text{poslin} + 1 \times \text{purelin}$	trainbfg	239,17	3,3347
Короткостроковий	«Класична»	$20 \times \text{tribas} + 10 \times \text{tansig} + 5 \times \text{poslin} + 1 \times \text{purelin}$	trainlm	73,707	1,3948
Короткостроковий	НМ з РБФ	$400 \times \text{radbas} + 1 \times \text{purelin}$	-	0,85095	0,12987

НМ для вирі позначення: tansig - сигмоїдальна (гіперболічна) функція активації (ФА); tribas - трикутна ФА; poslin - напівлінійних ФА; purelin - лінійна ФА; radbas -

радіально-базисна (РБФ) ФА. Перед ФА вказано кількість нейронів в шарі.

Для алгоритмів навчання НС прийняті позначення: trainlm - алгоритм навчання НМ Левенберга-Марквардта; trainbfg - квазіньютонівський алгоритм навчання НМ.

Критерій регулярності Δ_p розраховувався за формулою (1):

$$\Delta_p = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N t_i^2} \rightarrow \min, (1)$$

де a_i - вихід НС для i -го входу нейрона p_i в шарі; t_i - цільове значення входу p_i ; N - кількість входів нейронів. Максимальна відносна похибка апроксимації Δ розраховувалася за формулою (2):

$$\Delta = \max\left(\left|\frac{a_i - t_i}{t_i}\right| * 100\%\right) (2)$$

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити ряд висновків

1. Найкращі результати довгострокового прогнозування отримані при використанні каскадних мереж і рекурентної мережі Елмана (для неї $\Delta_p=471,2e-6$, $\Delta=4,3464\%$).

2. Для середньострокового прогнозування найкраще підійшли каскадні НМ ($\Delta_p=239,17e-6$, $\Delta=3,3347\%$).

3. Для короткострокового прогнозування найкраще підійшли "класична" НС ($\Delta_p=73,707e-6$, $\Delta=1,3948\%$) і НС з РБФ ($\Delta_p=0,85095$, $\Delta=0,12987\%$).

Список літератури

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. – М. Мир, 1992. – 186с.
2. Hippert H.S., Pedreira C.E., Souza R.C. Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: A Review and Evaluation // IEEE Trans. on Power System. – 2001. – Vol. 16, No. 1. – P. 44-55.
3. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютеринг и его применение в экономике и бизнесе – М.: Диалог- МИФИ, 1998.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344.: ил.

Y.M. Demchik;

PhD. Professor **V.P. Rosen;**

PhD. Sc. Science, Associate Professor **B.L. Tyshevykh**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM BASED ON NEURAL NETWORK PREDICTION OF ENERGY CONSUMPTION

In the article the goals, objectives and methods of forecasting electricity consumption through intelligent control system based on neural network. Based on the results of studies concluded that taking into account different neural networks and classification is forecasting error affects the regularity criterion.

Keywords: Prediction of electrical load relative error criterion regularity, artificial neural network.

УДК 62-523.2

**О.В. Бібік, с.н.с., інституту електродинаміки НАНУ,
В. Г. Клименко, магістр,
В.О. Полішук ст. викладач,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”**

ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГУН З СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПРИВОДУ ВЕРСТАТ-ГОЙДАЛОК

Розраховано геометричні параметри вентильно-індукторного двигуна. Показано доцільність його використання для приводу верстат-гойдалки. Запропоновано систему керування вентильно-індукторним двигуном, яка пов'язана з верстат-гойдалкою за допомогою датчиків контролю за дебітом свердловини.

Ключові слова: вентильно-індукторний двигун, верстат-гойдалка, регульований привод.

ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРИВОДА СТАНКОВ-КАЧАЛОК

Рассчитаны геометрические параметры вентильно-индукторного двигателя. Показана целесообразность его использования для привода станка-качалки. Предложена система управления вентильно-индукторным двигателем, которая связана со станком-качалкой при помощи датчиков контроля за дебитом скважины.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, станок-качалка, регулируемый привод.

SWITCHED RELUCTANCE MOTOR WITH CONTROLLING SYSTEM FOR DRIVING PUMP IN GUNITS

The geometrical parameters of the switched reluctance motor are calculated. The expediency of using it in the drive of pumping unit was shown. The system of control of switched reluctance motor connected to pumping unit with sensors that monitor the flowrate of the well is proposed.

Key words: switched reluctance motor, pumping unit, regulated actuator.

Регульований електропривод все частіше замінює нерегульований з метою досягнення енергозбереження та ефективності робочих режимів. Наукові дослідження електроприводу вказують на те, що чисельність систем приводу з двигунами постійного струму знижується і збільшується частка систем приводу з двигунами змінного струму. Перспективним є використання вентильно-індукторних двигунів (ВІД). У теперішній час ВІД все частіше використовуються для різних робочих механізмів.

ВІД доцільно використовувати для електроприводу механізмів, у яких за умовами експлуатації, перш за все, потрібно здійснювати регулювання частоти обертання двигуна в широкому діапазоні. Наприклад, електропривод верстатів-гойдалок з програмним керуванням, електропривод для металургії, гірничодобувної промисловості та рухомого складу електричного транспорту, також компресорів, насосів і вентиляторів.

Мета роботи полягає у проектуванні ВІД у корпусі асинхронного двигуна (АД) для верстат-гойдалки та розробці системи керування, що змінює частоту обертання двигуна в залежності від дебіту свердловини.

Досягнення мети дозволить зменшити енерговитрати під час процесу видобутку нафти шляхом використання регульованого ВІД з системою керування та датчиків дебіту свердловини, від яких поступають сигнали на пристрій керування, що забезпечує регулювання частоти обертання ВІД.

Теоретичний аналіз показав, що інтегральне виконання напівпровідникового перетворювача та індукторної машини є більш вигідним у порівнянні з частотно-керованим асинхронним приводом. Трудомісткість виготовлення ВІД в 1,5...2 рази менше ніж АД, а ціна у 2 рази нижча. Відсутні електричні втрати в роторі, конструкція простіша і технологічніша, менша маса.

У результаті дослідження для верстат-гойдалки типу СКДТ12-3-5600 було розраховано геометричні параметри ВІД потужністю 38 кВт, що забезпечило використання корпуса серійного АД типу АИР200М2У3 для індукторної машини. При цьому отримано загальноприйняті значення індукції.

Розраховано коефіцієнт корисної дії (ККД) ВІД, який дорівнює 0,956 (без урахувань втрат у підшипниках), цей показник в АД - 0,9...0,91. Таким чином, можна стверджувати, що ККД спроектованого ВІД на 3...4 % більше ніж у АД.

Встановлено, що за використання ВІД з системою керування на верстат-гойдалці можна досягнути таких переваг: відсутня необхідність зупиняти роботу верстат-гойдалки, щоб здійснювалось заповнення свердловини; по мірі того, як знижується дебіт свердловини треба зменшувати частоту обертання, що забезпечує більш ефективний режим роботи приводу; через певний час експлуатації на стінках насосно-компресорних труб утворюються парафінові осади і тому використання ВІД дозволяє підтримувати ефективний режим роботи нафтодобувної системи без проведення проміжних очисних робіт.

Висновки. Спроековано ВІД для верстата-гойдалки типу СКДТ12-3-5600. Система керування ВІД має зв'язок з верстат-гойдалкою та змінює частоту обертання в залежності від показів датчиків, що сприяє ефективній роботі верстат-гойдалки. Це дає підставу припустити, що використання приводу верстат-гойдалки з ВІД перспективне у нафтовидобувній промисловості.

Література:

1. Ковалко М.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П.Ковалко, С.П.Денисюк. – К.: КЕЗ, 1998. – 504 с.
2. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия ветра. Ветроэлектроагрегаты, ветроэнергетика / В.С.Кривцов, А.М.Олейников, А.И.Яковлев. – Харьков, ХАИ, 2004. – 400 с.
3. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підруч. / С.П.Шевчук, О.М.Попович, В.М.Світлицький. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 308 с.
4. Попович О.М. Головань І.В. Визначення параметрів заступної схеми асинхронного двигуна та їх нелінійних залежностей за результатами польового аналізу // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Зб.наук.праць. –2012. – Вип.31. – С. 38-48.

УДК 697.922:628.852.2

Шульга Ю.І
Масник Т.В.
Броницький В.О

Контроль та управління якістю повітряного середовища у приміщенні по рівню CO_2

Комфортний і безпечний стан повітряного середовища – це широке поняття, що залежить від цілого ряду факторів: температура, відносна вологість, вміст кисню, вуглекислого газу, ступеня іонізації повітря, шумових та інших чинників. Створення такого стану є достатньо складною задачею, тому що зачіпає не тільки питання здорових умов праці через кількісні параметри повітря, що впливають, з одного боку, на здоров'я працівників, а з іншого боку, на кількісні показники трудового ритму – продуктивність підчас виконання тих або інших робіт.

У випадку наявності або обліку одного фактора, що впливає на комфортність, залежність показника комфортності може бути представлена відповідною кривою, яка легко апроксимується відомими математичними прийомами. При двох факторах, що впливають на комфортність, можна одержати деяку фігуру на площині. Вихідними матеріалами повинні бути залежності показника комфортності від кожного із сукупності апроксимуючих факторів. Підтвердженням цього є залежність комфортності від температури й рівня CO_2 , яка представлена на рис. 1.1.

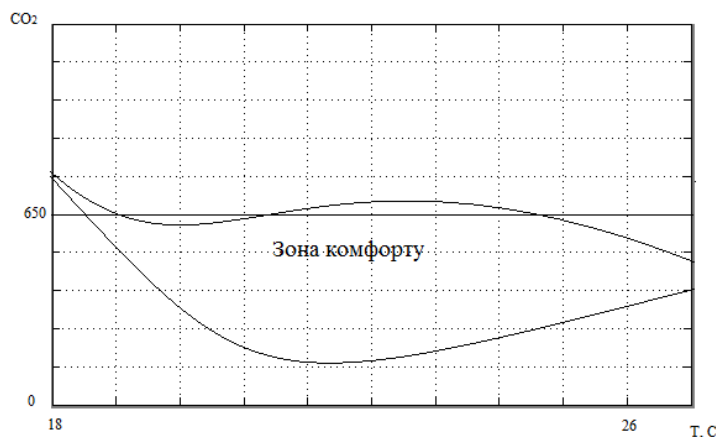


Рис.1.1 Графік залежності комфортних умов від температури й рівня CO_2

Найбільш ефективним методом побудови найкращого середнього квадратичного наближення є метод найменших квадратів. Метод найменших квадратів (МНК), завдяки широкій сфері застосування, посідає виняткове місце серед методів математичної статистики. Задачею МНК є оцінка закономірностей, які спостерігаються на тлі випадкових коливань, та її використання для подальших розрахунків.

Параметри повітряного середовища взаємозв'язані між собою, зміна одного призводить до зміни інших. Безліч параметрів повітряного середовища, які необхідно враховувати, обумовлюють необхідність створення багатофункціональних моделей системи управління, які б підтримували дані параметри в межах санітарно-гігієнічних норм, тим самим створюючи здорові умови праці.

Розроблена функціональна схема дослідження теплофізичних аспектів формування необхідного температурного та газового режиму у приміщенні підвищеного комфорту (ППК) (рис.1.2).

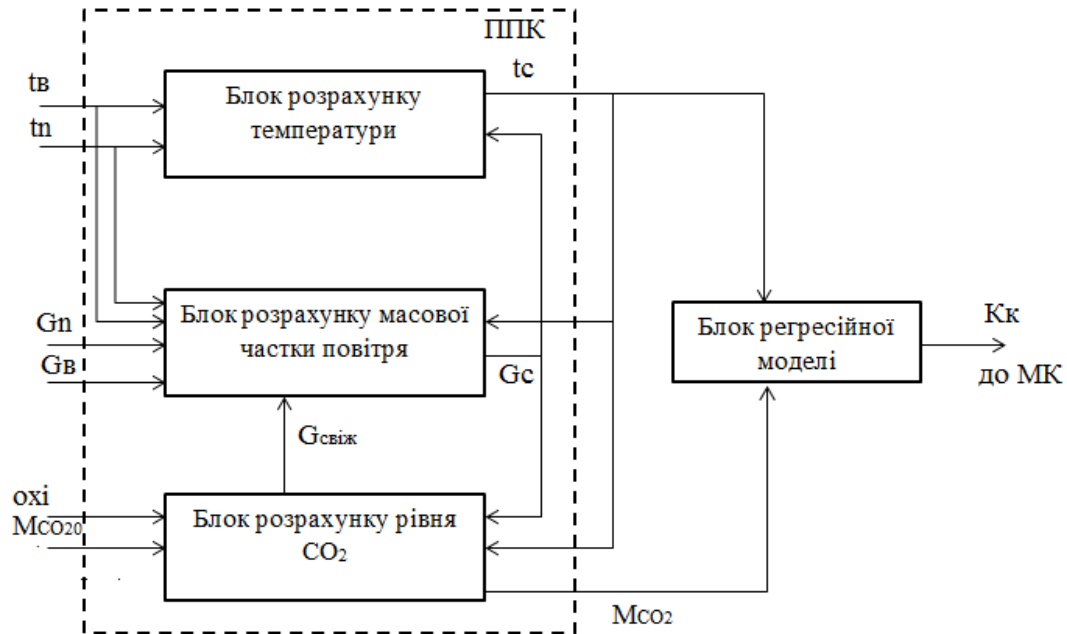


Рис. 1.2 Функціональна схема дослідження температурного та газового режиму у ППК

Вентильоване приміщення підвищеної комфортності описується за допомогою рівняння теплового балансу:

$$(G_n + G_v) \times C_c t_c = G_n G_n t_n + G_v C_v t_v$$

де G_n – масова частка повітря в приміщенні, м^3 ;

G_v – масова частка повітря, що подається з вулиці, м^3 ;

t_n, t_v, t_c – температура повітря в приміщенні, повітря, що подається з вулиці та температура суміші, $^{\circ}\text{C}$;

C_n, C_v, C_c – теплоємність повітря в приміщенні, вуличного повітря та суміші.

Також модель ППК описується рівнянням рівня CO_2 :

$$M_{\text{CO}_2}(t) = (G_{\text{свіж}} M_{\text{CO}_2\text{свіж}} + \text{oxi}(t, m)n) + M_{\text{CO}_20}$$

де M_{CO_20} – початковий вміст вуглекислого газу;

$G_{\text{свіж}}$ – свіжого повітря для вентиляції приміщення, кг/с ;

$M_{\text{CO}_2\text{свіж}}$ – абсолютний вміст CO_2 в атмосфері, $(\text{кг}_{\text{co}_2}/\text{кг})$;

$\text{oxi}(t, m)$ – виділення CO_2 однією особою залежно від фізичного стану, л/год ;

n – кількість людей;

Відповідно до функціональної схеми та приведених рівнянь розроблено модель приміщення підвищеної комфортності. (рис.1.3)

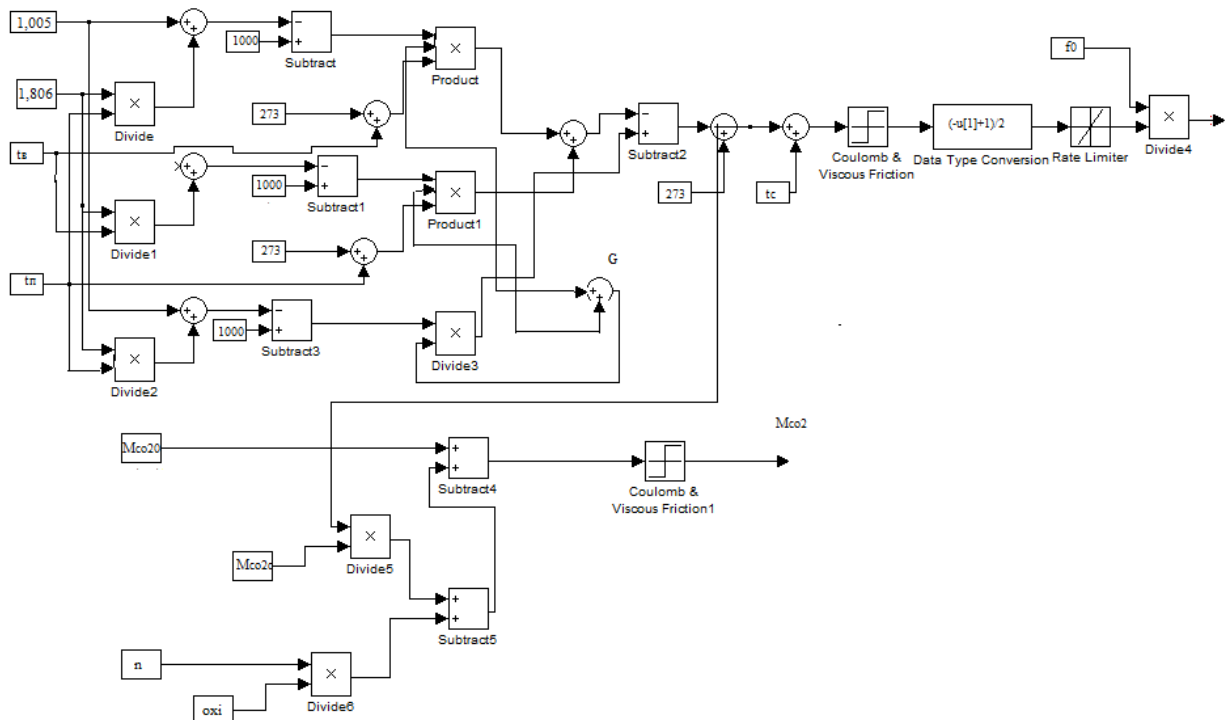
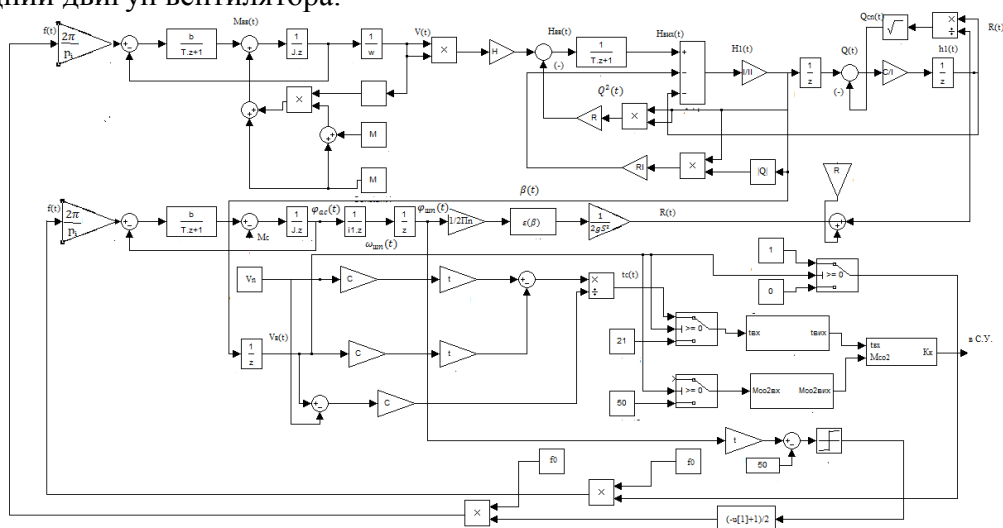
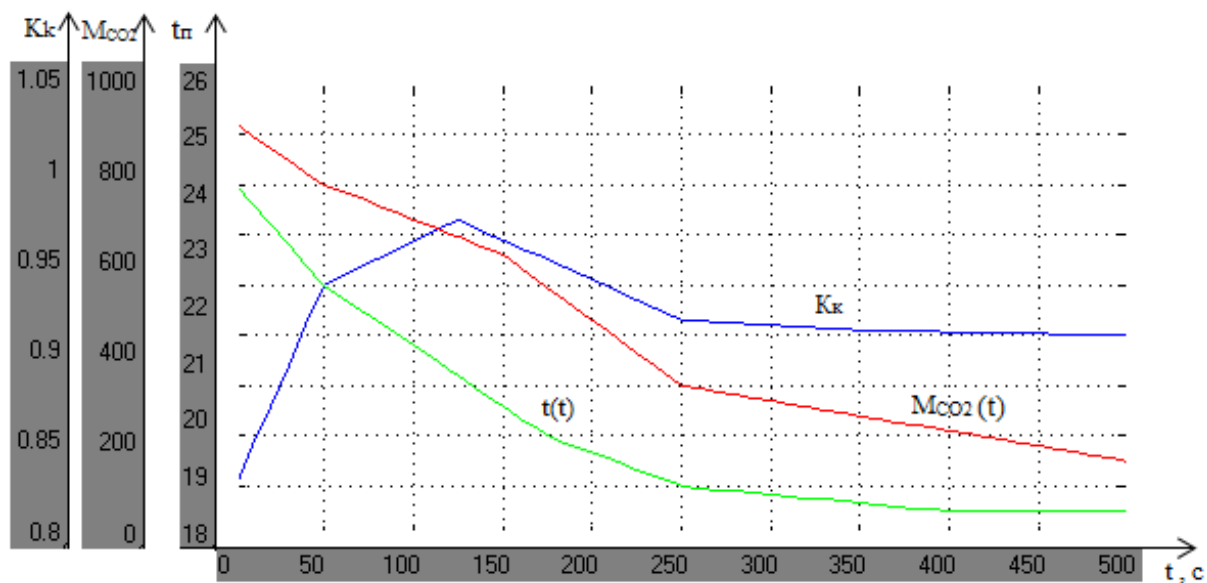


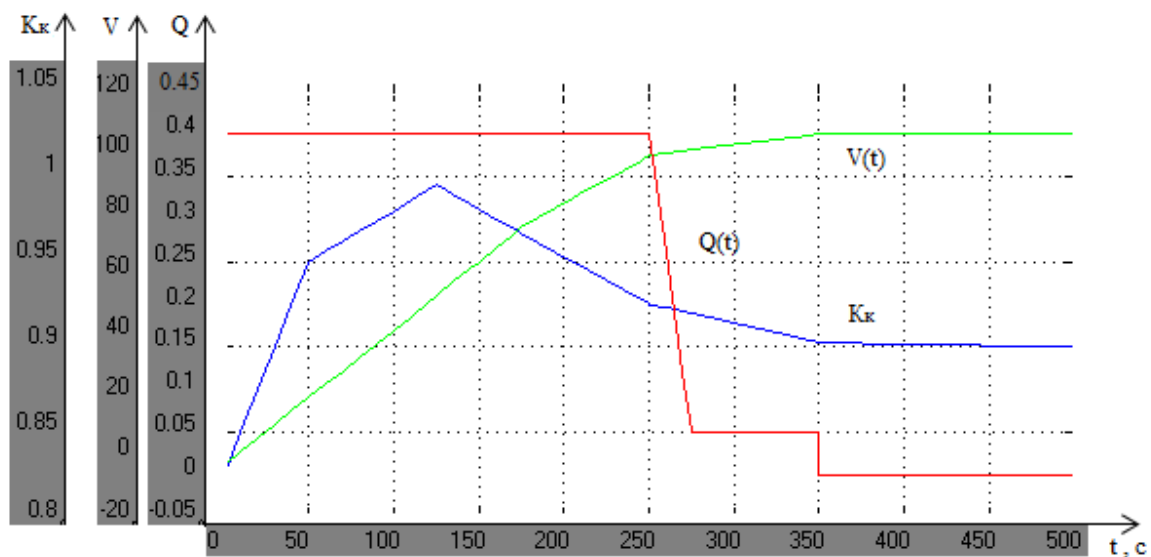
Рис.1.3 Модель приміщення підвищення комфортності

Була розроблена наступна структура схема математичної моделі (рис.1.4), що включає відцентровий вентилятор ВВ та регулюючий засіб розгалуженої аеромережі (засувка) З із природними асинхронними двигунами, ділянку трубопровідної аеромережі ТМ, приміщенням П, регулятори температури та рівня CO_2 та підсистему коефіцієнта комфортності. Модель дозволяє досліджувати температурний режим в приміщенні при штучному завданні температури збудження, температури вуличного повітря та об'єму приміщення. Регулюючий засіб розгалуженої аеромережі спрацьовує по факту досягнення об'єму в приміщенні об'єму завдання, після цього відключається приводний двигун вентилятора.



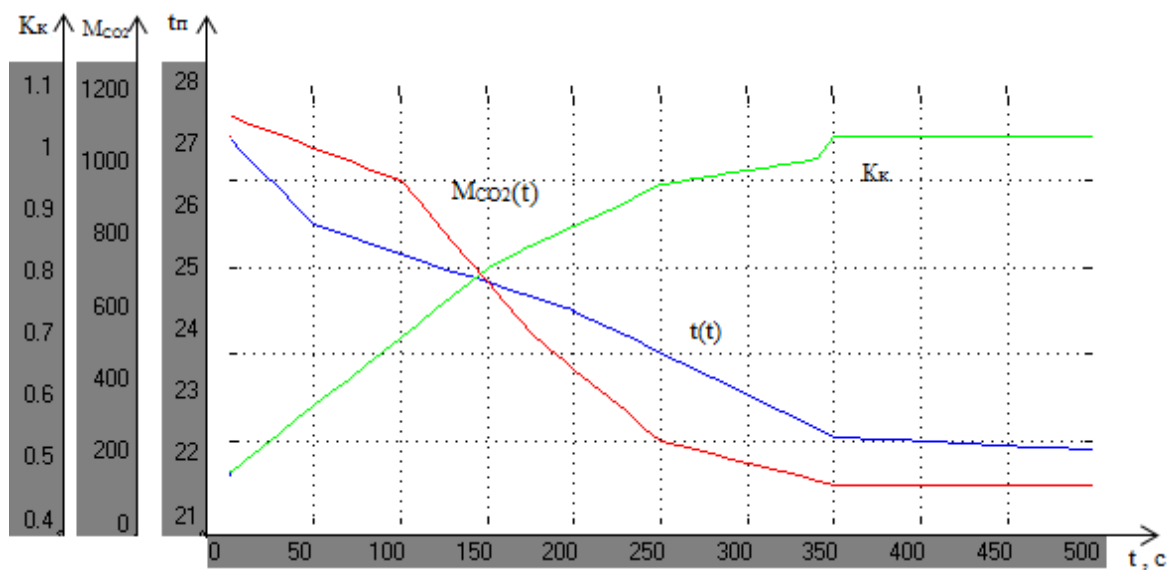


а)

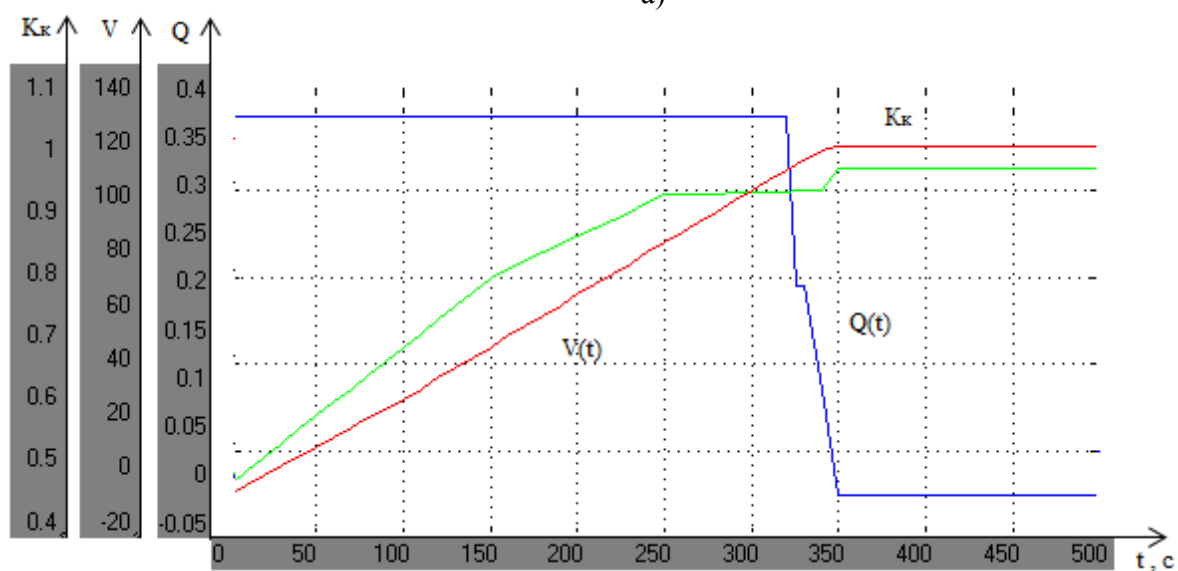


б)

Рис.1.5. Графік зміни коефіцієнту комфортності (K_k), температури в приміщенні (T) та рівня CO_2 (M_{CO_2}) (а) та зміни продуктивності вентилятора (Q), об'єму повітря (V), коефіцієнту комфортності (K_k) (б) в приміщенні №1



а)



б)

Рис.3.12. . Графік зміни коефіцієнту комфортності (K_k), температури в приміщенні (T) та рівня CO_2 (M_{CO_2})(а) та зміни продуктивності вентилятора (Q), об'єму повітря (V), коефіцієнту комфортності (K_k) (б) в приміщенні №2

Андросова І.В., магістрант;
Алтухов Є.І., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ (САР)
НАВАНТАЖЕННЯ ВИДОБУВНИХ МАШИН ПО ФАКТОРУ ГАЗОВИДІЛЕННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИКЛАДНОГО ПАКЕТУ SIMULINK ПРОГРАМНОГО
КОМПЛЕКСУ MATLAB**

У статті на прикладі системи автоматичного регулювання (САР) навантаження видобувних машин, як складної електромеханічної системи показано доцільність її синтезу методом моделювання з використанням пакета SIMULINK.

Вступ. В умовах розробки пластів підчищеної газоносності найбільш сприятливим режимом роботи вугледобувних машин буде такий, при якому швидкість подачі (V_n) встановлюється залежно від стану газового режиму в очисному забої.

У цьому випадку автоматизація цього процесу досягається шляхом синтезу САР вугледобувних машин за фактором газовиділення. Відмінною особливістю таких САР є наявність у ланцюзі регулятора автоматичного метан-аналізатора, який управляє швидкістю подачі машини.

При такому регулюванні досягається стабільний безпечний газовий режим в призабійному просторі, що призводить до стабілізації навантаження видобувної комбайна за рахунок усунення простойв і забезпечення безперервного циклу роботи. Зменшується знос і підвищується термін служби приводу так и подачею частини комбайна.

Мета роботи - обґрунтування доцільності використання газового режиму очисного забою для керування швидкістю подачі, шляхом синтезу САР навантаження вугледобувних машин із застосуванням методики нечіткого моделювання.

Матеріал і результати дослідження.

Двоконтурна САР для вугледобувної машини із загальним приводом подачею і виконавчої частин за фактором газовиділення наведена на рис.1.

В підсилювач контуру регулювання метану, що виконує одночасно функції порівняльного елемента, подається постійний сигнал завдання, відповідний допустимого значення концентрації метану в зоні виїмки. Порівняння його з сигналом датчика дозволяє встановити наявність відхилення $\Delta U = U_3 - U_{3н}$ в залежності від знаку і величини якого в пристрої управління завданням виробляються команди на збільшення або зменшення рівня завдання контуру регулювання навантаження. При відпрацюванні цих команд регулятор навантаження змінює швидкість подачі виїмкових машин таким чином, щоб компенсувати відхилення ΔU і привести вміст метану в очисному забої до заданого рівня.

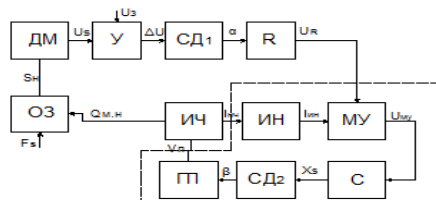


Рис.1 – Структурна схема САР двоконтурного регулювання подачі добувної машини: У – підсилювач; СД1, СД2 – серводвигуни; Р – потенціометр; МУ – магнітний

підсилювач; С – соленоїд; ГП – гідропривід; ИЧ – виконавча частина; ИН – вимірювач навантаження; ОЗ – очисний вибір; ДМ – датчик метану.

При появі збурень в контурі регулювання навантаження F_n останній «опитає» основний контур про можливість збільшення або зменшення швидкості подачі машини з тим, щоб у новому стані рівноваги, до якого прийде система, концентрація метану в забої і навантаження двигуна ріжучої частини були відповідно на заданому функціональному рівнях U_3 і $U_{3H} = f(S)$.

З урахуванням рівнянь динаміки ланок системи її структурна схема на рис.2.

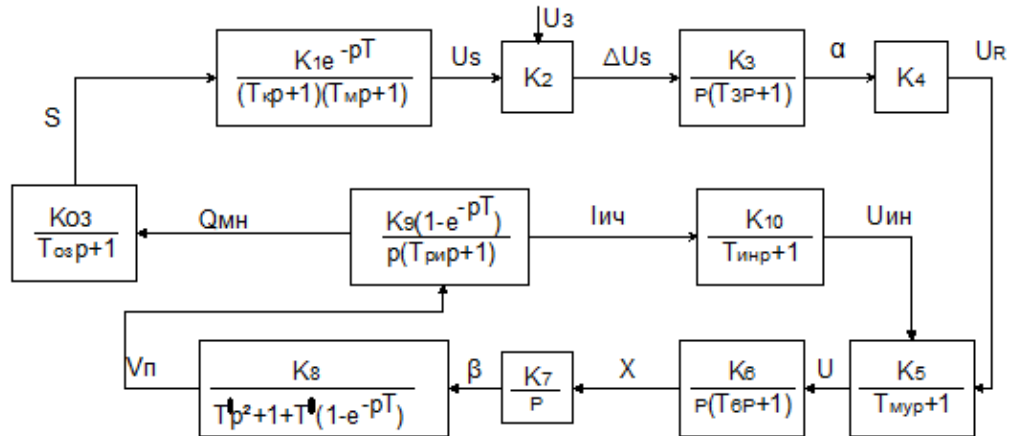


Рис.2 – Структурна САР вугледобувної машини з гідроприводом подачі при мінімальному варіанті автоматизації з урахуванням газового режиму.

Комп'ютерне моделювання САР (рис.2) можна виконати на будь-якій мові програмування високого рівня (Basic, Pascal, Delphi, C, C++ і ін.).

Однак найбільш доцільно використовувати методом моделювання з використанням прикладного пакету SIMULINK програмного комплексу MATLAB. Необхідний фазі-контролер синтезуємо згідно з алгоритмом Сугено рис.3.

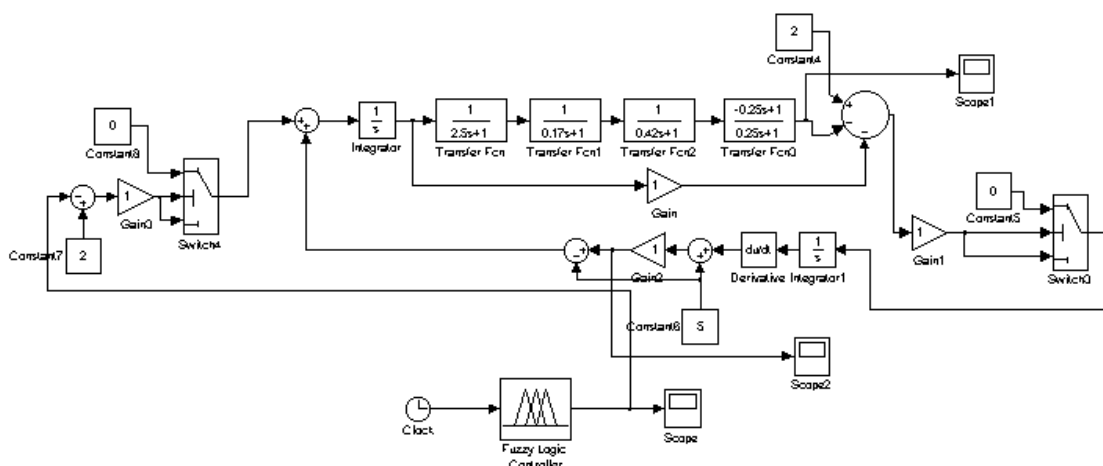


Рис. 3 – SIMULINK – модель САР за фактором газовиділення досліджуваної системи з ФК.

В результаті створення системи нечіткого логічного висновку результат дефазікації (графік залежності керуючого сигналу з ФК від сигналу помилки регулювання) зображено на рис.4.

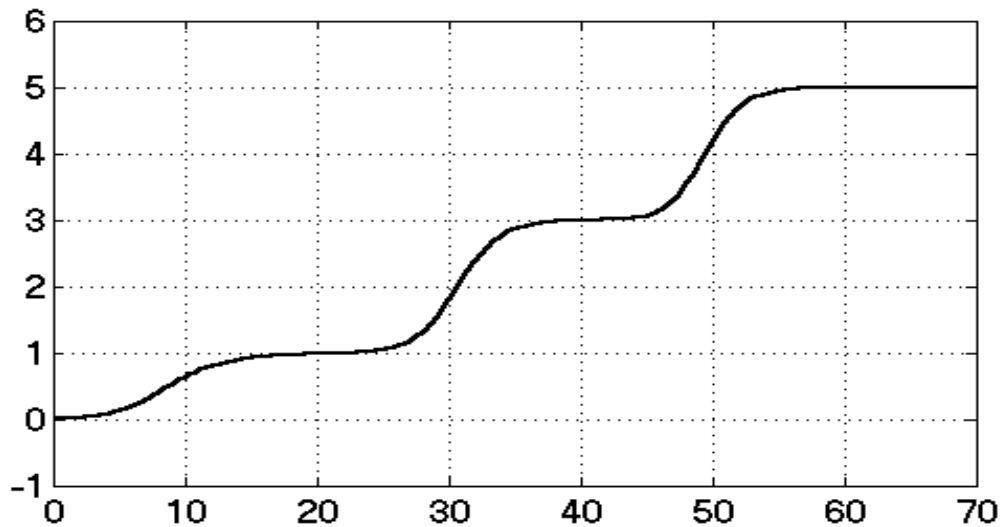


Рис.4 – Графік залежності керуючого сигналу фазі-контролера від сигналу помилки регулювання (концентрації метану).

На рис.5 показано вид перехідного процесу зміни швидкості подачі при стані газового режиму в очисному заборі при використанні системи управління з фазі-контролером.

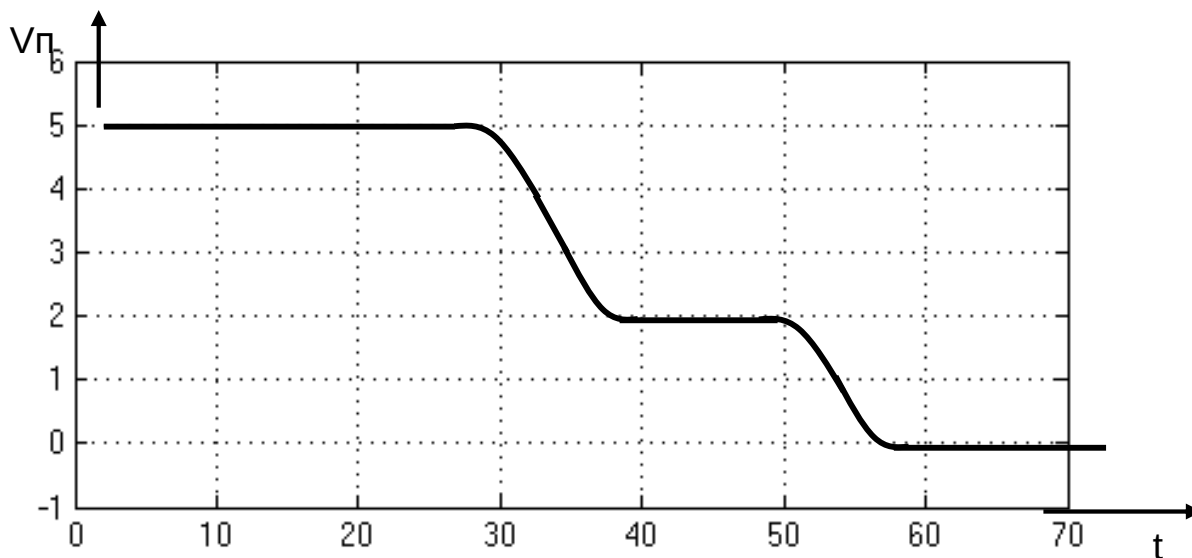


Рис. 5 – Вид перехідного процесу зміни швидкості подачі.

Як видно з рис.5 наявність у ланцюзі регулятора автоматичного метан-аналізатора швидкість подачі комбайна чітко стежить за концентрацією метану S.

Висновки. 1. Використання газового режиму (концентрацію метану) як регульованої величини, а швидкість подачі в якості регулюючого впливу можна стабілізувати навантаження видобувних машин за рахунок безперервної роботи і

запобігти надмірне скупчення і можливий вибух рудникового газу.

2. Існуючі засоби контролю вмісту метану не забезпечують необхідну швидкодію.

Література:

1. Беран А.И., Позин Е.З., Кутовой В.И. Исследование транспортирующей способности барабанных и шнековых исполнительных органов узкозахватных комбайнов. Сб. «Горные машины и автоматика». Недра, М., вып 2. 1996.
2. Картавый И.Г., Глушко В.В, Ульник В.А., Ульник В.А. Автоматическое регулирование режимов работы горных машин. Недра, М. 1970.
3. Тарасевич В.И. Регулирование подачи в условиях разработки пластов повышенной газоносности. «Уголь Украины» 1969, №12.
4. Тарасевич В.И. Передаточная функция газового режима очистных забоев в зависимости от режима работы угледобывающих машин. «Уголь Украины» 1968, №2.
5. Цирульников А.С. Газовый режим на эксплуатационном участке. Сб. «Автоматизация проветривания шахт». К. 1964.
6. Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984.-285с.

**В.В. Зорин д.т.н., професор (НТУУ «КПІ»),
К.Ю. Суменко, студент (НТУУ «КПІ»)**

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА РЕЖИМУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

**V. V. Zorin, a.t.s., professor (NTUU "KPI"),
K.J. Sumenko, a student (NTUU "KPI")**

COMPREHENSIVE ASSESSMENT REGIME DISTRIBUTIVE POWER NETWORKS

Робота присвячена вирішенню актуальної задачі – проведенню комплексної оцінки режиму розподільних електричних мереж. В роботі проведено розрахунок схеми повітряної мережі 0,38 кВ та втрат електричної мережі 0,38 кВ. Запропоновано моделі та методи розрахунку і оцінки втрат потужності і електричної енергії.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, втрати електричної енергії, ефективне управління.

Работа посвящена решению актуальной задачи – проведение комплексной оценки режиму распределенных электрических сетей. В работе проведено расчеты схемы воздушной сети 0,38 кВ и потерь электрической сети 0,38 кВ. Предложено модели и методы расчета и оценки потерь мощности и электрической энергии.

Ключевые слова: распределенные электрические сети, потери электрической энергии, эффективное управление.

The work is devoted to the solution of actual problem – a comprehensive assessment of the mode of distribution networks. In this work the calculation scheme of the air network 0,38 kV and electricity losses in the network 0,38 kV. The proposed models and methods of calculation and evaluation of power losses and electricity.

Keywords: electrical power distribution system losses of electricity, effective management.

Вступ. Актуальність дослідження. Розподільна електрична мережа забезпечує розподіл електричної енергії між пунктами споживання. Основними елементами мереж є з'єднані між собою ділянки повітряних і кабельних ліній, трансформатори, комутаційні апарати, шини, компенсуючі пристрої і т.д.. Велика частина електричних мереж нашої країни об'єднана в єдину енергосистему, що включає мережі напругою від 0,38 кВ до 750 кВ.

Кожен елемент мережі в будь-який момент часу характеризується вихідними параметрами, обумовленими паспортними даними та поточним станом, і параметрами режиму (струмами, напругою, потоками і втратами потужності і т.д.).

Варто зазначити, що електрична енергія є єдиним видом продукції, для переміщення якого від місць виробництва до місць споживання не використовуються інші ресурси. Для цього витрачається частина самої переданої електроенергії, тому її втрати неминучі, завдання полягає у визначенні їх економічно обґрунтованого рівня. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах до цього рівня – один з важливих напрямків енергозбереження.

Для ефективного управління електричними мережами необхідно знати параметри,

як поточних режимів електричних мереж, так і вміти визначати оптимальні режими для поточного моменту часу і на короткострокову та довгострокову перспективу.

Параметри поточних режимів можна виміряти приладами і зберегти на папері або в ЕОМ для подальшого аналізу. Через велику кількість елементів мережі оснастити кожен з них вимірювальними приладами та системою передачі інформації технічно складно і економічно недоцільно. Тому необхідні для управління відсутні параметри режиму можна змодельовати за допомогою фізичних і математичних моделей. Найбільшого поширення набуло математичне моделювання режимів електричних мереж.

Завданням та метою дослідження є – проведення комплексної оцінки режиму розподільних електричних мереж.

Результати дослідження можуть використовуватися в місцевих електричних мережах і районних електричних мережах енергосистем, міських електричних мережах, а також у проектних і дослідницьких організаціях для вирішення завдань аналізу режимів РС, планування нормальних і після аварійних режимів, структурного аналізу втрат електроенергії та розробки заходів щодо їх зниження, визначення оптимальних законів регулювання напружень в підстанціях і сезонної зміни регулювальних відгалужень перемикачів коефіцієнтів трансформації без збудження трансформаторів, прийняття рішень з відновлення живлення споживачів при виході з ладу елементів мережі і планових їх ремонтах, видачі технічних умов на приєднання нових споживачів.

Втрати електроенергії в електричних мережах є економічним показником стану мереж. На думку міжнародних експертів у галузі енергетики відносні втрати електроенергії при її передачі в електричних мережах не повинні перевищувати 4%. Втрати електроенергії на рівні 10% можна вважати максимально допустимими.

Втрати електроенергії в електричних мережах – найважливіший показник економічності їхньої роботи, наочний індикатор стану системи обліку електроенергії, ефективності енергозбутової діяльності енергопостачальних організацій.

Першочерговим завданням для забезпечення підвищення ефективності функціонування розподільчих електричних мереж є виділення низки основних причин зростання втрат електроенергії на її транспортування та визначення переліку можливих заходів щодо їх зниження (рисунк 1).



Рис. 1 – Основні причини зростання втрат електроенергії та можливі заходи щодо їх зниження.

Слід зазначити, що ефективна реалізація цих заходів можлива лише за комплексного підходу. Усі ці питання (рисунк 1) необхідно враховувати при плануванні перспективного розвитку електричних мереж.

Також, для ефективного управління електричними мережами необхідно знати параметри, як поточних режимів електричних мереж, так і вміти визначати оптимальні режими для поточного моменту часу і на короткострокову та довгострокову перспективу.

Через велику кількість елементів мережі оснастити кожен з них вимірювальними приладами та системою передачі інформації технічно складно і економічно недоцільно.

Тому необхідні для управління відсутні параметри режиму можна змодельовати за допомогою фізичних і математичних моделей.

За типом моделей розрахункових електричних навантажень розрізняють три групи методів розрахунку втрат – детерміновані, ймовірносно-статистичні та методи в умовах невизначеності (нечіткості) інформації. Проведено розрахунок для трьох варіантів виконання мережі $U=0,38/0,22$ кВ:

Варіант 1) $r_0 = 0,62$ Ом/км, $\cos\varphi = 1$;

Варіант 2) $r_0=0,62$ Ом/км; $\cos\varphi=0,9$; $\sin\varphi = 0,43$; $x_0=0$ Ом/км,

Варіант 3) $r_0=0,62$ Ом/км; $\cos\varphi=0,9$; $\sin\varphi = 0,43$; $x_0=0,4$ Ом/км.

Отримані результати вказують на те, що найбільші втрати електричної енергії при третьому варіанті мережі. Загальні втрати складають 8410,5 кВт·год.

Порівняльні таблиці

Таблиця 1 - $\cos\varphi=1$, $x_0=0$ Ом/км, $r_0=0,62$ Ом/км:

ділянки	$\Delta U_{\%}$, %	P , кВт	$K_{м/н}$	ΔP , кВт	$\Delta P_{\%}$, %	ΔW , кВт·год
ОА	5,65	66	1	3,74	5,65	5890,5
АВ	4,52	26,3		1,19	4,52	1874,25
BD'	2,26		0,67	0,39	1,51	614,25
Σ	12,43	92,3		5,32	5,76	8379

Таблиця 2 - $\cos\varphi=0,9$, $x_0=0$ Ом/км, $r_0=0,62$ Ом/км:

ділянки	$\Delta U\%$, %	P , кВт	$K_{м/н}$	ΔP , кВт	$\Delta P\%$, %	ΔW , кВт·год
ОА	5,08	59,23	1,23	3,74	6,27	5890,5
АВ	4,07	23,69		1,18	5,02	1858,5
BD'	2,03		0,82	0,39	1,67	614,25
Σ	11,18	82,92		5,31	6,4	8363,25

Таблиця 3 - $\cos\varphi=0,9$, $x_0=0,34$ Ом/км, $r_0=0,62$ Ом/км:

ділянки	$\Delta U_{\%}, \%$	$P, \text{кВт}$	$K_{\text{м/н}}$	$\Delta P, \text{кВт}$	$\Delta P_{\%}, \%$	$\Delta W, \text{кВт}\cdot\text{год}$
ОА	6,46	59,23	0,98	4,86	3,74	5890,5
АВ	5,17	23,69		1,56	1,18	1890,0
ВD'	2,57		0,65	0,52	0,34	630,0
Σ	14,21	82,92		6,94	5,26	8410,5

Висновки:

На основі проведеного дослідження встановлено що електричні мережі 0,38 кВ є останньою ланкою в ланцюзі передачі і розподілу електроенергії від електростанцій до споживачів. По Україні в цілому вони складають близько 40% від сумарної протяжності всіх електричних мереж. Від надійності роботи мереж 0,38 кВ та їх завантаження

вирішальним чином залежать надійність, якість і економічність електропостачання споживачів, а від точності розрахунків технічних втрат в мережах 0,38 кВ - точність виявлення комерційних втрат в електричних мережах в цілому. Використання математичних моделей є доцільним і значно спрощує розрахунок втрат електричної енергії в мережах.

Список використаних джерел

1. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: НУ ЭНАС, 2002. – 280с.
2. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176с.
3. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения: Учебник. – Чернигов: ЧГТУ, 2005. – 341 с. – ISBN 966-7496-15-5.
4. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: НУ ЭНАС, 2002. – 280с.
5. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176с.

УДК 697.922:628.852.2

Добровольський А.В.

Торопов А.В.

Нечітке керування електроприводом припливної вентиляції на базі програмованого логічного контролера

На сьогоднішній день системи припливної вентиляції застосовуються повсюдно, у житлових, офісних, складських, промислових, комерційних приміщеннях. Велику складність при проектуванні таких систем становить непостійність навантаження яке припадає на вентиляційну систему (зміна кількості людей у приміщенні, відкривання закривання вікон та дверей, кліматичні зміни протягом дня), що в свою чергу ставить високі вимоги до регуляторів які керують процесом і ускладнює їх моделювання.

Оптимальні та адаптивні регулятори, що поширені тепер в науці та техніці, мають суттєвий недолік – їх якісна робота обмежена досить вузькими рамками зовнішніх умов, за межами яких вони швидко втрачають свої оптимальні властивості. Саме у цьому випадку може допомогти лінгвістична змінна, за допомогою якої описують недостовірні та неповні дані про умови роботи та цілі керування в САК та ЕМС. Синтезований для таких умов регулятор має назву нечіткого регулятора. Який якнайкраще підходить для систем з частою і нелінійною зміною параметрів.

Нечіткий регулятор реалізується на базі ПЛК (програмованого логічного контролера) які в останні роки набули широкого розповсюдження. І які дозволяють досить легко і просто, програмно реалізувати необхідні закони управління. На рис.1 зображеному нижче, приводиться математична модель системи припливної вентиляції з контролем по температурі, реалізована на базі нечіткого регулятора в Matlab Simulink.

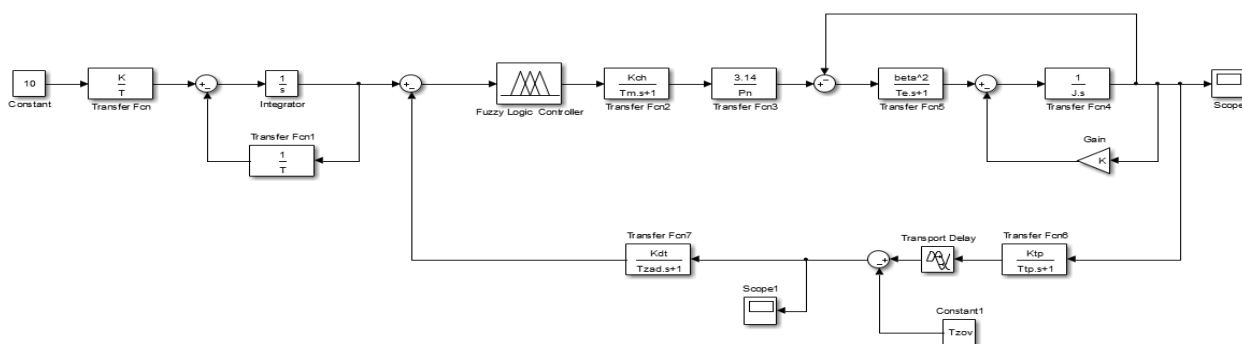


Рисунок 1. Функціональна схема системи припливної вентиляції на базі нечіткого регулятора.

На рисунку позначено:

Regulator – регулятор на базі фазі логіки.

T_m – стала часу 0.001 с.

K_{rch} – передаточний коефіцієнт ПЧ.

P_n – кількість пар полюсів.

T_e – стала часу 0.01 с.

β – $[\beta]$ жорсткість механічної характеристики/

J – приведений момент інерції системи.

T_{tech} – час перехідного процесу по температурі

K_{tr} – коефіцієнт технологічного процесу по температурі.

T_{zov} – температура навколишнього середовища.

T_{zad} – задана температура.

K_{dt} – коефіцієнт датчика температури.

Першим кроком у синтезі нечіткого регулятора є здійснення фазифікації, розподілу на декілька робочих зон (S – мале, M – середнє, B – велике. Відхилення) показано на рис.2

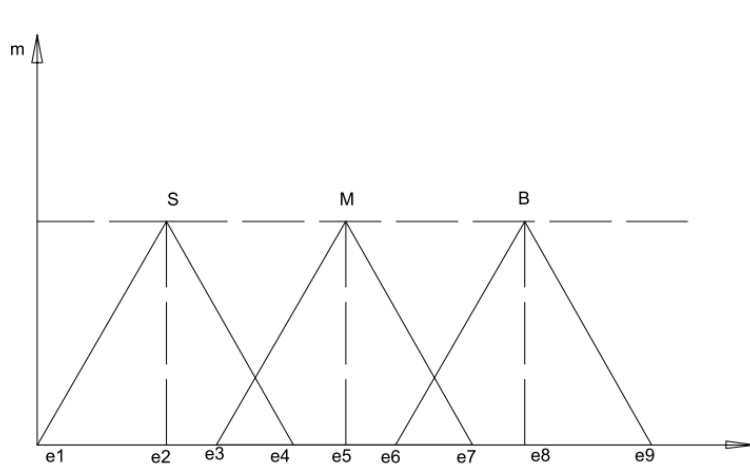


Рисунок 2. Фазифікація

Наступним кроком у здійсненні синтезу нечіткого регулятора є складання сукупності логічних правил для E – зміна температури, E' – швидкість зміни температури.

Якщо $E=S$, а $E'=M$, то $y=M$. і далі по аналогії для кожного можливого варіанту

Приведено нижче в таблиці 1.

Таблиця 1

$E \backslash E'$	SS	S	M	B	BB
SS	SS	S	S	M	B
S	SS	S	M	B	B
M	S	S	M	B	BB
B	S	M	M	B	BB
BB	M	M	B	BB	BB

Здійснення дефазифікації

Для:

SS – вихід = 1B.

S – вихід = 3В.

M – вихід = 5В.

B – вихід = 7В.

BB – вихід = 9В.

Написання програми для ПЛК для реалізації нечіткого регулятора, здійснюється в Codesys на мові ST.

```

PLC_PRG (PRG-ST)
0006
0007 END_VAR
0008 VAR CONSTANT
0009     SS: REAL;
0010     M: REAL;
0011     B: REAL;
0012
0013 SS=1
0014 S=3
0015 M=5
0016 B=7
0017 BB=10
0018 IF 0<e<0.2 AND 0<e'<0.2 then Y=SS end_if
0019 IF 0<e<0.2 AND 0.2<e'<0.4 then Y=SS end_if
0020 IF 0<e<0.2 AND 0.4<e'<0.6 then Y=SS end_if
0021 IF 0<e<0.2 AND 0.6<e'<0.8 then Y=SS end_if
0022 IF 0<e<0.2 AND 0.8<e'<1 then Y=SS end_if
0023 IF 0.2<e<0.4 AND 0<e'<0.2 then Y=S end_if
0024 IF 0.2<e<0.4 AND 0.2<e'<0.4 then Y=S end_if
0025 IF 0.2<e<0.4 AND 0.4<e'<0.6 then Y=S end_if
0026 IF 0.2<e<0.4 AND 0.6<e'<0.8 then Y=S end_if
0027 IF 0.2<e<0.4 AND 0.8<e'<1 then Y=S end_if
0028 IF 0.4<e<0.6 AND 0<e'<0.2 then Y=M end_if
0029 IF 0.4<e<0.6 AND 0.2<e'<0.4 then Y=M end_if
0030 IF 0.4<e<0.6 AND 0.4<e'<0.6 then Y=M end_if
0031 IF 0.4<e<0.6 AND 0.6<e'<0.8 then Y=M end_if
0032 IF 0.4<e<0.6 AND 0.8<e'<1 then Y=M end_if
0033 IF 0.6<e<0.8 AND 0<e'<0.2 then Y=B end_if
0034 IF 0.6<e<0.8 AND 0.2<e'<0.4 then Y=B end_if
0035 IF 0.6<e<0.8 AND 0.4<e'<0.6 then Y=B end_if
0036 IF 0.6<e<0.8 AND 0.6<e'<0.8 then Y=B end_if
0037 IF 0.6<e<0.8 AND 0.8<e'<1 then Y=B end_if
0038 IF 0.8<e<1 AND 0<e'<0.2 then Y=BB end_if

```

Результат роботи системи вентиляції з нечітким регулятором реалізованим на базі ПЛК показаний на рис.3 у вигляді графіку перехідного процесу по температурі .

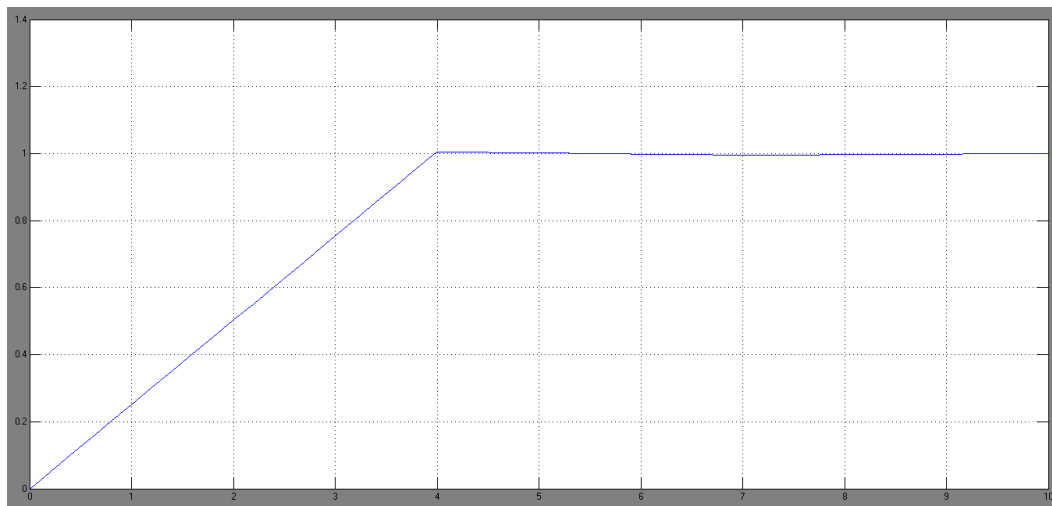


Рисунок 3. Графік перехідного процесу по температурі

Із отриманих результатів можна зробити висновок, що синтезований мною нечіткий регулятор на базі ПЛК чудово справляється з поставленим на початку завданням: він чітко і якісно підтримує заданий рівень температури, при цьому перехідний процес залишається на низькому рівні.

УДК 621.311.1: 621.926.3

Мейта О.В., Поліщук В.О., Поволоцький Є.Р.

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ
З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ
АНОТАЦІЯ**

Стаття присвячена питанням застосування апарату штучних нейронних мереж для побудови моделей елементів дробильно-помольного комплексу, з метою визначення факторів, що мають найбільший вплив на електроспоживання агрегатів подрібнення та помелу.

Ключові слова: дробильно-помольний комплекс, факторне поле, штучні нейронні мережі, шаровий млин.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам применения аппарата искусственных нейронных сетей для построения моделей элементов дробильно-помольного комплекса, с целью определения факторов, которые имеют наибольшее влияние на электропотребление агрегатов измельчения и помола.

Ключевые слова: дробильно-помольный комплекс, факторное поле, искусственные нейронные сети, шаровая мельница.

ABSTRACT

The article is sanctified to the questions of application of artificial neural networks for the construction of models of elements of crush-milling complex, with the purpose of determination of factors that have most influence on the electro-consumption of aggregates of growing and grade shallow.

Keywords: crush-milling complex, factor field, artificial neural networks, ball mill.

Вступление.

Дробильно-помольный комплекс является неотъемлемой частью заводов по производству силикатного кирпича. На заводах силикатного кирпича в данной экономической ситуации цена формируется из следующих основных статей затрат: сырьё (песок и известь), налоги, топливно-энергетические ресурсы, заработная плата.

Значительную часть в себестоимости кирпича занимают топливно-энергетические ресурсы. Основным инструментом сокращения потребления энергии и, соответственно, повышения эффективности использования энергии является энергетический менеджмент.

Одними из энергоемких объектов на заводе являются трубные шаровые мельницы, работающие по открытому циклу (однократное прохождение материала) с паспортной производительностью 10 т/час, приводимые в движение синхронными электродвигателями номинальной мощностью 400 кВт. Для электропривода такой мельницы характерным является то, что потребляемая мощность мало зависит от производительности. То есть удельные затраты на производство вяжущего значительно уменьшаются при увеличении производительности, которая, в свою очередь, зависит от следующих основных факторов: тонина помола, количество мелющих тел, размер мелющих тел, наличие междукламерных перегородок, состояние бронефутеровки, интенсивность аспирации, сопротивление материала измельчению, введение интенсификатора процесса измельчения.

Цель и задачи исследования.

Технологический процесс на предприятиях дробильно-помольного комплекса представляет собой последовательность операций, на каждой из которой происходит изменение физического состояния вещества и наращивание величины потребленной комплексом энергии. Качественные показатели изменения состояния вещества и количество затраченной на это энергии определяется факторами, совокупность которых образует факторное поле объекта. Каждый из факторов оказывает свое влияние на величину потребляемой комплексом энергии. Учет всех факторов при построении систем управления комплексом усложняет систему и не всегда повышает ее качество. Поэтому при построении систем управления необходимо учитывать факторы в наибольшей мере влияющие на конечный результат. С данной целью в статье будет рассмотрено факторное поле элементов дробильно-помольного комплекса и проведен его анализ, выявляющий наиболее значимые для электропотребления факторы.

Результаты исследований.

Технологический процесс производства силикатного кирпича на предприятиях строительной промышленности представляет собой последовательность следующих операций (примерная типовая технология):

- доставка исходного сырья для приготовления кирпича (известь и песок)
- обжиг извести
- транспортировка обожженной извести ленточным конвейером в бункер питания дробилки
- дробление извести в молотковых дробилках до крупности 1 мм
- транспортировка дробленого продукта пневмотранспортом в бункер питания мельницы
- измельчение в шаровой мельнице приготовленной извести и песка (приготовление вяжущего)
- транспортировка готового вяжущего пневмотранспортом в формовочный цех для изготовления кирпича из подготовленного сырья
- складирование готовой продукции

На каждом этапе технологии происходит изменение физического состояния вещества при некотором расходе энергии. Изменения в физическом состоянии могут носить как положительный характер (необходимые по технологии изменения, такие как снижение крупности материала, придание необходимых свойств извести путем ее обжига, формовка готового изделия) так и отрицательный (переизмельчение вещества, нежелательное изменение влажности, потери при транспортировке). Вне зависимости от того технологически полезное или вредное действие совершается, величина потребленной энергии при переходе от одного этапа к другому постоянно возрастает, поэтому, для обеспечения рационального энергосберегающего управления комплексом необходимо учесть насколько энергоемок каждый этап производства и насколько этот расход энергии оправдан. Вместе с тем, для каждого этапа необходимо выявить факторы, определяющие его энергопотребление и те показатели, по которым можно оценивать его энергетическое состояние. Представление факторного поля в виде нескольких групп величин является удобной с точки зрения дальнейшей обработки с помощью нейросетевых моделей, поскольку при таком разделении факторов группа контролируемых величин представляет собой целевой вектор, а все остальные – входной. Из технологической цепочки дробильно-помольного комплекса наибольший

интерес представляют факторные поля дробилки и мельницы, как ключевых объектов комплекса.

Рассмотрим факторное поле шаровой мельницы [1]. Для простейшего случая группа контролируемых факторов может быть представлена одной величиной. Для ранних систем управления, в процессах, где допускался значительный разброс по качеству помола, такой величиной принималась производительность оборудования. На предприятиях, где выдвигались более жесткие требования к качеству готового продукта, выходной вектор состоял из двух величин: производительности и качества. С наступлением времен дефицита энергии выходной вектор был дополнен таким фактором как электропотребление. В следствие того, что зависимость электропотребления от производительность мельницы (степени ее загруженности) имеет слабо возрастающий характер вместо использования величины электропотребления возможно использование величины удельного электропотребления на тонну продукции. Кроме вышеуказанных величин в состав выходного вектора могут входить такие величины как давление масла в цапфе, крутящий момент на валу, вес вещества в мельнице, ток в статоре приводного двигателя и т. п., но все эти величины являются косвенными для определения трех основных: электропотребления (удельного электропотребления), качества помола, производительности оборудования. Поэтому, вне зависимости от того по скольким переменным контролируется процесс, можно говорить о трех факторах выходного вектора, к которым приводятся все косвенные факторы.

Группа величин, характеризующих оборудование наиболее статична по отношению к другим группам факторов. Изменения величин из этой группы требуют гораздо большего времени, либо же при соответствующем режиме замены могут считаться постоянными. Такой параметр как мощность привода со временем не меняется, а степень его изношенности на отрезке времени длиною в рабочий цикл может быть принята постоянной при условии эксплуатации привода в номинальном режиме. Габаритные размеры мельницы – величина постоянная, однако, следует учитывать, что размеры рабочего пространства за время работы увеличиваются, что связано с износом футеровочной брони, что вместе с тем ухудшает условия измельчения. Поскольку толщину футеровочных плит нельзя регулярно контролировать (остановка оборудования, демонтаж футеровки), то для построения факторного поля можно использовать приблизительные оценочные характеристики, типа: новая, слегка изношенная, средняя степень изношенности, сильно изношенная и т. п., которые в дальнейшем будут преобразованы в некоторые числовые оценки.

В группе регулирующих факторов следует выделить такие основные факторы, как загрузка материалом, шаровая загрузка и скорость вращения барабана мельницы. Регулирование работы шаровой мельницы осуществляется, прежде всего, за счет ее загрузки материалом. Для мельниц разомкнутого цикла величина подаваемого питания является основной величиной определяющей производительность мельницы. Периодичность и размеры догружаемых доз сырья позволяют управлять работой мельницы по производительности. Для стабильно работающей мельницы количество догружаемого вещества определяется количеством измельченного вещества. При изменяющихся параметрах измельчения (необходимость большей степени измельчения, изменение влажности, прочностных характеристик сырья) интервалы между загрузками по необходимости увеличивают или уменьшают. Количество подаваемого вещества в сочетании с шаровой загрузкой (кроме мельниц самоизмельчения) образуют величину циркуляционной нагрузки, которая влияет на расход электроэнергии объекта. Для шаровой загрузки важным является не только ее масса, но и сортament загружаемых

шаров, поскольку размер шара определяет выполняемую им работу измельчения. Если мельница не оборудована специальными загрузочными устройствами, то загрузка шаров осуществляется циклически перед началом работы (не обязательно в начале каждой смены). При определении необходимого количества догружаемых шаров существует ряд сложностей, связанных с невозможностью точного определения количества и сортамента шаров, оставшихся в мельнице. Величина остатка шаров чаще всего определяется по эмпирическим зависимостям износа шаров. Данные зависимости и регламентируют на производстве периодичность догрузки и количество догружаемых шаров, что не всегда соответствует реальным условиям работы. Догрузка же, как правило, осуществляется шарами одного типоразмера, реже двух.

Скорость вращения мельничного барабана определяет потребляемую мощность и режим измельчения (каскадный либо водопадный), а значит и качество измельчения и износ футеровки. Граница между режимами измельчения зависит от степени загрузки мельничного барабана, поэтому в условиях постоянно меняющейся нагрузки необходима постоянная корректировка скорости. Применение регулируемого привода в измельчительных установках позволяет оказывать существенное влияние на величину потребляемой мощности и качество помола. Кроме того, для дробильно-измельчительных комплексов существует возможность подбора сочетания скоростей объектов различных стадий измельчения для обеспечения минимального электропотребления в целом по всему комплексу.

Физико-механические свойства измельчаемого вещества образуют отдельную группу факторов которые необходимо учитывать при создании системы управления измельчением, поскольку именно эти факторы определяют тот необходимый минимум энергии для выполнения технологического процесса. Сюда относят крепость, влажность, абразивность, плотность, сыпучесть, кусковатость, гранулометрический состав. Параметр крепость – основной параметр при измельчении, чем он выше, тем больше энергии придется затратить на разрушение вещества. Поэтому настройку систем управления следует производить для веществ одной группы крепости, либо же обучать систему на работу во всем диапазоне крепости. Для процесса сухого помола влажность определяет изменение условий измельчения, налипание материала на рабочие поверхности, создание «подушки», мешающей измельчению. Для процесса мокрого помола влажность выражается в соотношении твердой и жидкой фаз, что сказывается на дальнейшем расходе энергии в технологическом процессе. Кусковатость и грансостав исходного питания влияют на время нахождения материала в мельнице, а значит на расход энергии для получения продукта измельчения заданного качества.

На основании приведенных данных возможно построение нейронной сети для управления дробильно-помольным комплексом [2]. Контролируемые параметры выступают в качестве выходного вектора, а соответствующие им значения регулируемых величин, параметров оборудования и измельчаемого вещества – входного вектора. Построение управляющей нейронной сети целесообразно не только для всего комплекса в целом, но и для отдельных его элементов (этапов), которые по результатам энергоаудита окажутся наиболее энергоемкими и будут иметь наибольшие возможности регулирования.

Таблица 1. Группы факторов факторного поля шаровой мельницы

Выходной вектор	Вектор входных измеряемых управляемых величин	Вектор входных измеряемых не управляемых величин	Вектор входных неизменяемых величин
Электро-потребление, производительность, качество измельчения	Шаровая и сырьевая загрузки, скорость вращения рабочего органа	Физико-механические свойства поступающего сырья	Состояние и условия работы оборудования (футеровка, шары, привод)

Данные таблицы представляют собой основные группы факторного поля дробильно-измельчительного оборудования. Одним из наиболее простых способов определения влияния факторов является методы экспертных оценок и ранжирования. Альтернативный подход к выбору значимых факторов может быть реализован с помощью математического аппарата искусственных нейронных сетей. При этом процедура отбора не носит субъективного характера и отражает только существующие между входными и выходными величинами объективные связи.

Данный метод реализуется в несколько этапов:

Строится нейронная сеть с количеством входов равным максимально возможному числу влияющих факторов и количеством выходов равным количеству целевых величин. После того как установлено процесс с какими показателями мы желаем получить можно осуществлять следующий шаг – определить какие факторы и в какой мере определяют протекание технологического процесса.

Осуществляется тренировка сети. Критерием обученности сети считается отображение с заданной погрешностью связи между входным и выходным векторами на обучающей и тренировочной последовательностях; Основываясь на имеющихся данных осуществляется тренировка нейронной сети (рис. 1).

Производится анализ сети. Цель анализа выявление элементов связанных в сети каналами с наибольшими весовыми коэффициентами. Элементы входного вектора, связанные с элементами выходного вектора связями с незначительными весовыми коэффициентами признаются факторами, слабо влияющими на процесс и отбрасываются. Экспертная оценка учитывает текущие приоритеты, а именно какой из параметров для производства считать более важным, какие сочетания параметров приемлемы и в какой мере.

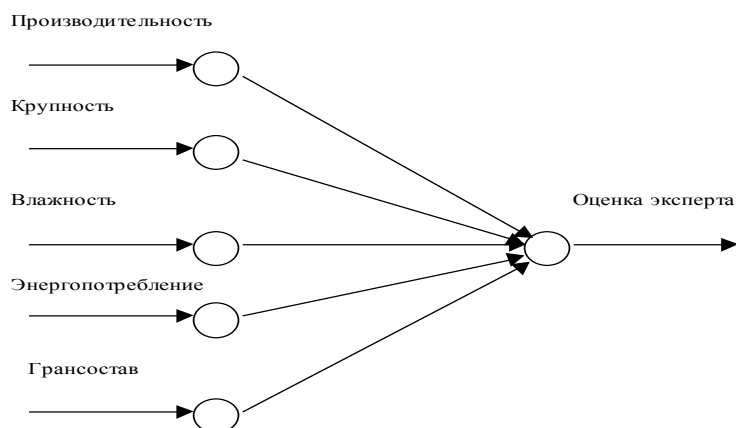


Рис. 1. Определение значимости параметров технологического процесса с помощью ИНС.

Построив нейронную сеть у которой входы сети будут отражать факторы описывающие свойства вещества, а выходом будут численные данные оценивающие процесс измельчения так же как и в предыдущем случае, проведя тренировку сети на опытных данных, можно получить информацию о степени важности каждого из факторов по значению его весового коэффициента. Таким образом, сеть можно будет упростить, убрав те факторы, влияние которых на процесс минимально. В обобщенной модели в качестве входов будут использованы выделенные факторы, а в качестве выходных величин параметры процесса либо те управляющие воздействия, которые их регулируют. Подобная сеть представлена на рис.2. Дальнейшее построение моделей осуществляется только со значимыми факторами.

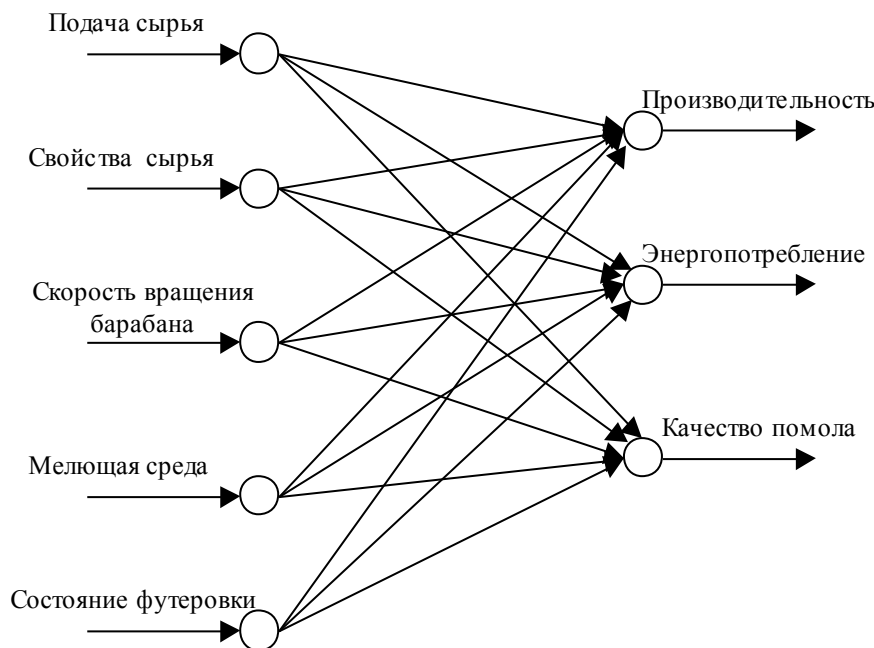


Рис.2. Модель управления помолом

Модель объекта исследований реализуется на базе ИНС. Предварительная подготовка входных векторов данных (отсев малозначимых переменных) снижает длительность процесса обучения, что немаловажно для больших объемов данных в случае многокомпонентных систем. Выбор математического аппарата ИНС для реализации модели объясняется тем, что такие модели обеспечивают адекватность отображения нелинейных многофакторных систем, за счет учета существующих в реальном объекте взаимных связей.

Реализуя вышеописанные принципы на имеющихся выборках данных с применением вышеописанных алгоритмов в среде Matlab были обучены ряд нейронных сетей [3]. Каждая сеть состоит из двух слоев. Число нейронов в первом слое варьируется в пределах от 2 до 75, во втором слое 2 нейрона. Активационная функция нейронов первого слоя – сигмоидальная, второго слоя – линейная. Общий вид архитектуры сети приведен на рис.3. На входы сети подаются данные о производительности и загрузке мельницы. Выходной вектор содержит информацию о удельном электропотреблении и тонине. Наименьшая ошибка обучения составила 1,38 % и была достигнута при применении алгоритма обучения Левенберга – Марквартдта.

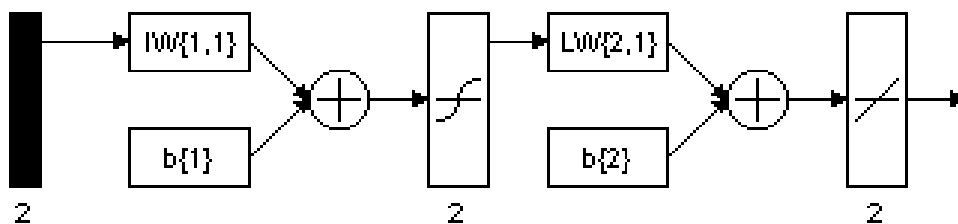


Рис. 3. Модель искусственной нейронной сети

Выводы. Факторное поле элементов дробильно-помольного комплекса состоит из четырех групп факторов, которые рассматриваются как вектора при построении модели системы. Среди них выделяют: выходной вектор (электропотребление, производительность, качество измельчения), вектор входных измеряемых управляемых величин (шаровая и сырьевая загрузки, скорость вращения рабочего органа), вектор входных измеряемых не управляемых величин (физико-механические свойства поступающего сырья) и вектор входных неизменяемых величин (состояние и условия работы футеровки, шаров, привода). Значительное количество факторов требует ранжирования по степени значимости для выбора наиболее влияющих на электропотребление. Ранжирование проводится с применением искусственных нейронных сетей. На основании результатов ранжирования строится модель с учетом наиболее значимых факторов.

Литература

1. Розен В.П., Мейта А.В. Некоторые вопросы информационного описания дробильно-помольного комплекса в условиях создания автоматизированной системы управления // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2002, вип. 6. – С. 95 – 100.
2. Розен В.П., Калинчик В. П., Мейта А.В. Применение моделей на базе нейронных сетей для решения многокритериальной задачи управления дробильно-измельчительным комплексом // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2003, вип. 8. – С. 134 – 141.
3. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496с.

А.В. Торопов, к.т.н.
Є.В. Шумський
НТУУ «КПІ»

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ РОЗМОТКИ СТРІЧКОВИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА РАДІУСА

Анотація

Запропоновано реалізацію системи регульованого асинхронного електропривода для розмотки стрічкових матеріалів з використанням ультразвукового датчика радіуса. Таке рішення дозволяє суттєво спростити фізичну реалізацію системи, її налагодження та підвищити якісні показники технологічного процесу.

Ключові слова

Асинхронний електропривод, розмотка, датчик радіуса, лінійна швидкість, система керування

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ РАЗМОТКИ ЛЕНТОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА РАДИУСА

Аннотация

Предложена реализация системы регулируемого асинхронного электропривода для размотки ленточных материалов с использованием ультразвукового датчика радиуса. Такое решение позволяет существенно упростить физическую реализацию системы, её наладку и качественные показатели технологического процесса.

Ключевые слова

Асинхронный электропривод, размотка, датчик радиус, линейная скорость, система управления

REALIZATION OF SYSTEMS FOR UNWINDING TAPE MATERIALS USING AN ULTRASONIC RADIUS SENSOR

Abstract

Realization of regulated asynchronous electric drive system for unwinding of tape materials using an ultrasonic radius sensor is proposed. This solution can significantly simplify the physical realization of the system, its adjustment and quality of technology process.

Keywords

Asynchronous drive, unwinding, radius sensor, velocity, control system

Вступ. Більшість стрічкових матеріалів зберігаються в рулонах, потім розмотуються для обробки і знову намотуються назад в рулон наприкінці процесу обробки. До таких матеріалів відносяться папір, лінолеум, картон, плівка та багато інших, що характеризуються різною щільністю, пружністю та гнучкістю. Система електроприводів для перемотувальних установок може складатися з різної кількості приводних вузлів, проте якість перемотування завжди визначається, в основному, лише системою керування процесом намотування та розмотування матеріалу. Електропривод намотування завжди працює в режимі стабілізації натягу матеріалу, тобто забезпечує регулювання моменту, в залежності від радіуса. Інколи натяг забезпечується механікою

установки і значно спрощує побудову системи намотування.

Для електроприводу розмотування матеріалу ставляться вимоги до високоточної стабілізації лінійної швидкості та формування сигналів керування подальшими синхронізованими електроприводами обробки. При цьому стабілізація лінійної швидкості має відбуватися як в автоматичному режимі перемотування, так і в режимі тестування.

Постановка задачі, мета дослідження. Класично системи розмотки стрічкових матеріалів будуються з використанням датчика лінійної швидкості, що дозволяє безпосередньо стабілізувати лінійну швидкість, і забезпечує високу якість подальшої обробки матеріалу. При цьому радіус рулону визначається непрямим методом, його знаходять з формули Ейлера для лінійної швидкості $V = \omega \cdot R$ через кутову швидкість: $R = V/\omega$. При такому підході з'являються суттєві труднощі з виконанням механічної частини системи, а саме зі встановленням датчика лінійної швидкості. Так, наприклад, при розмотуванні таких матеріалів, як тканина чи лінолеум, відбувається натяг самої стрічки. При цьому складним завданням є фіксоване постійне знаходження датчика на стрічці – він починає пружинити, або ж проковзувати, що є недопустимим. Наслідком таких проковзувань є отримання невірних показників від датчика лінійної швидкості. Оскільки радіус рулону вимірюється виходячи з величини лінійної швидкості – в результаті його знаходження також будуть отримані невірні дані. Це, в свою чергу, призводить до нестабільної роботи системи і може призвести до розриву стрічки.

Для щільних та пружних матеріалів доцільним стає непряме вимірювання лінійної швидкості, за допомогою тієї ж формули Ейлера, шляхом безпосереднього вимірювання кутової швидкості розмотки та радіуса рулону. І, якщо для вимірювання кутової швидкості завжди використовується фотоімпульсний датчик, розташований на валу двигуна чи редуктора, то засоби для знаходження радіусу є досить різноманітними.

Найчастіше в системах розмотування використовується, так званий, «дансер» - потенціометр з лінійним переміщенням, на кінці якого встановлено колесо, що притискається безпосередньо до рулону. При розмотуванні останнього колесо з рухомою частиною переміщується, в результаті чого змінюється аналоговий сигнал на виході потенціометра.

Іншими підходами для вимірювання радіусу рулонів може бути використання фотоелектричних та ультразвукових датчиків відстані з аналоговим виходом. При цьому варто відмітити, що для даних систем використання фотоелектричних датчиків є досить дорогим і неефективним, оскільки потребуватиме налагодження датчика на різні типи матеріалів, що відрізняються як кольором, так і відбивною здатністю.

При використанні ж ультразвукового датчика радіуса значно спрощується реалізація механічної частини системи. Сам датчик не має безпосереднього контакту з розмотуваним матеріалом і тому може бути встановлений без будь-яких проблем. Крім цього, оскільки немає безпосереднього контакту зі стрічкою, то виключається можливість її пружинення чи проковзування. Як наслідок, система має кращі показники стабільності.

Але недоліком таких датчиків є досить висока інерційність спрацьовування, що, в деяких випадках, може спричинити інерційність в визначенні коливань лінійної швидкості та погіршення показників регулювання.

Метою представленої роботи є визначення можливості побудови системи непрямого керування лінійною швидкістю розмотування пружних матеріалів.

Основні матеріали досліджень. Електромеханічна система стабілізації лінійної швидкості, у більшості випадків, будується трьох контурною з внутрішніми контурами

регулювання струму та кутової швидкості, і зовнішнім контуром регулюванням лінійної швидкості.

На сьогоднішній день для механізмів перемотування матеріалів, в основному, використовують дві основні модифікації частотно-керованого електропривода – це система «перетворювач частоти – асинхронний двигун» (ПЧ-АД) та «перетворювач частоти – синхронний двигун» (ПЧ-СД).

В даній роботі буде розглянуто електропривод розмотування на базі системи ПЧ-АД, що визначається важливими показниками для перемотувальних установок:

- порівняно невисока ціна;
- достатньо широкий діапазон регулювання;
- можливість забезпечення оперативного керування та достовірного контролю за ходом технологічного процесу.

Оскільки перетворювачі частоти у більшості перемотувальних систем працюють в режимі векторного керування, то для аналізу перехідних процесів використовувалася модель асинхронного двигуна на основі лінеаризованої механічної характеристики. Дослідження проводилося при використанні параметрів перетворювача частоти Lenze 8400 Vector HighLine [1] та енергоефективного трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором Lenze MНХМА-112-22 - IG2048-24V-Н [2] зі вбудованим інкрементальним енкодером. Висока роздільна спроможність енкодера дозволила розглядати датчик зворотного зв'язку за кутовою швидкістю як безінерційну пропорційну ланку.

Як в перетворювачі частоти, так і у зовнішніх програмованих логічних контролерах вбудованим блоком регулювання технологічних процесів є блок ПД – регулювання. Внутрішні контури регулювання моменту та кутової швидкості налаштовані на модульний оптимум, тобто отримано та використано ПІ-регулятор струму, та П – регулятор швидкості.

Для регулювання технологічного параметру розмотування матеріалу використовується зворотній зв'язок за радіусом для корегування лінійної швидкості залежно від радіусу рулону розмотуваного матеріалу. В якості датчика радіусу розмотуваного матеріалу в системі використаний ультразвуковий датчик з аналоговим виходом BANNER QT50U U-GAGE [3], котрий має діапазон чутливості від 200мм до 8м.

Перевагами обраного рішення є:

- Широкий діапазон чутливості від 200мм до 8м.
- Невеликий час відгуку (від 10 мілісекунд).
- Масштабований вихід автоматично розподіляє вихідний сигнал по всій ширині запрограмованого вікна чутливості.

Дослідження проводилося для офісного паперу високої щільності, що дозволило не враховувати в моделі розтягування матеріалу, а виходити лише з вимог забезпечення лінійної швидкості при лінійній зміні радіуса.

Структурна схема електромеханічної системи розмотки з використанням датчика радіуса представлена на рис. 1.

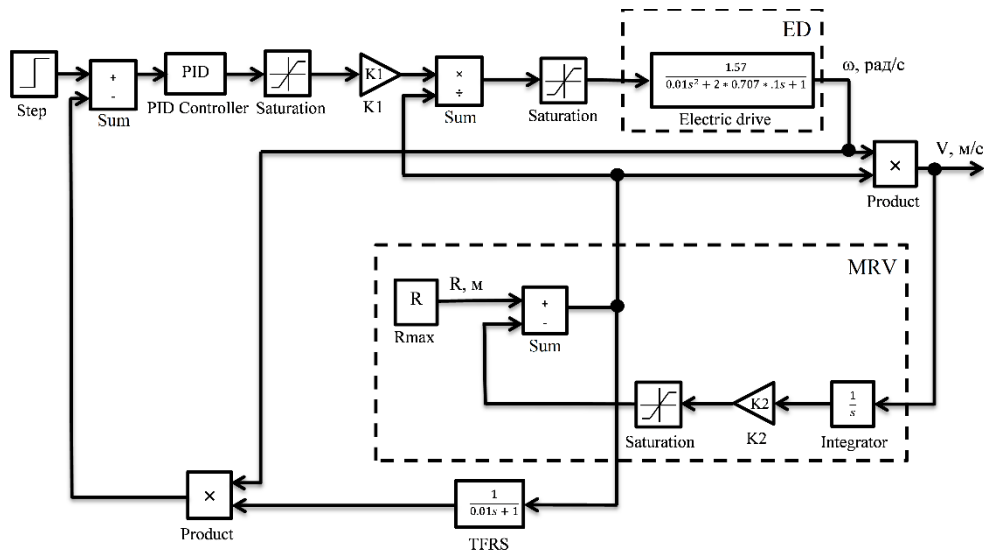


Рисунок 1 - Структурна схема електромеханічної системи розмотки з використанням датчика радіуса

Введені наступні позначення:

PID Controller – регулятор технологічного процесу; Rmax – максимальне значення радіуса рулону; MRV – модуль знаходження радіуса; TRFS – передатна функція датчика радіуса; ED – електропривод; ω – кутова швидкість; V – лінійна швидкість; R – радіус.

Моделювання системи проведено за допомогою програмного пакету Matlab Simulink. Для цього було зібрано модель системи, котру зображено на рис. 2.

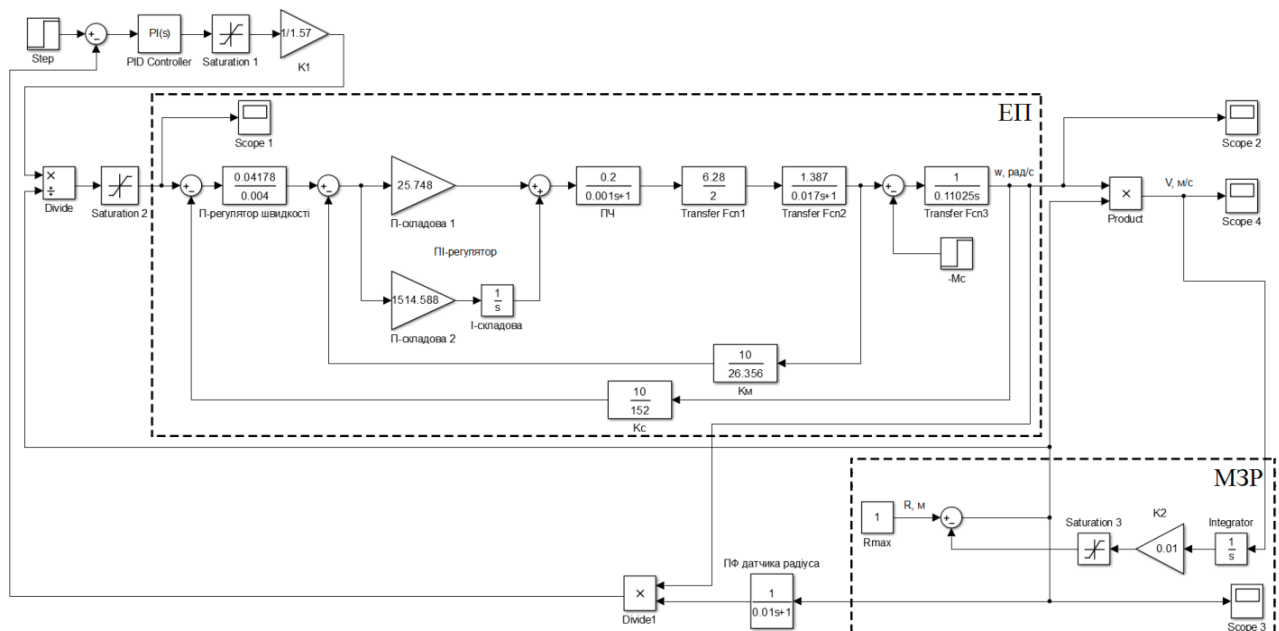


Рисунок 2 - Модель системи розмотки стрічкових матеріалів з використанням ультразвукового датчика радіуса
Коефіцієнти ПІД - контролера системи непрямого керування лінійною швидкістю

визначені методом Циглера-Нікольса. [4]

Після проведення моделювання роботи системи отримано дані, котрі представлені на рис. 5-8.

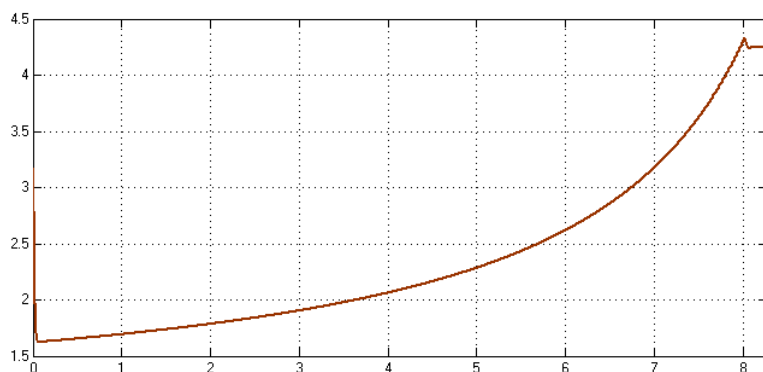


Рисунок 5 - Керуюча дія на виході регулятора лінійної швидкості

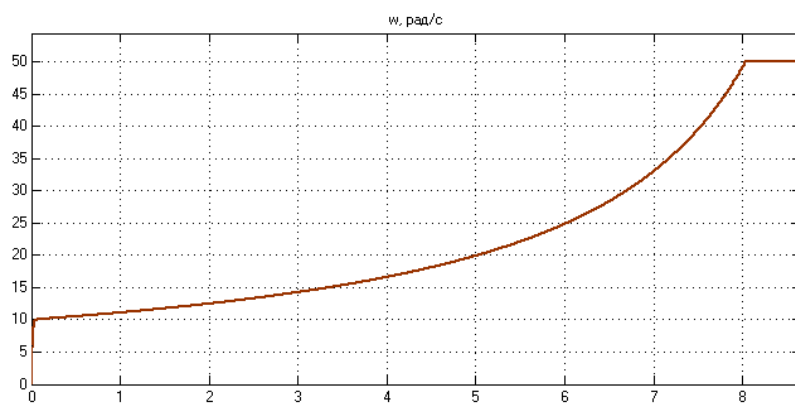


Рисунок 6 - Кутова швидкість електропривода розмотування

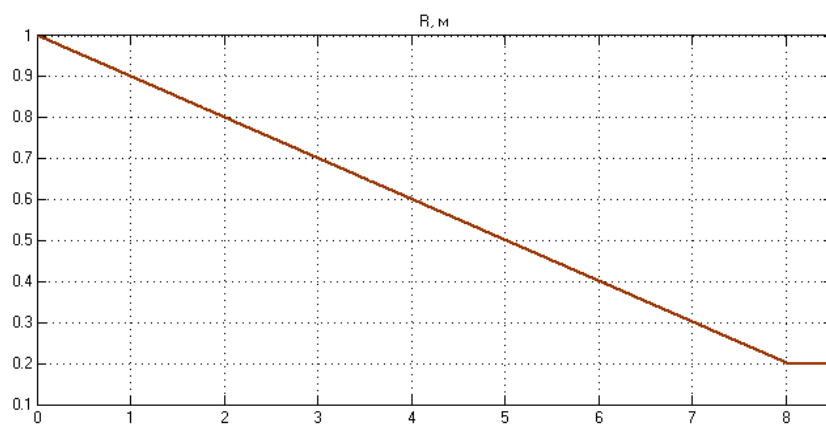


Рисунок 7 - Процес зміни радіуса рулону матеріалу

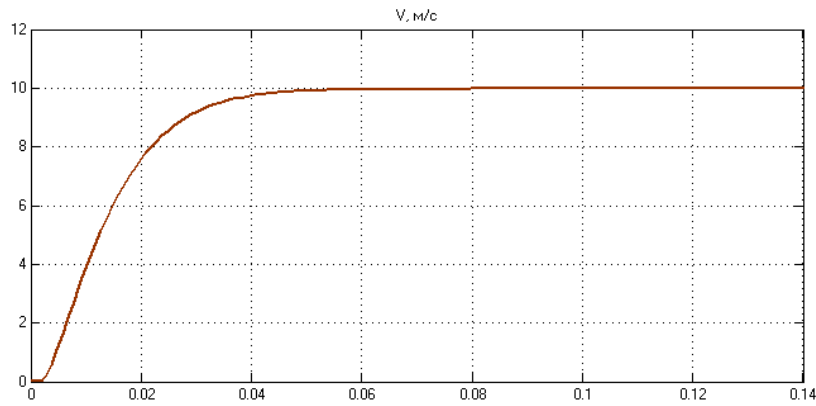


Рисунок 8 - Лінійна швидкість розмотки матеріалу

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: $\omega = 50.1$ рад/с, $V = 10.0$ м/с.

Висновки. Результати досліджень показують, що система розмотки стрічкових матеріалів з використанням ультразвукового датчика радіуса цілком задовольняє основним потребам її використання. Чітко видно, що система має достатню швидкодію та час відклику.

Враховуючи отримані результати, відносну простоту реалізації та зручність налаштування, систему з непрямым регулюванням лінійної швидкості можна рекомендувати для використання при розмотуванні щільних стрічкових матеріалів.

Література

1. Lenze L-force catalogue (Catalogue Inverter Drives 8400 HighLine 2014), page №14. Available: http://www.lenze.com/fileadmin/lenze/documents/en/catalogue/CAT_CAP04_07_IN_84HL_en_GB.pdf. Last accessed 14th May 2015.
2. Lenze L-force catalogue (Catalogue Three-phase AC motors 2015), page №81. Available: http://www.lenze.com/fileadmin/lenze/documents/en/catalogue/CAT_MT_M_DHF_15593806_en_GB.pdf. Last accessed 14th May 2015.
3. BANNER catalogue (U-GAGE QT50ULB Series Sensors with Analog Output), page №1. Available: <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/70137.pdf>. Last accessed 14th May 2015.
4. PID Tuning Classical Ziegler-Nichols Method. Available: https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/PIDTuningClassical#Ziegler-Nichols_Method. Last accessed 14th May 2015.
5. Lenze L-force Engineer V2.21. Available: <http://www.lenze.com/en/application-knowledge-base/article/201200418/1/>. Last accessed 14th May 2015.
6. Lenze Drive PLC. Available: http://www.lenze-ru.com/content/files/13188904_Drive_PLC_ru.pdf. Last accessed 14th May 2015.
7. 3S-Smart Software Solutions GmbH CODESYS v.2.3. Available: http://www.owen.ru/catalog/codesys_v2/opisanie. Last accessed 14th May 2015.
8. Петров И. В., «Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приёмы прикладного проектирования», СОЛОН-Пресс, 2004. — 256с.

УДК 004.9:681.326:681.513

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Брагина Л.Е., Рябоконь К.М.

**РАСПОЗНАВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ СИГНАЛУ**

В статье показано, что для уменьшения ущерба, связанного с простоем технологического оборудования вследствие аварий асинхронных электродвигателей, можно распознавать аварийные ситуации по акустическому сигналу с использованием датчиков шума.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, аварийные режимы, акустические методы контроля.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Брагина Л.С., Рябоконь К.М.

**РОЗПІЗНАВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ АСИНХРОННОГО
ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПО АКУСТИЧНОМУ СИГНАЛУ**

У статті показано, що для зменшення збитку, пов'язаного з простоем технологічного устаткування унаслідок аварій асинхронних електродвигунів, можна розпізнавати їх аварійні ситуації по акустичному сигналу з використанням датчиків шуму.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, аварійні режими, акустичні методи контролю.

Dubovyk V., Lebedev L., Bragina L., Ryabokon K.

**RECOGNITION OF EMERGENCY SITUATIONS OF ASYNCHRONOUS
ELECTRIC MOTOR ON ACOUSTIC SIGNAL**

It is shown in the article, that for diminishing of harm, related to the outage of technological equipment because of failures of asynchronous electric motors, it is possible to recognize their emergency situations on an acoustic signal with the use of sensors of noise.

Keywords: asynchronous electric motor, malfunctions, acoustic methods of control.

Введение. Асинхронные электродвигатели - самые распространенные машины в приводах современных технологий, оптимальному использованию которых препятствуют аварийные ситуации. Ежегодно выходят из строя более 20% от общего их количества. Возникающий при этом ущерб также связан с простоем технологического оборудования.

Цель исследования. Исследование и выбор методов распознавание аварийных ситуаций асинхронных электродвигателей по акустическому сигналу.

Известны следующие методы оценки состояния асинхронных электродвигателей:

1. Методы, основанные на анализе вибраций отдельных узлов и элементов.
2. Методы, основанные на анализе акустических колебаний, создаваемых работающей машиной.
3. Методы, основанные на измерении и анализе магнитного потока в зазоре двигателя и внешнего магнитного поля.
4. Методы, основанные на измерении и анализе температуры отдельных элементов машины.
5. Методы диагностики механических узлов, в частности подшипников, основанные на анализе содержания металлических включений в масле.
6. Методы, основанные на анализе электрических параметров машины.
7. Методы диагностики состояния изоляции.

Наличие в спектре тока двигателя характерных частот определенной величины свидетельствует о наличии повреждений электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства. Общим недостатком метода спектрального анализа тока статора и спектрального анализа модулей векторов Парка тока и напряжения является необходимость учета влияния на электрические параметры привода параметров питающей сети, характера нагрузки, влияния внешних электромагнитных полей, переходных процессов в приводе. При использовании регулируемого электропривода на основе силовых полупроводниковых преобразователей в спектрах токов возникают частоты, обусловленные коммутацией вентилей [1].

При применении методов спектрального анализа, в которых в качестве диагности-ческих параметров используются значения амплитуд отдельных гармонических составляющих вибрационного сигнала с контролем в нескольких точках, то регистрации подлежат вибрационные параметры в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях. В качестве первичных преобразователей используются как контактные датчики (обычно пьезоакселерометры), так и бесконтактные (оптические датчики перемещения). Главным недостатком вибродиагностики является необходимость использования специальных виброакустических датчиков, что представляет сложность их установки и интерпретации результатов.

Каждый из измеряемых параметров может быть связан с одним или несколькими диагностируемыми элементами (узлами) объекта. В качестве примера в табл. 1 приведены данные в виде диагностической матрицы [2]. Объектом диагностирования в данном случае является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Наличие связи отмечено знаком плюс на пересечении строк и столбцов.

Таблица 1. Диагностическая матрица асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Диагностируемые параметры	Диагностируемые узлы электродвигателя							
	Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса	Сопротивление междуфазной изоляции	Сопротивление межвитковой изоляции	Обмотка статора	Короткозамкнутая обмотка ротора	Подшипники	Воздушный зазор между статором и ротором	Активная сталь статора
Вибрация электродвигателя			+	+	+	+	+	+
Акустический шум			+	+	+	+	+	+
Токи, потребляемые из сети			+	+	+			
Момент сопротивления при вращении вала						+	+	
Токи утечки	+	+						
Уровень электрической прочности изоляции	+	+	+					
Радиальные перемещения вала						+		
Бияния выступающего конца вала							+	

Известно, что источниками акустического шума и вибраций работающего электродвигателя являются электромагнитные силы, действующие на ротор в радиальном направлении и передающиеся корпусу машины; пульсации вращающего момента, которые возбуждают вибрации статора и вызывают акустический шум; магнитострикционные силы в магнитной системе машины; технологические погрешности, обусловленные асимметрией конструкции и приводящие к несбалансированности электромагнитных и механических сил, действующих на ротор; вибрации в подшипниках и вентиляторе [3].

Особое место среди акустических методов контроля занимает метод акустической эмиссии (АЭ), который основан на регистрации упругих волн, возникающих в момент возникновения аварийной ситуации в электродвигателе. Источником акустических волн является корпус, отдельные узлы и элементы.

Акустические величины, допустимые уровни шума могут быть выражены в виде звуковой мощности или в виде звукового давления. Использование уровня звуковой мощности, которая может быть регламентирована независимо от площади измерительной поверхности и окружающих условий, позволяет избежать осложнений, связанных с измерением звукового давления, которое требует определения дополнительных данных. Уровни звуковой мощности L_{wa} определяются измерением излучаемой энергии и дают преимущества при проведении акустического анализа в оценке аварийных режимов. При отсутствии аварийного шума определяется эквивалентный уровень звука излучения в дБ с использованием характеристики А шумомера при отсутствии полосовых фильтров или вычисляются суммированием уровней звукового давления во всех частотных полосах.

Методы определения шумовых характеристик вращающихся электрических машин мощностью свыше 10 Вт установлены ГОСТ 11929-87, в соответствии с которым определяются следующие шумовые характеристики:

- а) уровень звуковой мощности в октавных полосах частот L_w ;
- б) скорректированный уровень звуковой мощности L_{wa} ,
- в) средний уровень звука на расстоянии 1 м от наружного контура машины над звукоотражающей плоскостью L_{p1A} ;
- г) средний уровень звукового давления на расстоянии 1 м от наружного контура машины над звукоотражающей плоскостью в октавных полосах частот L_{p1} ;
- д) показатель направленности DI.

Шумовые параметры асинхронных двигателей в соответствии с ГОСТ 16372 (МЭК 60034-9) характеризуются уровнем звукового давления L_{pA} и уровнем звуковой мощности L_{wA} , скорректированной по шкале А. Максимально допустимый уровень L_{wA} звуковой мощности, скорректированный по характеристике А для электродвигателей при способе охлаждения и степени защиты 1 и 2 приведен в табл. 2 [4].

Таблица. 2. Максимально допустимый уровень L_{wA} звуковой мощности, скорректированный по характеристике А для электродвигателей

Диапазон номинально й мощности, кВт	Уровень звуковой мощности, дБА, при частоте вращения, об/мин											
	до 960		от 960 до 1320		от 1320 до 1900		от 1900 до 2360		от 2360 до 3150		от 3150 до 3750	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
от 1 до 1,1	73	73	76	76	77	78	79	81	81	84	82	88
от 1,1 до 2,2	74	74	78	78	81	82	83	85	85	88	86	91

от 2,2 до 5,5	77	78	81	82	85	86	86	90	89	93	93	95
от 5,5 до 11	81	82	85	85	88	90	90	93	93	97	97	98
от 11 до 22	84	86	88	88	91	94	93	97	96	100	97	100
от 22 до 37	87	90	91	91	94	98	96	100	99	102	101	102
от 37 до 55	90	93	94	94	97	100	98	102	101	104	103	104
от 55 до 110	93	96	97	98	100	103	101	104	103	106	105	106
от 110 до 220	97	99	100	102	103	106	103	107	105	109	107	110
от 220 до 550	99	102	103	105	106	108	106	109	107	111	110	113
от 550 до 1100	101	105	106	108	108	111	108	111	109	112	111	116
от 1100 до 2200	103	107	108	110	109	113	109	113	110	113	112	118
от 2200 до 5500	105	109	110	112	111	115	111	115	112	115	114	120

В большинстве случаев увеличение уровня шума нагруженной машины по сравнению с уровнем шума машины, работающей на холостом ходу, не должно превышать 3дБА.

В качестве нормируемой характеристики уровня шума на машины конкретных типов используется допустимое значение среднего уровня звука L_{pA} , дБА, рассчитанное по формуле

$$L_{pA} = L_w - 10 \lg(S/S_0),$$

где L_w - допустимое значение уровня звуковой мощности по табл. 2;

S - площадь измерительной поверхности по ГОСТ 11929-87, m^2 ; $S_0 = 1 m^2$.

Распространение звука от источника проходит в сопровождении интенсивных динамических шумов различного происхождения. Эти шумы определяются: изменениями атмосферного и гидростатического давления, шумами сопровождения, работой машин и механизмов, сейсмическим фоном, турбулентными шумами и прочее.

Основой для градиентного приёма акустического сигнала являются два чувствительных элемента, разнесённых в пространстве на малое, по сравнению с длиной волны, расстояние. При этом появляется возможность для выделения и преобразования разностной составляющей сигнала. Синфазные составляющие компенсируются, при этом повышается точность измерения [5].

Все проявления нелинейности и нестационарности акустической эмиссии можно отнести на счет условий распространения ее сигналов, на которые влияют:

- среда (материал), по которой распространяется волна;
- поля внешних напряжений, являющиеся источником энергии для инициации АЭ, которые описываются начальными условиями;

- геометрия объекта и внешняя среда, которая определяет граничные условия.

Перемещение точки поверхности материала, вызванное источником акустической эмиссии, в простейшем случае носит характер затухающих колебаний.

Каждый импульс может быть приближенно аппроксимирован зависимостью:

$$U = Ae^{-nt} \sin \omega t$$

где: A - амплитуда, n - показатель затухания, ω - круговая частота.

$$\omega = \sqrt{p^2 - n^2}$$

где: $p = c/m$, c - коэффициент жесткости, m - приведенная масса.

Период колебаний системы с учетом того, что $n \ll p$ и $\omega = p$ можно из

$$\text{соотношения} \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{p^2 - n^2}} \approx \frac{2\pi}{p}.$$

Информацию об источнике акустической эмиссии содержит амплитуда импульса, его длительность и время прихода импульса в заданную точку поверхности. При возбуждении колебаний коротким прямоугольным импульсом амплитуда приближенно определяется зависимостью:

$$A = \frac{S}{mp},$$

где S - импульс силы

$$S = \int_0^1 P(t) dt.$$

По уровню шума электрические двигатели в соответствии с ГОСТ 16372-84 Е разделены на пять классов: 0, 1, 2, 3, 4.

Для оценки состояния асинхронного электродвигателя по шумо-диагностическому методу с измерением акустического сигнала можно использовать схему, представленную на рис. 1. В этом методе исследуется спектр шумов работающего электродвигателя с помощью микрофонных приемников и по изменениям в спектре шумов оценивают качество составляющих его элементов с использованием многоканального преобразования измеренных сигналов и предварительной фильтрации [6].

Одновременно измеряются звуковые давления датчиками 1, 2 звука в двух точках акустического поля. В блоке 3 измерения и преобразования выполняются преобразование до номера $m = \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)$, а далее определяется акустическая скорость колебания

частиц $\vec{V}(t, x)$ по направлению измерений путем вычитания из результата преобразования с номером $m_1 = \sum_{i=1}^{n-3} (n-i)$ результата преобразования номером $m_2 = \sum_{i=1}^{n-2} (n-i)$ деления этой разности на расстояние между соседними приемниками и плотностью воздуха $\frac{1}{2\Delta_x \rho}$, интегрирования результата деления, определяют активную часть

акустической интенсивности $\vec{I}_x(t, x)$ по направлению измерений, как среднее значение произведения звукового давления и скорости колебания частиц, а реактивную часть акустической интенсивности $\vec{I}_y(t, x)$ - как среднее значение произведения звукового

давления и результата преобразования Гильберта скорости колебания частиц с использованием преобразования Фурье [7].

В точках расположения датчиков звука 1 и 2, выполняют для каждого сигнала комплексные Фурье преобразования, а затем получают комплексные спектры акустического давления, скорости колебания частиц, активной и реактивной частей интенсивности, выполняя преобразования в соответствии со следующими выражениями:

$$\vec{P}_n(w, x) = \left(\frac{1}{4z}\right)^{n-1} \sum_{i=1}^n P_i(w) A_i (z \pm 1)^{n-i} (z \mp 1)^{i-1};$$

$\vec{P}_n(w, x)$ – комплексный спектр давления в точке измерений x ;

$$\vec{V}_n(w, x) = \frac{2}{\rho_c} \left(\frac{1}{4z}\right)^{n-1} \sum_{i=1}^m A_i \Delta P_i(w) (z \pm 1)^{m-i} (z \mp 1)^{i-1} \text{ при } m = n-1;$$

$\vec{V}_n(w, x)$ – комплексный спектр скорости колебания частиц в точке измерений x ;

$$\vec{I}_{x_n}(w, x) = \operatorname{Re} \{ S_{\rho v n}(w) \};$$

$\vec{I}_{x_n}(w, x)$ – спектр активной части интенсивности в точке измерений x ;

$$\vec{I}_{y_n}(w, x) = I_m \{ S_{\rho v n}(w) \};$$

$\vec{I}_{y_n}(w, x)$ – спектр реактивной части интенсивности в точке измерений x ;

где n - количество приемников звука, $n \cong n_{\max} = \lambda / 2\Delta x$

λ - длина звуковой волны;

$P_i(w)$ - комплексный спектр звукового давления сигнала i -го приемника;

$A_i = (m-1)! / \{(i-1)!(m-i)!\}$ - действительный коэффициент;

$$\Delta P_i(w) = P_{i+1}(w) - P_i(w);$$

$Z = jk\Delta x$ - комплексный частотно-зависимый коэффициент;

k - волновое число;

$2\Delta x$ - расстояние между соседними приемниками группы при их эквидистантном расположении на одной измерительной оси;

ρ - плотность воздуха;

c - скорость звука в воздухе;

i - текущий номер датчика звука;

t - текущее время;

x - координата точки измерений сигналов звука, ее определяют как полусумму расстояний от излучателя звука до первого и последнего приемников звука.

$\operatorname{Re} \{ S_{\rho v n}(w) \}$, $I_m \{ S_{\rho v n}(w) \}$ - реальная и соответственно мнимая части комплексного взаимного спектра давления – скорости.

С выхода блока 3 измерения и преобразования спектральные составляющие акустических сигналов подаются в блок 6 вычисления, где проводится оценка гармонического спектра и его идентификация возможным аварийным ситуациям и на выходе блока 7 сравнения формируется активный логический сигнал при отклонении

режимов электродвигателя от заданных допустимых значений. Это сигнал через блок 8 формирования сигналов управления подается в схему управления электродвигателем для его отключения от цепей питания. Индикация режимов работы модуля отражается на панели 5 индикации. После выходов датчиков 1, 2 звука могут устанавливаться предварительные фильтры для обеспечения коррекции акустического воздействия, которое представляет общий несинусоидальный акустический сигнал. Взвешивание сигналов по каждому каналу позволяет идентифицировать причину аварийной ситуации.

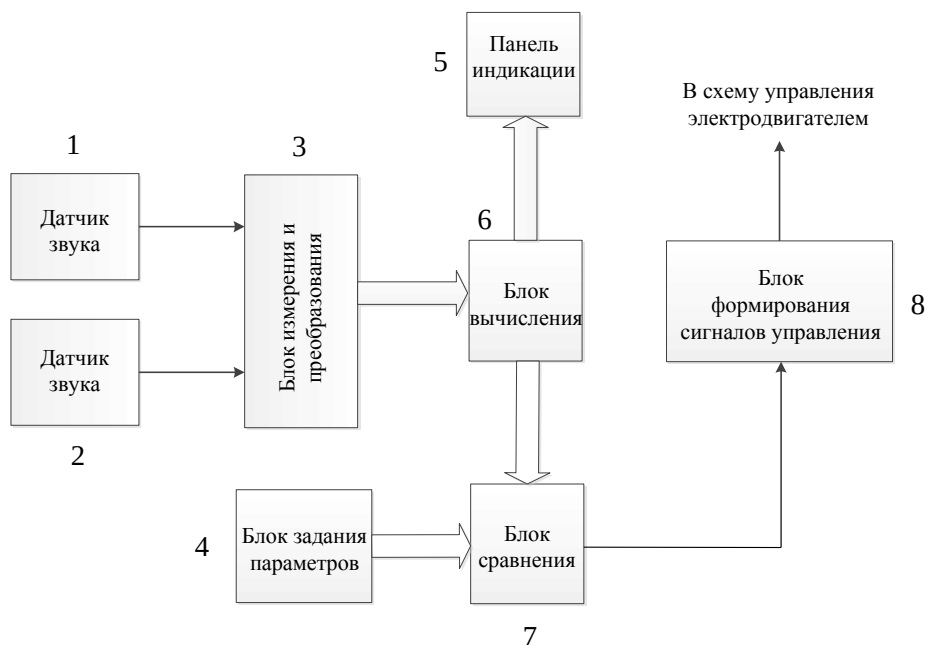


Рисунок 1 – Схема функциональная модуля распознавания аварийных ситуаций асинхронного электродвигателя

Результаты исследования

Функциональный модуль нестационарных процессов позволяет производить измерения акустических сигналов на протяжении длительного интервала времени и высокой частотой опроса датчиков. В ряде задач также целесообразно использовать для измерения спектральных характеристик и стационарных процессов, поскольку в этом случае есть возможность вычислить, вывести на панель индикации и сравнить между собой спектры нескольких последовательных выборок, что в конечном итоге позволяет повысить точность анализа.

Выводы

Изменения значений частот входного акустического сигнала, а также время его распространения от точки возбуждения колебаний электродвигателя до места расположения датчиков позволяют сделать оценку технического состояния двигателя, включая и систему крепления обмоток к корпусу статора.

Важную дополнительную информацию о техническом состоянии электродвигателей можно получить на основе анализа корреляционных функций, а также путем измерений характеристик переходных процессов.

Литературные источники

1. Гелекс Р.Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б.Уманцева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.

2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
3. Гуменюк В.А., Сульженко В.А., Казанови В.А. и др. Система классификации степени опасности источников акустической эмиссии и критерии экспресс-оценки состояния объекта на основе нечетной логики // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 2003. № 1. С. 14–23.
4. Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Тарасов Е.В. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: НПЦ «ДИНАМИКА», 2007. 286 с.
5. Шумовые характеристики электродвигателей частотно-регулируемого редуктор-ного привода лифтов / В.И. Афонин, М.Ф. Западня // Электротехника. - 2010. - № 12. С. 20-24.
6. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса / В.М. Баранов, А.И. Гриценко, А.М. Карасевич и др. – М.: Наука, 1998. – 304 с.
7. Писаревский Н. Н. Применение аналоговой интенсивметрической и корреляционной аппаратуры и фазированных двуслойных решеток для прямых измерений комплексного коэффициента отражения методом однонаправленного приема. Тезисы докладов 9-й научно-технической конференции по авиационной акустике. Издательский отдел ЦАГИ, 1989.

УДК 62.83.58

Данилин А.В., к.т.н., доц.,
Бычковский А.С. студент,
Реентенко В.Р. студент,
Гайдаенко И.В. студент

Многодвигательный асинхронный электропривод согласованного вращения

Разработана виртуальная модель двухдвигательного электропривода для крановых установок и исследован режим протекания переходных процессов, обеспечивающей согласование вращения двигателей и полное управление АД как в статике, так и в динамике, что дает заметное улучшение качества переходных процессов.

Ключевые слова: оптимизация управления, виртуальная модель, согласование вращения, переходные процессы

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Широкое применение электроприводов в промышленности для различного рода рабочих механизмов обуславливает их классификацию на несколько групп, в зависимости от назначения и их режимов работы. Особую группу представляют механизмы, при работе которых возникают частые и большие динамические нагрузки. В такую группу оборудования промышленных предприятий в первую очередь входят подъемно-транспортные механизмы: краны мостового типа, крановые перегружатели, транспортеры, конвейеры, питатели и т.д. Среди этих механизмов в наиболее тяжелых условиях и интенсивных режимах работают краны мостового типа.

В настоящее время идет устойчивая тенденция перехода от нерегулируемых электроприводов козловых кранов, с релейно-контакторными дроссельными системами на регулируемые и эффективные по надежности электропривода. Это связано с активным применением в крановых механизмах преобразователей частоты с асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями.

Частотное регулирование является наиболее эффективным способом регулирования скорости электродвигателя переменного тока, которое позволяет получить оптимальные механические характеристики асинхронных двигателей.

Основными достоинствами этой системы регулируемого электропривода являются:

- плавность регулирования и высокая жесткость механических характеристик, что позволяет

регулировать скорость в широком диапазоне;

- экономичность регулирования, определяемая тем, что двигатель работает с малыми величинами абсолютного скольжения, и потери не превышают номинальных.

Идея работы – состоит в разработке и исследовании двухдвигательной системы управления с преобразователями частоты и с датчиками скорости по обратной связи, обеспечивающей согласованное вращение, при котором будет осуществляться равномерное движение опор козлового крана; выборе оптимального закона управления для частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

В механизмах передвижения в качестве электроприводов используются электродвигатели постоянного тока и переменного тока. Однако в связи с развитием частотно-регулируемых электроприводов, применение двигателей постоянного тока осталось в прошлом. В нынешнее время широкое распространение получили асинхронные электродвигатели с фазным и короткозамкнутым роторами. Причем

вторые применяют в козловых кранах грузоподъемностью менее 5 тонн (до 30 кВт), а первые во всех остальных случаях.

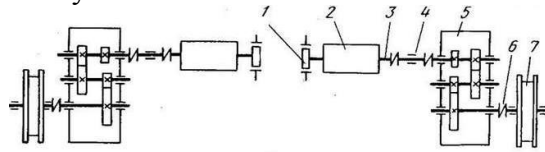


Рисунок 1 – Кинематическая схема двухдвигательного асинхронного электропривода механизмов передвижения

Применяемые электродвигатели рассчитывают для работы в повторно-кратковременном режиме, который характеризуется продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60% при продолжительности цикла не более 10 мин. Основным номинальным режимом крановых двигателей переменного тока является ПВ=40%.

Таким образом, выбору типов электроприводов способствуют режимы работы механизмов, а также параметрические требования грузоподъемности.

Система двухдвигательного асинхронного электропривода согласованного вращения смоделирована специальным инструментом Simulink в программе MATLAB (рис.2)

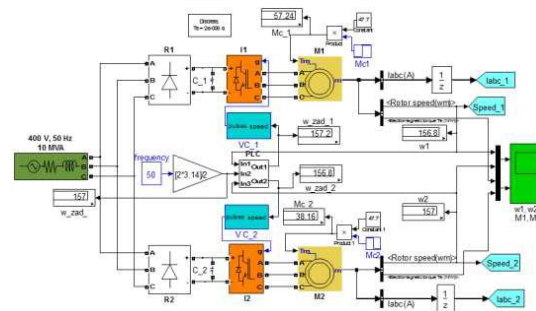


Рисунок 2 — Модель двухдвигательного асинхронного электропривода в Matlab

Simulink позволяет с высокой точностью имитировать все статические и динамические режимы работы асинхронных электродвигателей. Программная библиотека Simpowersystem имеет практически все необходимые блоки для построения системы управления.

Разработанная модель имитирует параллельную работу двух асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (M1, M2), мощностью 7,5 кВт.

Управляются M1, M2 двумя отдельными частотными преобразователями, запитанными от одного источника напряжения ($U=400\text{В}$, $f=50\text{ Гц}$). Частотные преобразователи составляют из себя совокупность:

- выпрямительных блоков с неуправляемым диодным мостом по схеме Ларионова (R1, R2);
- звена постоянного тока с конденсатором для сглаживания пульсации;
- автономных инверторов напряжения на IGBT транзисторах (I1, I2).

В данной задаче важнейшим критерием устойчивости работы модели является синхронность вращения роторов M1, M2, в независимости от различных динамических возмущений (резкое изменение момента сопротивления на валу, приводимое к рассогласованию скоростей M1 и M2).

Согласно рис. 2, регулирование скорости поддержанием синхронности вращения двух виртуальных асинхронных двигателей M1, M2 обеспечивается блоком PLC, где выполняется сравнение действительных значений скоростей вращения w_1 и w_2 на валу асинхронных электродвигателей M1 и M2 с задающим значением w_{zad} , и подаются

рад/с, $w_{\text{зад } 2}=156,8$ рад/с), индивидуально для каждого электропривода, на векторные блоки VC1 и VC2. В результате, как показывают осциллограммы, скорости вращения двигателей выравниваются ($w_1=156,8$ рад/с, $w_2=157$ рад/с).

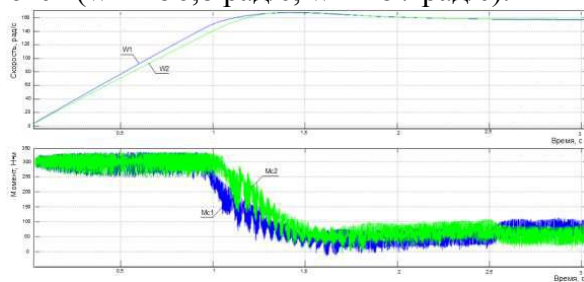


Рисунок 4 — Осциллограммы скорости вращения и электромагнитного момента переходного процесса двухдвигательного электропривода.

ВЫВОДЫ. Как видно из полученных переходных процессов, при различных значениях нагрузки на валу двигателей М1, М2, система двухдвигательного асинхронного электропривода с преобразователями частоты обеспечивает согласованное вращение.

Таким образом, за счет регулирования амплитудных значений переменных и углов между их векторами обеспечивается полное управление АД как в статике, так и в динамике, что дает заметное улучшение качества переходных процессов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теличко Л. Я. Ограничение динамических нагрузок электромеханических систем группы общепромышленных механизмов на металлургических предприятиях: Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 2006
2. Абрамович И.И., Г.А. Котельников. Козловые краны общего назначения - М: Машиностроение, 1983 г.
3. Герман – Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0 – Спб.: Корона принт, 2001, с 259-267

Multi-motor asynchronous electric agreed rotation

A.V. Danilin, PhD., O.S. Buchkivskii, student, V.R. Reentenko, student, I.V. Gaidaenko student

Developed a virtual model of the twin-engine electric drive for crane systems and examined the flow regime transition processes, ensures consistency of engine speed and full control of blood pressure in both the statics and dynamics, which gives a marked improvement in the quality of transients.

Keywords: optimization of management, virtual model, matching rotation transition of the proceses

REFERENCES

1. L.Y. Telichko limited dynamic loads electromechanical systems group general-purpose mechanisms for metallurgical enterprises: Diss.dokt.tehn.nauk.- Moscow, 2006
2. I.I. Abramovich, G.A. Boilermakers. Gantry cranes, general purpose - M: Mechanical Engineering, 1983
3. S.G. Herman-Galkin Computer simulation of semiconductor systems in Matlab 6.0 - Spb.: Crown print, 2001, pp 259-26

А.В. Босак, асист., А.О. Петрученко, студ., В.І. Шевченко, студ.

КОМБІНОВАНЕ КЕРУВАННЯ СТАТИЧНО ВРІВНОВАЖЕНОЮ ПІДЙОМНОЮ УСТАНОВКОЮ З ЗАДАЮЧОЮ МОДЕЛЛЮ І НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Статично урівноважена шахтна підйомна установка відноситься до числа складних електромеханічних систем, що включають пружні механічні ланки з розподіленими і зосередженими параметрами. У таких системах забезпечення точного позиціонування робочого органу представляє складне завдання через низькочастотних пружних коливань динамічних зусиль і швидкості. Тому одним з головних завдань є зменшення до мінімуму коливальних процесів і компенсації інерційності ланок.

Побудова структурної схеми комбінованої по задаючому впливу системи керування і її дослідження за ідентифікованою передавальною функцією, яка описує перехідні процеси в підйомній установці.

Використовуючи структурну схему статично врівноваженою підйомної установки, наведену в [1], для крайніх положень підйомних посудин отриманий графік зміни динамічного зусилля, що діє на навантажену кліть (розглядається клітьовий підйом з противагою).

На рис.2.16 наведені перехідні характеристики, отримана шляхом моделювання (графік 1) і ідентифікована (графік 2), якій відповідає передавальна функція другого порядку [2]

$$W(p) = \frac{K_{01}}{a_0 p^2 + a_1 p + 1}, \text{ де } K_{01} = 0,2; a_0 = 0,671; a_1 = 0,05717.$$

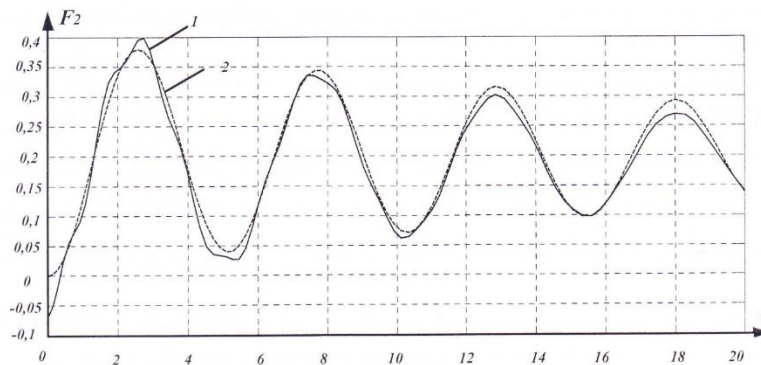


Рисунок 1 - Графік перехідних характеристик: змодельована (1), ідентифікована (2)

Якщо використовувати в якості керованої змінної швидкість кліть V_2 , то спрощена структурна схема комбінованого управління буде мати вигляд, показаний на рис.2.17.

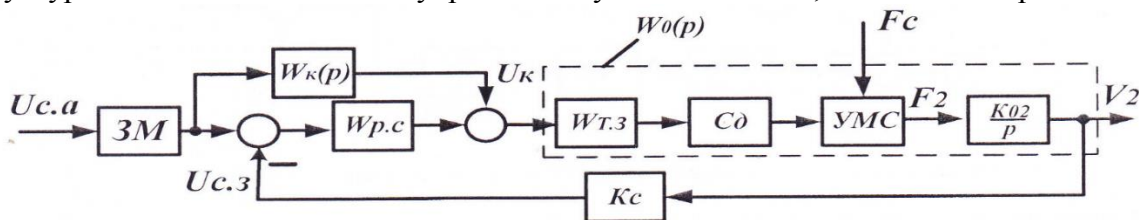


Рисунок 2 – Спрощена структурна схема комбінованого керування

Вважаючи передавальну функцію замкнутого контуру струму $W_{т.з} = 1/K_T$, пружно механічну систему (УМС) , яка представлена коливальною ланкою $W_y(p)$ і $K_c = 1$,

передавальна функція компенсує прямої передачі буде дорівнювати

$$W_K(p) = \frac{a_0 p^3 + a_1 p^2 + 1}{K_{01} K_{02}}.$$

Оскільки $W_K(p)$ має в чисельнику поліном третього ступеня, то для його компенсації потрібно використовувати задаючу модель третього порядку, тобто ввести похідну ривка ρ .

Тоді структурна схема комбінованого керування пружної системи з задаючою моделлю третього порядку буде мати вигляд, наведений на рис.2.18.

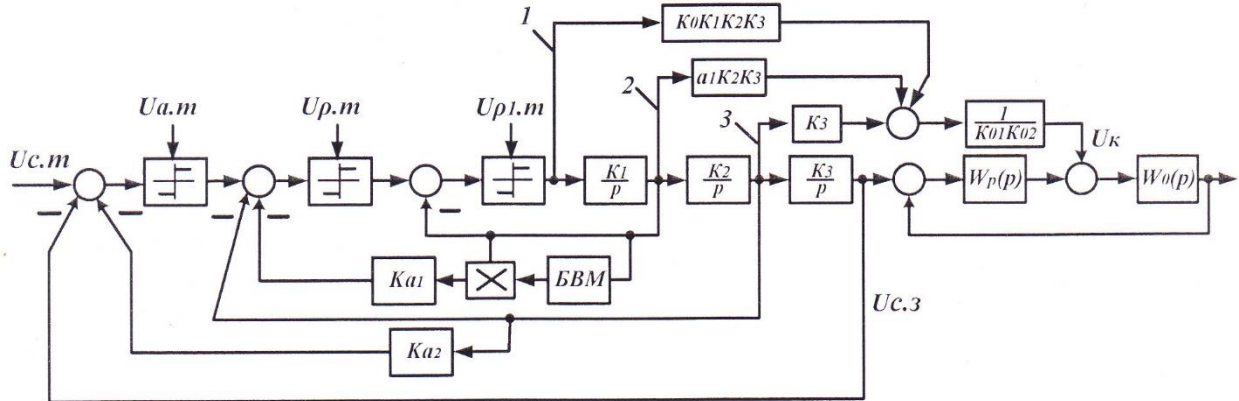


Рисунок 3 – Структурна схема комбінованого керування пружної системи з задаючою моделлю третього порядку

Переносячи точки приєднання зв'язків 1,2,3 на вихід 3М (на вихід ланки K_3/p), отримаємо передавальну функцію $W_K(p) = \frac{U_K(p)}{U_{c.3}(p)}$. На рис.2.18 $U_{c.m}$ - сигнал пропорційний

максимальної швидкості канатоведущего шківa; $U_{c.3}$ - Сигнал поточного значення заданої швидкості, формований в 3М третього порядку;

$$K_{a1} = \frac{K_2}{2K_1 U_{\rho 1.m}}; K_{a2} = 0.5K_3 \left(\frac{U_{a.m}}{K_2 U_{\rho.m}} + \frac{U_{\rho.m}}{K_1 U_{\rho 1.m}} \right).$$

При прийнятих однакових сигналах обмежень змінних моделі, пропорційних швидкості, прискоренню, ривка і похідних ривка:

$$U_{c.m} = U_{a.m} = U_{\rho.m} = U_{\rho 1.m} = 10 \quad \text{і} \quad K_1 = 2,5; \quad K_2 = 0,2; K_3 = 0,1, \quad \text{коефіцієнти } K_{a1} = 0,0043;$$

$$K_{a2} = 0.5K_3 \left(\frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_1} \right) = 0.27.$$

Для того щоб при зміні величини навантаження реальна швидкість відповідала заданій, використано ПІ- регулятор з нечіткою корекцією [4] (рис.2.19)

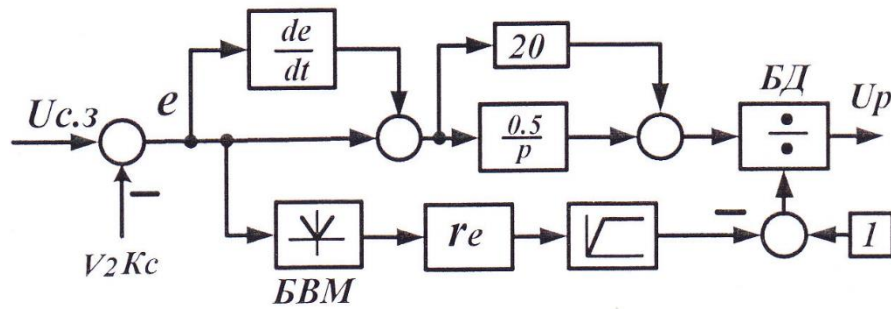


Рисунок 4 – Структурна схема ПІ - регулятора з нечіткою корекцією

Комп'ютерне моделювання виконано на Simulink- моделі (рис.2.20), що відповідає схемам рис. 2.17 і 2.18.

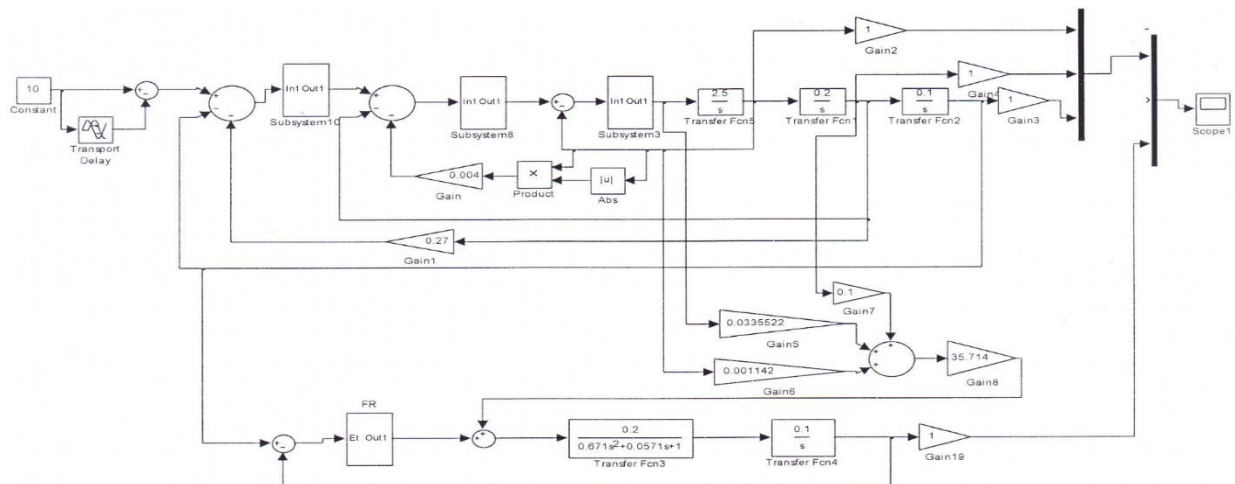


Рисунок 5 - Simulink- модель системи комбінованого керування із задаючою моделлю третього порядку і нечітким регулятором

В якості вихідних даних використані номінальні параметри багатоканальної клітьового підйомної установки МК5х4 з двигуном постійного струму.

Основні результати комп'ютерного моделювання наведені на рис.2.21. Показані графіки сигналів швидкості, прискорення, ривка, що формуються в ЗМ і сигнали дійсної швидкості U_c при пропорційному регуляторі швидкості і відсутності корисного вантажу і з нечітким регулятором з номінальною навантаженням.

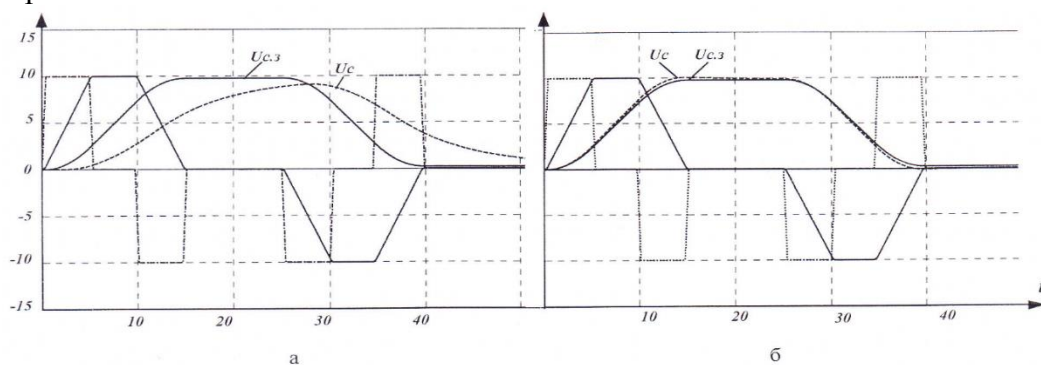


Рисунок 6 – Результати комп'ютерного моделювання при пропорційному регуляторі (а) та ПІ- регуляторі з нечіткою корекцією (б)

Висновки. 1. Застосування комбінованого керування з ЗМ третього порядку забезпечує точне відтворення оптимальних керуючих впливів.

2. Зміна параметрів системи і навантаження не впливають на заданий режим при використанні нечіткого регулятора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чермалых В.М., Родькин Д.И., Каневский В.В. Системы электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок. – М.: Недра, 1976. – 395 с.
2. Черный А.П., Луговой А.В., Родькин Д.И., Сисюк Г.Ю., Садовой А.В. Учебное пособие // Кременчуг, 1999. – 204 с.
3. Босак А.В. Позиционное управление многосвязной электромеханической системой с адаптивным фаззирегулятором / Босак А.В., Чермалых В.М.// Електромеханічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2011. – №3 (79). – С.439 – 441.

УДК 681.5; 681.51; 681.52

Бичківський О.С.
Тишевич Б.О.**МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ СОНЦЯ В МЕЖАХ м.
КИЄВА ТА НАГРІВАННЯ ФОТО ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ**

Для реалізації моделювання радіаційної поверхні сонячних панелей використано ділянку, що розташована в м. Київ.

Метеорологічні дані надходять з міжнародної метеостанції WS[AK27A] - постійно. Можливості програмного забезпечення дають змогу відображувати дані в різних інтервалах часу. Відображення даних з інтенсивності сонячної радіації в Київському регіоні наведено на рисунку 1.

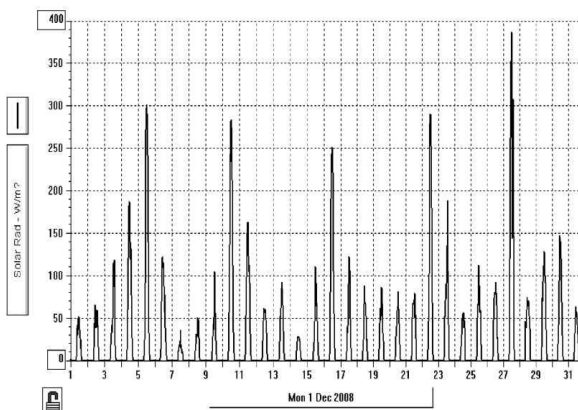


Рисунок 1. Інтенсивність сонячної радіації в Київському регіоні у грудні 2014 року

Представлений на рисунку 1 вигляд кривої інтенсивності сонячної радіації не дає змогу визначити імовірнісні характеристики розподілу сонячної енергії. Тому виникає потреба в обробці отриманих даних.

Для аналізу даних метеоспостережень за інтенсивністю сонячної радіації використана методика, запропонована Твайделом Дж. та Уэйром А. в книзі «Возобновляемые источники энергии»

Для аналізу використано дані за півроку (осінь та зима 2014-2015 рр.). Метеорологічна станція виконує заміри інтенсивності сонячної радіації щохвилинно, а кожні 30 хвилин відображає середнє значення. Для подальшої обробки даних всі значення розподілимо таким чином, щоб визначити кількість повторень значень інтенсивності сонячної радіації протягом всього періоду дослідження. В нашому випадку відомо, що за даний період максимальною була інтенсивність сонячного випромінювання 820 Вт/м^2 , і вона повторилася лише один раз о 12 годині. На відміну, інтенсивність 0 Вт/м^2 повторювалась 181 раз кожні 30 хвилин з 20 години по 06.30 ранку, а о 12 годині вона жодного разу не повторювалась.

Обробка даних полягає в наступному:

1. Визначення загальної кількості вимірювань. В нашому випадку вона становить $N=8688$.

2. Сортуюмо результати вимірювань інтенсивності сонячної радіації за величиною з кроком $45=10 \text{ Вт/м}^2$. Тобто в групи з інтенсивністю 0 Вт/м^2 , 10 Вт/м^2 , 20 Вт/м^2 , ..., 820 Вт/м^2 .

3. Будуємо гістограму розподілу інтенсивності сонячної радіації. Для цього необхідно в кожній групі підрахувати кількість вимірювань $AШБ$). На рисунку 2 представлена гістограма розподілу інтенсивності сонячної радіації.

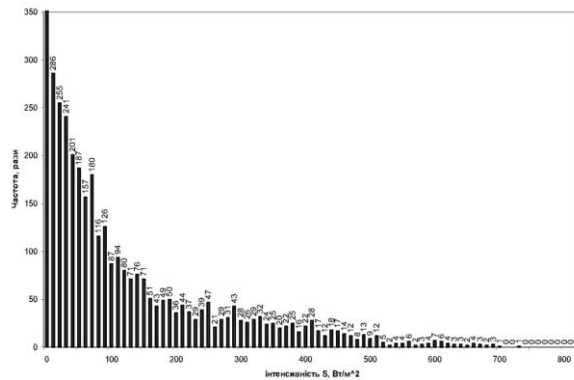


Рисунок 2. Гістограма розподілу інтенсивності сонячної радіації

4. Розраховуємо щільність функції розподілу інтенсивності сонячного випромінювання, або іншими словами - кількість вимірювань в обраному інтервалі – $(\Delta N(S) / \Delta S)$

5. Далі визначаємо імовірнісний розподіл інтенсивності сонячної радіації, за допомогою виразу (1):

$$\Phi_S = \frac{\Delta N(S)}{N} \quad (1)$$

Аналіз базується на статистичній обробці результатів систематичних вимірювань інтенсивності сонячного випромінювання протягом шести місяців. Важливо, щоб була можливість аналітичного розрахунку техніко-економічних характеристик сонячних установок, тому для зменшення кількості вимірювань інтенсивності сонячної радіації, зручно мати аналітичні вирази функцій, які відповідали б експериментальним даним [1]

Для того щоб визначити закон розподілу інтенсивності сонячної радіації, скористаймося засобами програмного пакету Matlab®. Отже, за допомогою модуля «Toolboxes» Matlab®, було визначено, що найкращою збіжністю результатів спостережень із розрахунковими величинами володіють:

а) експоненціальний закон:

$$\Phi_S = a_1 \cdot \exp(b \cdot S); \quad (2)$$

б) розподіл Гауса:

$$\Phi_S = a_1 \cdot \exp\left[-\left(\frac{S-b_1}{c_1}\right)^2\right] + a_2 \cdot \exp\left[-\left(\frac{S-b_2}{c_2}\right)^2\right] \quad (3)$$

Де a , b та c - параметри розподілу.

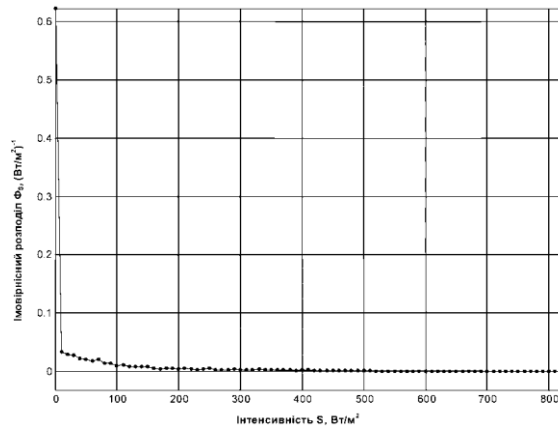


Рисунок 3 - Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячної радіації

Для експоненційного розподілу параметри $a = 0.6228$ та $b = -0.2839$. Для розподілу Гауса параметри дорівнюють: $a_1 = 0.5944$, $b_1 = -4 \cdot 10^{-6}$; $c_1 = 4.672$; $a_2 = 0.3829$, $b_2 = -119.8$; $c_2 = 220.3$. Далі необхідно побудувати графіки аналітичних функцій Φ_s для умов Києва, наведені на рисунку 4 та рисунку 5. Візуально помітно, що розподіл Гауса із знайденими параметрами більш точно відображає залежності, отримані експериментально.

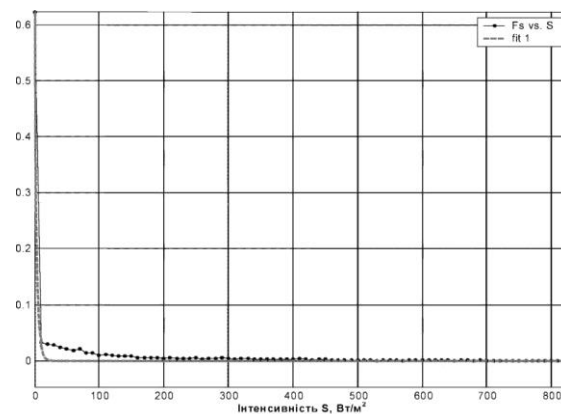


Рисунок 4 - Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання, отриманий аналітично (експоненційний закон)

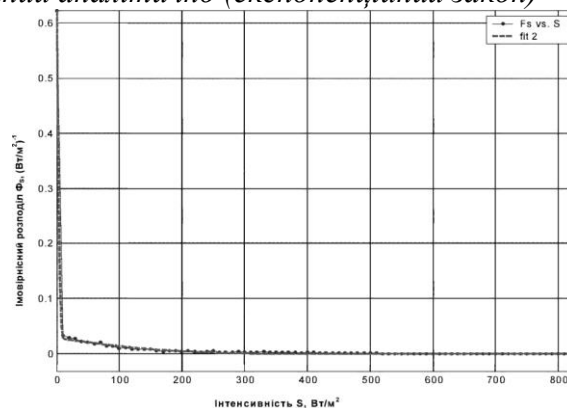


Рисунок 5 - Імовірнісний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання, отриманий аналітично (розподіл Гауса)

Для моделювання роботи системи автономного енергопостачання та

програмування мікроконтролера системи автоматичного керування процесом енергопостачання автономних споживачів з використанням сонячних установок, недостатньо мати дані, наведені в таблиці 1 та на рисунку 5. Оскільки, метою даного моделювання є оптимізація параметрів складових частин системи автоматизованого енергопостачання, яка повинна виконувати перерозподіл наявної енергії, в залежності від потреб споживача. Адже потреби споживача не завжди можуть співпадати з потенціалом сонячного випромінювання в конкретний момент часу. Тому, виникає необхідність у визначенні появи сонячного випромінювання з різною інтенсивністю. [2]

Моделювання появи сонячної радіації з різною інтенсивністю було проведено із застосуванням методу Монте-Карло.

Математичним підґрунтям методу є закон великих чисел, розроблений російським математиком Чебишевим. В загальному вигляді цей закон відображається таким чином:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left(\left| \frac{\sum x_i}{N} - M(x) \right| \leq \varepsilon \right) \rightarrow 1 \quad (5)$$

де P - імовірність складної події;

$M(x)$ - математичне сподівання випадкової величини;

$\frac{\sum x_i}{N}$ - середнє арифметичне спостережень значень;

N - кількість дослідів (реалізацій);

ε - нескінченно мале додатне число.

Підставивши значення випадкової величини (S) та відповідні їй імовірності в формулу математичного сподівання, було отримано:

$$M(x) = \sum_{i=1}^{83} x_i \cdot P = 53.2597 \quad (6)$$

Окремим випадком закону великих чисел є теорема Бернуллі, що аналітично записується так:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left(\left| \frac{m_i}{N} - p \right| \leq \varepsilon \right) \rightarrow 1 \quad (7)$$

де m_i - кількість появи події (частота);

$\frac{m_i}{N}$ - частість події;

p - імовірність події A .

Метод було застосовано для моделювання величин інтенсивності сонячної радіації у різні місяці за півроку. Оскільки всі дані метеорологічних вимірювань були

розсортовані у групи із кроком 10 Вт/м^2 , було використано метод Монте-Карло для дискретної величини. Якщо дискретна величина задана достатньо довгим рядом розподілу і якщо при цьому необхідно, щоб результат обчислень мало відрізнявся від істинного значення, то в цьому випадку обчислення проводять за допомогою персонального комп'ютера. Задача суттєво спрощується, оскільки нами було виведено закон розподілу інтенсивності сонячної радіації у Київському регіоні (див. рисунок 5).

Було побудовано інтегральну характеристику імовірності за нашими аналітичними даними, яку наведено на рисунку 6.

Після цього за допомогою генератора випадкових чисел, було отримано яке-небудь число, яке звірялося з інтегральною характеристикою. Далі йому присвоювалось певне значення модельованій нами інтенсивності сонячної радіації, в залежності від того, в який інтервал потрапляє згенеровано випадкове число.

Наприклад, якщо воно належить інтервалу $[0,7129; 0,736]$, приймається інтенсивність сонячного випромінювання 40 Вт/м^2 ; якщо ж випадкове число належить інтервалу $[0,9999; 1,0000]$ - 820 Вт/м^2 і т.д. При цьому проведення 1000 випробувань дає абсолютну похибку близько 2%. Із збільшенням кількості випробувань похибка прямує до 0.

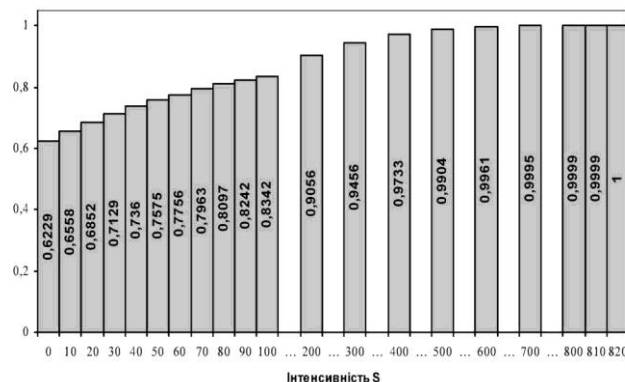


Рисунок 6 - Інтегральна характеристика імовірності

В ході проведеного аналізу даних за півроку метеоспостережень в умовах Київського регіону були вперше одержані імовірнісні характеристики та закони розподілу сонячного потенціалу.

Визначено коефіцієнти аналітичних виразів функцій, які відповідають експериментальним даним. Найкращою збіжністю результатів спостережень із розрахунковими величинами володіє розподіл Гауса. [3]

Дану методику можна використовувати для одержання характеристик та законів розподілу інтенсивності сонячного випромінювання на основі даних метеоспостережень для умов інших регіонів та місцевостей.

Наявність статистичних закономірностей, одержаних на основі регулярних метеоспостережень в конкретній місцевості суттєво спрощує методику визначення енергопотенціалів та обчислення техніко-економічних показників системи автоматизованого енергопостачання автономних споживачів із використанням відновлюваних джерел енергії і дозволяє провести комп'ютерне моделювання роботи останньої.

Висновок: Отримані дані досліджень дозволять створити базу даних для навчання програми нейроконтролера для ВФЕС, котрий дозволить повністю автоматизувати роботу станції, що дозволить підвищити ефективність енергосистеми на 60-70%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мхітарян Н. М., Кудря С. О., Щокін А. Р. Деякі аспекти подальшого розвитку об'єктів альтернативної енергетики // Відроджена енергетика . - 2007. - № 2. - С. 9-12.
2. Xiaodong Zhang. CFD simulation of neutral ABL flows Risø-R-1688(EN) [Електронний ресурс] : National Laboratory for Sustainable Energy Technical University of Denmark. - April, 2009 40 p. - Режим доступа: <http://www.risoe.dk/rispubl/reports/ris-r-1688>
3. Giorgio Crasto Numerical Simulations of the Atmospheric Boundary Layer [Електронний ресурс] : Giorgio Crasto. – Режим доступа: http://www.windsim.com/documentation/papers_presentations/thesis/0702_Giorgio_Crasto.pdf

УДК 62.83.52

О. В. Чермалих, В.М. Пермяков, О. С. Иржавський**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ
СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ**

Розглянуті питання дослідження технологічних режимів роботи стрічкових конвеєрів із застосуванням частотно-регульованого електроприводу за допомогою універсальної структурно-математичної моделі. В якості основного фактора управління прийнято оптимальне енергоспоживання конвеєрною установкою за рахунок регулювання швидкості в залежності від продуктивності конвеєра таким чином, щоб підтримувати постійним погонне навантаження на стрічці. При цьому забезпечується незмінним статичне навантаження електроприводу. Отримані діаграми протікання динамічних процесів для різних технологічних режимів роботи конвеєра, а також графічні залежності миттєвих значень споживаної активної потужності для варіантів постійної швидкості конвеєра та в разі застосування регульованого електроприводу. Надана кількісна порівняльна оцінка для обох варіантів.

Ключові слова: моделювання, стрічковий конвеєр, частотний електропривод, енергоспоживання.

А.В. Чермалих, В.Н. Пермяков, А.С. Иржавский**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

Рассмотрены вопросы исследования технологических режимов работы ленточных конвейеров с применением частотно-регулируемого электропривода с помощью универсальной структурно-математической модели. В качестве основного фактора управления принято оптимальное энергопотребление конвейерной установкой за счет регулирования скорости в зависимости от производительности конвейера таким образом, чтобы поддерживать постоянной погонную нагрузку на ленте. При этом статическая нагрузка электропривода остается неизменной. Получены диаграммы протекания динамических процессов для различных технологических режимов работы конвейера, а также графические зависимости мгновенных значений потребляемой активной мощности для вариантов постоянной скорости конвейера и в случае применения регулируемого электропривода. Предоставлена количественная сравнительная оценка обоих вариантов.

Ключевые слова: моделирование, ленточный конвейер, частотный электропривод, энергопотребление.

A. Chermalykh, V. Permyarov, A. Irjavskiy**MODELING OF TECHNOLOGICAL MODES
BELT CONVEYORS**

The problems of the study of technological modes of belt conveyors with variable frequency drive via a universal structural and mathematical models. As the main factor of the optimum management of energy consumption conveyor system by adjusting the speed

depending on the performance of the conveyor so as to maintain a constant linear load on the tape. This provides a constant static load of the drive. Obtained flow chart of dynamic processes for different technological modes of operation of the conveyor, as well as a graph of the instantaneous values of the active power consumption options for constant conveyor speed, and in the case of regulated electric. Provided quantitative comparative evaluation of both options.

Keywords: modeling, belt conveyor, electric drive frequency, energy consumption.

Вступ. За технологією функціонування конвеєрних установок передбачається тривала робота протягом значного проміжку часу внаслідок завантаження, транспортування та розвантаження матеріалів в безперервному режимі. Характерною особливістю є нерівномірність вантажопотоку, що надходить на стрічку конвеєра. В результаті при постійній швидкості відбувається недовантаження конвеєра, що призводить до зниження статичного навантаження електроприводу. При цьому погіршуються енергетичні показники, оскільки значна частина енергії витрачається на переміщення стрічки по роликах з одночасним збільшенням питомої витрати енергії на транспортування корисного вантажу. Зниження енергоспоживання можливо за рахунок застосування регульованого електроприводу. Зміну швидкості необхідно проводити у функції вантажопотоку таким чином, щоб забезпечувати повну завантаженість стрічки, тим самим стабілізуючи статичне навантаження приводу конвеєрної установки.

Мета та завдання дослідження. Оцінка динамічних показників та оптимізація енергоспоживання конвеєрної установки на основі дослідження технологічних режимів роботи стрічкового конвеєра з частотно-регульованим електроприводом за допомогою структурно-математичної моделі.

Основні завдання досліджень наступні:

- вивчити стан в галузі технологічних та енергозберігаючих аспектів роботи стрічкових конвеєрів;
- описати сучасні підходи до оптимізації функціонування конвеєрних установок;
- сформувати пакет математичних залежностей та синтезувати модель для порівняльної оцінки застосування нерегульованого та регульованого електроприводу;
- встановити взаємозв'язок між електромеханічною частиною електропривода та механічною складовою стрічкового конвеєра;
- розробити універсальну структурно-математичну модель конвеєрної установки для дослідження поведінки системи в динаміці та енергоспоживання конвеєра.

Результати дослідження. У разі постійної швидкості стрічкового конвеєра споживана потужність залежить фактично лише від одного фактора - продуктивності, яка визначається ступенем нерівномірності надходження вантажопотоку. Підвищення енергетичних показників можливо за рахунок застосування регульованого електроприводу, так як в цьому випадку на енергоспоживання впливають два фактори - продуктивність і швидкість.

Для проведення досліджень та порівняльного аналізу обох варіантів в середовищі MATLAB синтезована модель конвеєрної установки [1, 2], при побудові якої вирішувалося основне завдання об'єднання системи електроприводу з механічною частиною конвеєра. По-цьому, пропонується модель, складається з двох взаємопов'язаних частин - структурної та математичної (рис. 1).

Структурна складова моделі частотно-регульованого електроприводу містить електромеханічну систему двигуна на основі аперіодичної ланки для формування електромагнітного моменту, інтегратор для визначення кутової швидкості, перетворювач частоти U_Z . Система виконана з одним цифровим ПД-регулятором швидкості AR.

Блоки C_e , C_w задають у вигляді констант потрібні коефіцієнти зворотних зв'язків відповідно внутрішнього K_e за електрорушійною силою двигуна та зовнішнього K_w за швидкістю.

Блоки C_p , C_v забезпечують узгодження між фізичними величинами відповідно за активною потужністю K_n та лінійною швидкістю K_v .

На вході застосовано типовий пристрій завдання інтенсивності (прискорення), котрий виконано на нелінійному елементі AH й інтеграторі INT .

Блоки EQ_p , EQ і EM_c формують амплітудно-часові діаграми зміни величин відповідно вантажопотоку, що надходить, продуктивності на виході конвеєра і навантажувального моменту електроприводу.

Осцилограф $Scope1$ забезпечує візуалізацію динамічних процесів, а за допомогою осцилографу $Scope2$ є можливість оцінити енергоспоживання стрічкового конвеєра.

Математична складова моделі враховує механічну частину стрічкового конвеєра. Регулювання швидкості конвеєра здійснюється у функції вантажопотоку, який поступає на конвеєр, з урахуванням зміни коефіцієнта опору руху стрічки по роликam. При цьому підтримується постійним погонне навантаження від вантажу, що переміщується.

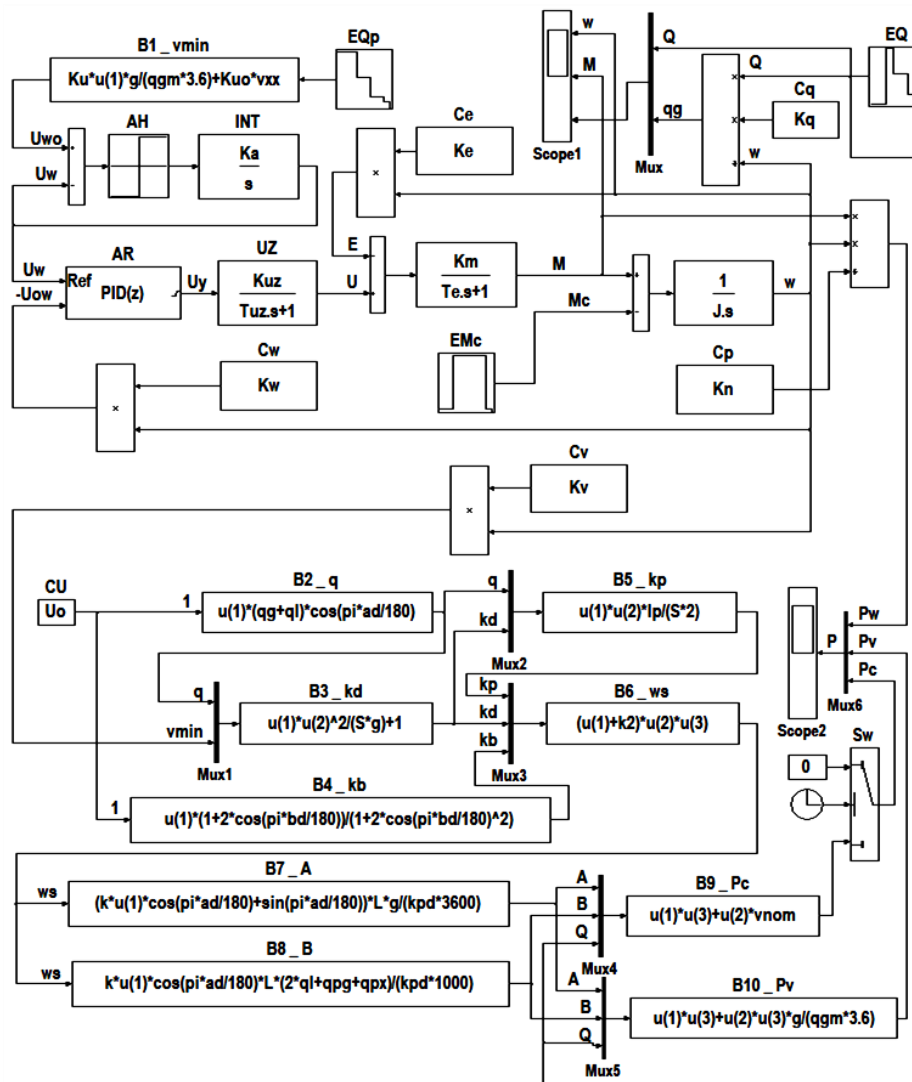


Рисунок 1 – Структурно-математична модель стрічкового конвеєра

Основними елементами математичної частки моделі є обчислювачі $B1 \dots B10$, які за допомогою об'єднувачів $Mux1 \dots Mux5$ вибирають необхідні вхідні сигнали для реалізації відповідної формули.

Згідно методики, наведеної в [3], для визначення коефіцієнту опору руху стрічки та активних потужностей для нерегульованого та регульованого електроприводу потрібно послідовно реалізувати наступні залежності з визначення відповідних величин.

Мінімальна швидкість стрічки $v_{\min}$, при якій зберігається постійним і максимальним погонне навантаження $q_{g\max}$ від вантажу (обчислювач $B1$) та погонне навантаження q від вантажу q_g та стрічки q_l з урахуванням кута нахилу конвеєра α (обчислювач $B2$)

$$v_{\min} = \frac{Q \cdot g}{3,6q_{g\max}}, \quad q = (q_g + q_l) \cdot \cos \alpha.$$

Коефіцієнти, що враховують вплив інерційної сили при проходженні стрічки та вантажу через ролики k_d (обчислювач $B3$) і нерівномірності розподілу навантаження між центральним і бічними роликами k_β (обчислювач $B4$)

$$k_d = 1 + \frac{q}{g \cdot S} \cdot v^2, \quad k_\beta = \frac{1 + 2a \cdot \cos \beta}{1 + 2a \cdot \cos^2 \beta}.$$

Коефіцієнти опорів коченню ролика по стрічці k_p (обчислювач $B5$) і руху стрічки по роликах w_s (обчислювач $B6$)

$$k_p = \frac{q \cdot k_d \cdot l_p}{2S}, \quad w_s = (k_p + k_s) \cdot k_d \cdot k_\beta.$$

Коефіцієнти потужності, що витрачається на транспортування вантажу A (обчислювач $B7$) і яка йде на подолання механічних опорів у вузлах конвеєра B (обчислювач $B8$)

$$A = \frac{L \cdot g}{3600\eta} \cdot (k \cdot w_s \cdot \cos \alpha + \sin \alpha), \quad B = \frac{L}{1000\eta} \cdot k \cdot w_s \cdot (q_{pg} + q_{px} + 2q_l) \cdot \cos \alpha.$$

Потужність при нерегульованому електроприводі P_c (обчислювач $B9$) і при регулюванні швидкості конвеєра P_v (обчислювач $B10$)

$$P_c = A \cdot Q + B \cdot v_{\text{ном}}, \quad P_v = A \cdot Q + B \cdot v_{\min}.$$

Потрібні параметри для реалізації наведених математичних залежностей можливо отримати за паспортними даними конкретного конвеєра та в результаті технологічного розрахунку конвеєрної установки.

Функціонування моделі розглянуто на прикладі горизонтального стрічкового конвеєру продуктивністю $Q = 300$ т/г, довжиною $L = 1000$ м, шириною стрічки $B_0 = 1400$ мм, швидкістю стрічки $v = 1$ м/с і потужністю приводу $P = 152$ кВт.

В табл. 1 наведено алгоритм функціонування моделі відповідно до типового технологічного режиму роботи стрічкового конвеєра.

Таблиця 1 – Алгоритм функціонування моделі

Час моделювання t , с	Режими роботи конвеєра
$0 \leq t \leq 10$	Запуск на холостому ході до номінальної швидкості
$10 < t \leq 15$	Робота при номінальному вантажопотоці
$15 < t \leq 25$	Зменшення вантажопотоку в два рази
$25 < t \leq 35$	Зниження продуктивності в п'ять разів
$35 < t \leq 40$	Робота розвантаженого конвеєра
$40 < t$	Зупинка конвеєра

Реалізація наведеного алгоритму забезпечується за рахунок спільної роботи блоків EQ_p , EQ і EM_c . Завдання відповідних вихідних координат відбувається за двома параметрами: необхідними чисельними значеннями вантажопотоку Q_p , продуктивності Q й статичного моменту M_c у потрібний час t .

На рис. 2 зображені отримані при моделюванні діаграми перехідних процесів.

Перші дві діаграми показують високу якість протікання перехідних процесів в динаміці і точність відпрацювання заданих значень в статичі як відносно кутової швидкості, так і електромагнітного моменту двигуна.

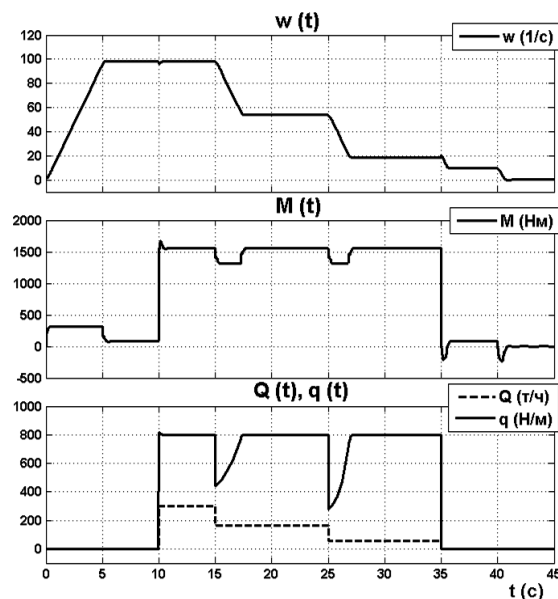


Рисунок 2 – Діаграми швидкості ω , моменту M , продуктивності Q та погонного навантаження q

Третя діаграма ілюструє можливість реалізації ідеї підтримання постійного погонного навантаження на стрічці конвеєра за рахунок регулювання швидкості

приводного двигуна в залежності від вантажопотоку. Відмітимо, що отримати повну стабілізацію погонного навантаження від вантажу не вдається, тому що при швидкій зміні продуктивності потрібен певний час для відповідної зміни швидкості, що наочно показують отримані графіки.

Діаграма активних потужностей (рис. 3) дозволяє провести аналіз енергоспоживання конвеєрною установкою відносно варіантів постійної швидкості конвеєра P_c , з регульованим електроприводом P_v , а також щодо фактичної механічної потужності $P_\omega = M \cdot \omega$ на валу електродвигуна.

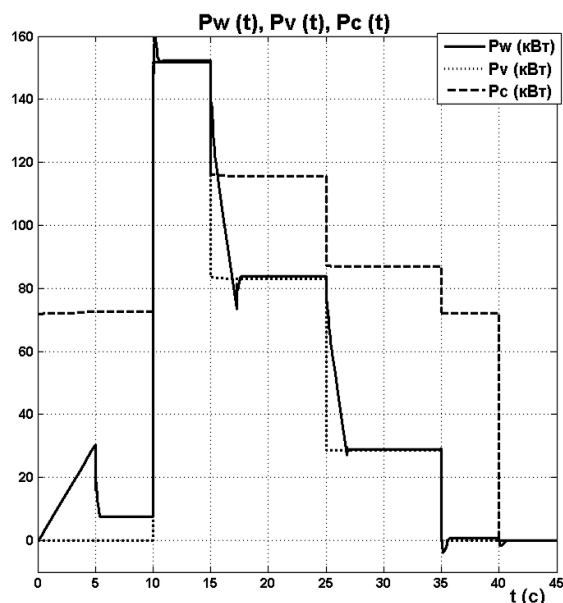


Рисунок 3 – Графіки миттєвих значень активних потужностей

При запуску конвеєра на холостому ходу споживана потужність для прямого пуску двигуна P_c значно перевищує потужність P_ω . Для номінального режиму всі три варіанти практично однозначні. Зі зменшенням вантажопотоку ефективність регулювання швидкості конвеєра зростає. Зниження енергоспоживання для половинної продуктивності становить близько 38%, а при продуктивності, в п'ять разів менше номінальної, споживана потужність зменшується в три рази. Слід зазначити, що підтримка малої швидкості порожнього конвеєра протягом тривалих відрізків часу, особливо якщо такий режим за технологією необхідний, може забезпечити економію до 70% потужності і більше.

Висновки. Отримані результати показують, що є можливість побудови універсальної структурно-математичної моделі конвеєрної установки як єдиного технологічного комплексу у складі електроприводу і самого конвеєра. Дослідження режимів роботи конвеєрної установки підтвердили ефективність і доцільність застосування частотно-регульованого асинхронного електроприводу, що дозволяє забезпечити високі динамічні показники, а також стабілізувати погонне навантаження на стрічці при зниженні енергоспоживання залежно від вантажопотоку і поточної продуктивності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П., Пеньков А.А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 816 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
3. Монастырский В.Ф., Максютенко В.Ю., Кирия Р.Ф. Эффективность работы ленточных конвейеров на горных предприятиях // Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. – Вып. 88. – С. 185-191.

УДК 519.61

**В. В. Рудковський, студент,
М.П. Осадчук, асистент
В.О. Полішук ст. викладач,**

ПРОСТІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ

Визначення опору кола за заданою електричною схемою на основі законів Кірхгофа, розв'язок системи лінійних алгебраїчних методом Гауса перевірка результатів тестовою програмою та розробка інтерфейсу.

Ключові слова: система лінійних алгебраїчних рівнянь, метод Гауса, закони Кірхгофа, розробка інтерфейсу.

ПРОСТЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Определение сопротивления цепи по заданной электрической схеме на основе законов Кирхгофа, решение системы линейных уравнений методом Гаусса проверка результатов тестовой программой и разработка интерфейса.

Ключевые слова: система линейных алгебраических уравнений, метод Гаусса, законы Кирхгофа, разработка интерфейса.

A SIMPLE MATHEMATICAL MODEL ON THE BASIS OF A SYSTEM OF LINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS

The determination of resistance of electric circuit according to a given scheme on the basis of Kirchhoff's laws, solution of systems of linear equations by Gauss method test results test program and interface design.

Key words: the system of linear algebraic equations, Gauss method, Kirchhoff's laws, the development of the interface.

Технічні, екологічні, економічні та інші системи, які вивчаються сучасною наукою, складно піддаються дослідженню звичайними теоретичними методами. Прямий експеримент над ними може бути довгий, дорогий, а деколи небезпечний, або просто неможливий, так як багато з цих систем існують в «єдиному екземплярі». Тому математичне або інформаційне моделювання є неминучою складовою науково-технічного прогресу. Сама постановка питання про математичне моделювання будь-якого об'єкта породжує чіткий план дій. Його можна умовно розбити на три етапи: модель — алгоритм — програма.

Розв'язок систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) – одна з основних задач обчислювальної лінійної алгебри і від уміння ефективно вирішувати такі системи часто залежить сама можливість математичного моделювання найрізноманітніших процесів.

На кафедрі електромеханічного обладнання енергоємних виробництв в курсі “Обчислювальна техніка та програмування” в ході виконання курсової роботи студенти знайомляться з прямими і ітераційними методами розв'язку СЛАР. А завдання їх полягає у визначенні опору кола за заданою електричною схемою на основі законів Кірхгофа. Якщо потрібно, то виконуються спрощення по схемі, а система лінійних алгебраїчних

рівнянь зберігається в файлі формату Excel Microsoft чи текстовому файлі. Сама система, в основному, розв'язуються методом Гауса.

Інтерфейс, який створюється мовою C++ в оболонці Builder 6 для розв'язку СЛАР складається з блоків:

- 1) зчитування інформації з відповідних файлів (.xls чи .txt);
- 2) відображення зчитаної інформації;
- 3) застосування алгоритму метода Гауса для розв'язку СЛАР;
- 4) виведення результатів.

Для перевірки результатів розроблено тестову програму, яка складається з блоку спрощення електричної схеми, запису СЛАР (рис. 1) та отримання результатів (рис. 2).

```

Узел 3:      +I1-I2-I5=0
Узел 5:      +I3-I6-I9=0
Узел 6:      +I4-I6-I7-I10=0
Узел 7:      +I5+I7-I8-I11=0
Узел 8:      +I2+I8-I12=0
Узел 9:      +I9-I13-I16=0
Узел 10:     +I10+I13-I14-I17=0
Узел 11:     +I11+I14-I15-I18=0
Узел 12:     +I12+I15-I19=0
Узел 14:     +I16+I17-I20=0
Узел 15:     +I18+I19+I20=0
Контур 5-6-2-1-5:      +R6*I6-R4*I4+R3*I3=-E
Контур 6-7-3-2-6:      +R7*I7-R5*I5-R1*I1+R4*I4=0
Контур 7-8-3-7:      +R8*I8-R2*I2+R5*I5=0
Контур 9-10-6-2-1-5-9: +R13*I13-R10*I10-R4*I4+R3*I3+R9*I9=-E
Контур 10-11-7-3-2-6-10: +R14*I14-R11*I11-R5*I5-R1*I1+R4*I4+R10*I10=0
Контур 11-12-8-3-7-11: +R15*I15-R12*I12-R2*I2+R5*I5+R11*I11=0
Контур 10-14-9-5-1-2-6-10: +R17*I17-R16*I16-R9*I9-R3*I3+R4*I4+R10*I10=E
Контур 11-15-14-9-5-1-2-3-7-11: +R18*I18-R20*I20-R16*I16-R9*I9-R3*I3+R1*I1+R5*I5
+R11*I11=E
Контур 12-15-14-9-5-1-2-3-8-12: +R19*I19-R20*I20-R16*I16-R9*I9-R3*I3+R1*I1+R2*I2
+R12*I12=E

```

Рисунок 1. – Складання системи алгебраїчних рівнянь за законами Кірхгофа.

```

I0=      1.25373
I1=      0.631489
I2=      0.0920999
I3=      -1.25373
I4=      0.622244
I5=      0.539389
I6=      -0.936924
I7=      -0.327213
I8=      0.0132107
I9=      -0.316808
I10=     0.0125326
I11=     0.198965
I12=     0.105311
I13=     -0.264742
I14=     -0.184256
I15=     -0.0285659
I16=     -0.0520668
I17=     -0.0679533
I18=     0.0432755
I19=     0.0767446
I20=     -0.12002
R=797.618

```

Рисунок 2. – Результат роботи тестової програми.

Таким чином, при виконанні курсової роботи студенти використовують знання отриманні при вивченні курсу “Вища математика” – це метод Гауса для розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь, “Загальна фізика” – закони Кірхгофа для складання вузлових і контурних рівнянь та “Обчислювальна техніка та програмування” – розробка алгоритмів та інтерфейсів. Такі роботи закладають основи моделювання на старших курсах.

Література

1. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной техники., Ученики для Вузов. Специальная література Лань., - 2006. – 672 с.
2. Лук'яненко С.О. Числові методи в інформатиці., Київ НТУУ “КПІ”., - 2012. – 160 с.

УДК 681.515+62-551.453

к.т.н., доцент **ТИШЕВИЧ Б.Л.***Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"***СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

У цій статті розглядається використання нейронної мережі для прогнозування споживання електроенергії. Введення нейронної мережі для моделювання та ідентифікації графіка енергоспоживання, є додатковим способом для підвищення точності прогнозування.

Ключові слова: нейронна мережа, ідентифікація електричного навантаження, прогнозування енергоспоживання.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В этой статье рассматривается использование нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии. Введение нейронной сети для моделирования и идентификации графика энергопотребления, является дополнительным способом для повышения точности прогнозирования.

Ключевые слова: нейронная сеть, идентификация электрические нагрузки, прогнозирование энергопотребление.

CURRENT FORECASTING METHODS ENERGY CONSUMPTION USING NEURAL NETWORKS

In this article considered using of the neural network for power consumption forecasting. Introduction of a modeling neural network which makes identification graphics power consumption is in the additional way for increase accuracy of forecasting.

Key words: neural network, identification electrical loadings, power consumption forecasting.

Вступ. Прогнозування режимних параметрів і техніко-економічних показників є одним з важливих завдань, як при плануванні, так і при веденні поточних режимів електроенергетичної системи. Створення умов для вільної конкуренції на оптовому ринку електроенергії є частиною комплексу заходів, що проводяться у рамках реформування галузі, і спрямовано на вироблення нового механізму утворення цін на електричну енергію, що відбиває баланс інтересів виробників і споживачів електроенергії. Оціночні розрахунки, які проводилися для великих енергоспоживачів, показали, що поліпшення якості прогнозування тільки місячного споживання на 0,1% здатне в справжніх умовах понизити витрати на оплату відхилень від плану по постачаннях електроенергії на декілька мільйонів гривень у рік. Ще більший ефект приносить уточнення короткострокового і оперативного прогнозу графіків споживання потужності. Створення нових методів, які дозволять поліпшити точність результатів прогнозування електричного навантаження є економічно доцільним. У західних країнах робилися роботи за оцінкою економічної ефективності підвищення якості прогнозу енергоспоживання для окремо взятої енергетичної компанії. У літературі приводяться різні дані, але порядок цифр однаковий: для типової регіональної енергокомпанії в

Північній Америці поліпшення якості прогнозу на 1% нижче 5% спричиняє за собою зниження витрат на десятки мільйонів доларів в рік.

Мета дослідження. Метою досліджень є аналіз, групування та класифікація методів прогнозування в енергетиці. Найбільш перспективними методами для прогнозування навантаження можна вважати методи, які засновані на технології штучного інтелекту. Математичні моделі, які використовуються при прогнозуванні процесів можна класифікувати по групах:

- 1) статистичні (імовірнісні);
- 2) детерміновані (алгебра);
- 3) комбіновані імовірнісно-детерміновані.

Статистичні моделі отримали найбільш широке застосування в завданнях моделювання, прогнозування процесів електроспоживання, а також пов'язаних з ним інших процесів. Випадкові нестационарні графіки навантаження електроприймачів частенько мають особливості, що спрощують їх аналіз і моделювання. До цих особливостей відноситься повторюваність технологічних або добових циклів, циклів які викликані сезонними змінами і іншими. Результати вимірів таких графіків навантаження або тимчасових рядів електроспоживання можна представити нестационарним випадковим процесом, усі реалізації якого мають загальний майже періодичний детермінований тренд. У останні десятиліття намітилася тенденція критичного відношення до статистичної постановки проблеми ідентифікації об'єктів і процесів [1,2], особливо у разі, коли відсутня можливість отримання показних вибірок для побудови математичних моделей, статистичних характеристик процесів і перевірки їх адекватності. Крім того, статистична теорія використовує операції усереднювання по безлічі реалізацій, що у цілому ряді випадків призводить до погіршення математичної моделі, особливо в умовах малих і нестационарних вибірок. У електроенергетиці, як відмічено в роботах [3,4], також є приклади, коли імовірнісні моделі застосовуються без належного обґрунтування, коли відсутня можливість отримання показних вибірок для побудови математичних моделей і перевірки їх адекватності.

У певних випадках можна ефективно використовувати, алгебраїчний детермінований, а не статистичний підхід до вирішення проблеми моделювання та ідентифікації процесу [1,5]. Основні відмінності алгебраїчного підходу від статистичного полягають в наступному:

- при моделюванні знаходяться, уточнюються і використовуються не статистичні характеристики помилок вимірювань, а безпосередньо самі значення помилок в конкретному епізоді ідентифікації;
- уточнення параметрів моделі здійснюється безпосередньо по розбіжностям між сигналами на виході об'єкту і на виході поточної моделі.

При цьому більшість прогнозних моделей процесів будуються із використанням поліноміальної моделі, кінцевого гармонійного ряду Фур'є, алгебраїчної регресії, спектрального розкладання і тому подібне).

Як один з варіантів алгебраїчного підходу можна розглядати побудову математичних моделей процесів на основі теорії нечітких множин[6,7], штучних нейронних мереж (НМ) [8,9], що дозволяють формувати модель об'єкту або процесу в умовах малих і нестационарних вибірок, а також формалізувати експертні оцінки фахівців.

Усе більше поширення нині знаходять математичні прогнозуючі моделі, що є комбінацією статистичних і детермінованих моделей. Саме ці моделі дозволяють забезпечити найкращу точність прогнозування, адаптивність до процесу електро-

споживання. Вони базуються на концепції стандартизованого моделювання навантаження [10], яка полягає в моделюванні фактичного навантаження $P(t,d)$ як сукупності стандартизованого графіку (базової складової, детермінованого тренду) $P_S(t,d)$ і залишковій складовій $P_D(t,d)$. Ця декомпозиція на складові найчастіше носить адитивний характер [11,12]:

$$P(t,d) = P_S(t,d) + P_D(t,d), \quad (1)$$

але іноді використовується і мультиплікативна декомпозиція [10]:

$$P(t,d) = P_S(t,d) P_D(t,d). \quad (2)$$

У використовуваних же позначеннях графіків навантаження $P(t,d)$, $P_S(t,d)$, $P_D(t,d)$ мала буква d означає тип (номер) прогнозованої доби. Використовується також модель, що об'єднує властивості адитивної і мультиплікативної моделей [10]:

$$P(t,d) = P_{S1}(t,d) + P_{S2}(t,d) P_D(t,d), \quad (3)$$

де $P_{S1}(t,d)$, $P_{S2}(t,d)$ - детерміновані складові і $P_D(t,d)$ - залишкова випадкова складова. Найбільш широке застосування в електроенергетиці має адитивна модель (1), моделі ж (2) і (3) мають обмежене застосування. Процес $P_D(t,d)$ в першому наближенні вважають стаціонарним або майже стаціонарним, що спрощує його моделювання з використанням статистичних моделей. Моделювання (виділення) стандартної складової $P_S(t,d)$ здійснюють різними методами:

- шляхом згладжування нестационарної реалізації процесів що ковзає [10,13,14] чи експоненціальним усереднюванням [10,15];
- апроксимацією поліномами [10];
- компенсацією стандартною складовою на основі обчисленні різниць n -го порядку [10,16];
- розподілом складових по частотах і моделюванням кінцевими рядами Фур'є [13,17,18];
- компенсацією математичного очікування добовими різницями [10,17];
- шляхом декомпозиції по ортогональних векторах або функціях [19,10];
- шляхом нейромережевого або нечіткого моделювання (згладжування) [7,20] та ін.

Крім того, при моделюванні стандартної складової $P_S(t,d)$ також здійснюють її декомпозицію на окремі складові [10]:

$$P_S(t,d) = P_A(t,d) + P_R(t,d) + P_T(t,d) + P_W(t,d), \quad (4)$$

де $P_A(t,d)$ – складова, що враховує зміну середнього сезонного навантаження; $P_R(t,d)$ – складова, що враховує тижневу циклічність зміни електроспоживання; $P_T(t,d)$ – трендова складова, що моделює додаткові ефекти, пов'язані із зміною часу сходу і заходу сонця від сезону до сезону; $P_W(t,d)$ – складова, що враховує залежність електроспоживання від метеофакторів, зокрема, температури. Кожна із складових в комбінованій моделі (1), (4) може бути реалізована з допомогою НМ. Моделі штучних НМ [8,9], які використовуються для створення багатофакторних моделей електроспоживання, ґрунтуються на методі потенційних функцій [5], який застосовується в завданнях розпізнавання образів і їх автоматичної класифікації [5]. У електроенергетиці використовується перцептронна реалізація методу потенційних функцій [21]. На основі моделей багатосарового перцептрона і штучної НМ вирішені завдання класифікації добових графіків навантаження і їх короткострокового прогнозування на термін від одної до десяти діб і моделювання електроспоживання промислового підприємства [8,9].

Для оперативного прогнозування у випадках, коли аналітично неможливо визначити вид залежності параметрів електроспоживання від яких-небудь чинників і не ефективне застосування традиційних методів аналізу тимчасових рядів, можна використовувати штучні НМ з прямою передачею сигналу, до яких, зокрема, відносяться багатосарові перцептрони – MLP (Multi - Layer Perceptron). При цьому необхідно вибрати впливаючи

параметри, провести попередню обробку вхідних даних, що включає видалення пропусків, викидів і необхідне масштабування даних, вибір кількості прихованих шарів, а також кількості нейронів у кожному прихованому шарі, вибір алгоритму навчання, а також даних, призначених для навчання НМ.

Згідно з методом найменших квадратів, цільовою функцією помилки НМ, що мінімізується, є величина:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j,p} (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2, \quad (5)$$

де - $y_{j,p}^{(N)}$ реальний вихідний стан нейрона j вихідного шару N НМ при подачі на її входи p -го образу; $d_{j,p}$ - ідеальний (бажаний) вихідний стан цього нейрона. Підсумовування ведеться по усіх нейронах вихідного шару і по усіх оброблюваних мережею образах. Мінімізація виконується методом градієнтного спуску :

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (6)$$

де w_{ij} - ваговий коефіцієнт синаптичного зв'язку, який сполучає i -й нейрон шару $n - 1$ з j -м нейроном шару n , η - коефіцієнт швидкості навчання, $0 < \eta < 1$.

Для підвищення достовірності і надійності почасового прогнозування застосовується підбір типових графіків з передісторії. При цьому на підставі циклічності виробництва і єдиного характеру експлуатаційних регламентів (планові зупинки, планові ремонти, пускові режими, експлуатаційні режими) виробництва передбачається наявність у передісторії доби, яка характерна по режиму електроспоживання. Процедура прогнозування в цьому випадку ґрунтується на аналізі початкових графіків електроспоживання і виявленні стійких зв'язків і циклічних залежностей.

Результати дослідження. Для прогнозування навантаження вибрана нейронна мережа з прямою передачею сигналу і використовується статистична звітність по навантаженнях виробництва з інтервалом усереднювання в 0,5 години. Для забезпечення незалежності від технологів прогноз ґрунтується на обліку властивостей тимчасового ряду електроспоживання, при цьому значення півгодинних навантажень виробництва змінюються в широкому діапазоні. У якості входу використовується вектор з трьома елементами: півгодинні значення навантаження, номер відповідної півгодини в добі, номер відповідного дня в тижні.

Мережа має два шари - три нейрона в першому шарі і один нейрон в другому шарі як зображено на рисунку 1. Як функція активації в першому шарі використовується гіперболічний тангенс, в другому шарі - лінійна функція. Як алгоритм навчання використовується процедура зворотного поширення на часовому ряду півгодинних навантажень. Алгоритм навчання за допомогою процедури зворотного поширення полягає в наступному: на входи мережі подається один з можливих образів; розраховуються відхилення для вихідного шару; розраховуються зміни вагів шару N ; розраховуються відхилення і зміни вагів для усіх інших шарів; виробляється корекція усіх вагів у нейронній мережі; якщо помилка мережі істотна, то виробляється перехід на перший крок розрахунків; інакше - алгоритм завершується. Аналіз динаміки помилки роботи мережі на перевіірочній вибірці показує, що мережа досягає насичення (навчилася) на 100-ій ітерації.

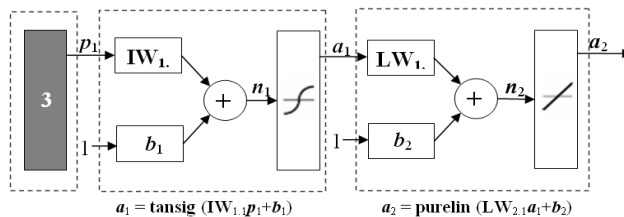


Рисунок 1. Архітектура нейронної мережі із прямою передачею сигналу.

Висновки. До використання нейронних мереж для прогнозування енергоспоживання необхідно вдаватися тому, що зміни в часі електричного навантаження є випадковими процесами, тобто функції випадковим чином залежні від часу, а також від ряду внутрішніх і зовнішніх чинників. Окрім цього, електричне навантаження в електроенергетичних системах схильне до впливу такого зовнішнього чинника, як погода з її випадковою мінливістю. В цілому електричне навантаження – стохастичний процес, домінуючими причинно-наслідковими чинниками якого є час доби і погодні умови. Подальший бурхливий розвиток комп’ютерних технологій дозволяє реалізувати складні розгалужені нейронні мережі які забезпечують високу точність прогнозування для стохастичних процесів.

Література

1. Теряев Е.Д., Шамриков Б.М. Цифровые системы та поэтапное адаптивное управление. – М.: Наука, 1999. – 330 с.
2. Тугубалин В.Н. Границы применимости (вероятностно-статистические методы и их возможности). – М.: Знание. 1977. – 64 с.
3. Беляев Л.С., Крумм Л.А. Применимость вероятностных методов в энергетических расчетах // Изв. АН СССР Р Энергетика и транспорт, 1983, №2. С.3-11.
4. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Методы теории решений в задачах оптимизации систем электро-снабжения. – М.: ВИПКЭнерго, 1989. – 130 с.
5. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. – 744 с.
6. Прикладные нечеткие системы // К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи, и др. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
7. Морхов А.Ю. Совершенствование методов расчета электрических нагрузок и управление электропотреблением в условиях нечеткой информации/ Автореф. дисс. ... к.т.н. – Новочеркасск, 1994. – 17 с.
8. Демура А.В., Кушнарєв Ф.А., Надтока И.И., Седов А.В. Прогнозирование электропотребления в энергосистеме Ростовэнерго. Изв. вузов. Электромеханика, № 4-5, 1994, с. 102-110.
9. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Краткосрочное прогнозирование электрических нагрузок с использованием искусственных нейронных сетей // Электричество, 1999, № 10. С.6-12.
10. Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200
11. Гурский С.К. Адаптивное прогнозирование временных рядов в электроэнергетике. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 271 с.

12. Гупта П.К. Интервальное суточное прогнозирование нагрузок с использованием метеорологической информации.// В кн. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки. –М.: Энергоатомиздат, 1987. – С.39-50.
13. Методы решения задач реального времени в электроэнергетике/ А.З. Гамм, Ю.Н. Кучеров и др. – Новосибирск: Наука, 1990. –294 с.
14. M.S. Abu-Hussien, M.S. Kandil, M.A. Tantuary, S.A. Farghal. An accurate model for short-term load forecasting. Proc. IEEE, № 10, 1979, pp. 1860-1882.
15. W.R. Christianse. Short-term load forecasting using general exponential smoothing. IEEE Trans., Pas – 90, № 2, 1971, p. 900-910.
16. Доброжанов В.И. Краткосрочное прогнозирование электрических нагрузок промышленных предприятий. – Изв. вузов. Энергетика, 1987, № 1, с. 8-12.
17. Орнов В.Г., Рабинович М.А. Задачи оперативного и автоматического управления энерго-системами. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 223 с.
18. F.D. Galiana, E. Handschin, A. Fiechter. Identification of stochastic electric load models from physical data. IEEE Trans., Ac-19, 1974, № 6, pp. 887-893.
19. Седов А.В., Надтока И.И. Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2002. – 320 с.
20. Демура А.В. Использование искусственной нейронной сети в качестве многофакторной модели при планировании электропотребления предприятий// Изв. вузов Сев.-Кав. регион. Сер.«Техн.науки» 1996.- № 3.– С. 102-108.
21. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. – М: ИПРРЖР, 2000. -416 с.

УДК 681.515+62-551.453

магістрант МАРЧЕНКО А.А., *к.т.н., доцент* ТИШЕВИЧ Б.Л.*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"***СУЧАСНІ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ДАНИХ ТА РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ В ПРОГНОЗУВАННІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ**

Розглянуто спосіб попередньої підготовки даних та розробку моделі яка може бути застосована на різних рівнях шляхом кластеризації первинних даних та усунення періодичних відхилень.

Ключові слова: прогнозування енергоспоживання, підготовка даних, моделі енергоспоживання.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ И РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Рассмотрен способ предварительной подготовки данных и разработка модели, которая может быть применена разных уровнях путем кластеризации первичных данных и устранения периодических отклонений.

Ключевые слова: прогнозирование энергопотребления, подготовка данных, модели энергопотребления.

DATA PREPARATION AND MODELING MODERN METHODS FOR FORECASTING ENERGY CONSUMPTION

In this article considered using a method of preliminary preparation of data and the development of a model that can be applied to different levels of primary data by clustering and elimination of periodic deviations.

Key words: forecasting energy consumption, data preparation, model power.

Вступ. Прогнозування споживання електроенергії є одним з відомих найважливіших завдань в управлінні попиту та пропозиціями на електроенергію. Структури споживання електроенергії торкнулася деякі соціальні, економічні та екологічні фактори, які в свою чергу формують моделі сезонної, місячної, денної та погодинної зміни. Різноманітність і складність в структурі споживання електроенергії призвели до збільшення складних моделей. Було зроблено багато спроб щоб знайти найкращий варіант оцінки споживання енергії. Такі дослідження мали на меті прогнозувати потреби в двох рівнях:

- Макроекономічна система прийняття рішень;
- Інжиніринг та менеджмент середнього ланки прийняття рішень.

Дане дослідження має на меті продемонструвати спосіб попередньої підготовки даних та розробку моделі яка може бути застосована на обох вищезгаданих рівнях шляхом кластеризації первинних даних та усунення періодичних відхилень.

Складна модель розділена для того щоб слугувати простим моделям, які можуть бути легко проаналізованими звичними інструментами в обох рівнях.

Прогнозування споживання електроенергії є важливим завданням для пришвидшення подальшого розвитку в сфері енергопостачання. Неточне прогнозування навантаження на мережу спричинить зростання експлуатаційних витрат комунальних підприємств по виробництву електроенергії та споживачів енергії. Особливо на

ринковому середовищі. Було досліджено, що у разі виникнення помилки прогнозування на рівні 1% - витрати на експлуатацію зростають на декілька порядків в рік [1].

Модель електропостачання та енергоспоживання як основна частина оборту енергії має найбільший вплив на можливість досягнення стійкого енергетичного сценарію. Створення макрорішень повинне мати більший сенс на основі тенденції споживання на широкому проміжку часу в їх економічно-енергетичному плануванні.

Більшість досліджень сконцентровані на тому, щоб передбачити значення споживання в певний період з технічної точки зору. Інші дослідження намагаються проаналізувати економічні моделі для електричного споживання в більш широкому аспекті. Декілька основних методів та технік було запропоновано та розроблено, в тому числі моделі часових рядів, регресивні моделі, функція передачі Бокса-Дженкінса, моделі експертних систем, моделі нейронних мереж та нечітка логіка [2].

Коли відбувається прогнозування зміни періоду від щорічного до погодинного, форма моделі споживання змінюється від гладкої кривої до комплексної циклічної кривої, із-за зростання впливу екологічних факторів. Як наслідок, традиційні методи, такі як регресія та часові ряди не мають можливості надати коректне прогнозування кривих на моделі, в той час як інші експертні моделі, такі як штучні нейронні мережі можуть бути застосовані належним чином [3].

Мета дослідження. Метою дослідження - розглянути переваги та недоліки різних методів прогнозування. Щомісячне прогнозування в більшості було використане для керування середньою потужністю, але модель щомісячного споживання є не настільки простою наскільки модель щорічного споживання. Оскільки екологічні параметри важливі в щомісячному діапазоні рис. 3 представляє місячне споживання електричної енергії в Ірані протягом 10-ти років. Ця модель показує просту модель відносно рис. 1 та складну модель відносно рис. 2 (погодинні показники)

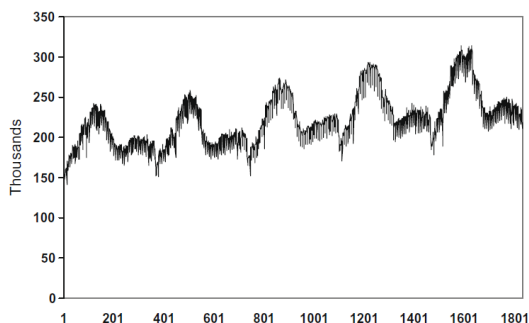


Рисунок 1. Погодинне електро-споживання в Ірані з 1994 по 2004 роки.

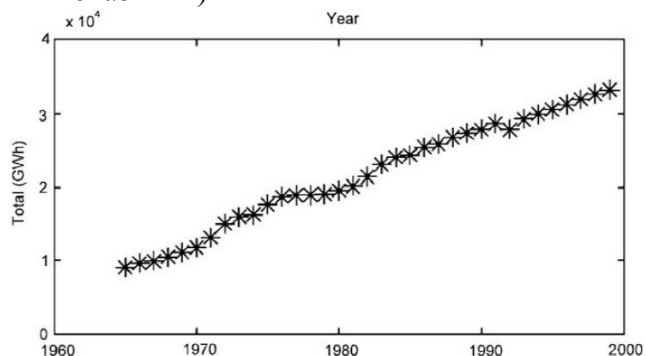


Рисунок 2. Щорічне споживання електро-енергії протягом 1960-2000 років у Новій Зеландії.

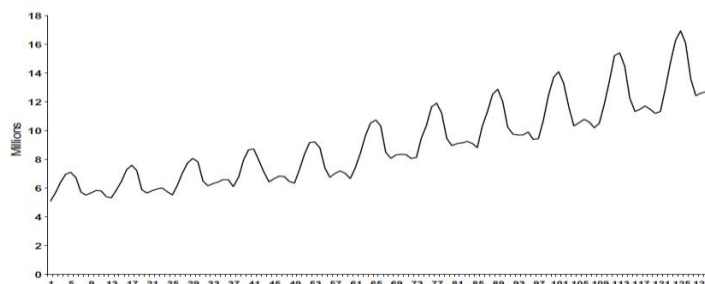


Рисунок 3. Щомісячне споживання електроенергії з 1994 по 2004 в Ірані.

Для прогнозування електроспоживання, основна проблема виникає із-за параметрів навколишнього середовища. Модель електричного споживання змінюється з перервами в зміні температури щогодини, щодня та щомісяця, сезонно та щорічно.

Дані, що згуртовані на основі одного проміжку часу в основному відповідають іншим зібраним даним - ця основна риса є базою для дослідження.

Результати дослідження. В даному дослідженні було використано погодинне споживання електроенергії в Ірані на проміжку квітень 1994 – січень 2000 [4]. На рис.4 представлені щомісячні записи щодо електричного споживання протягом року на протязі 10 років. На рис. 5 представлена 12-ти місячна модель для 12 місяців року, коли ці дані було отримано базуючись на однаковому проміжку часу. Рис.5 є еквівалентом рис. 4, але вони відрізняються лише організацією даних. Кожна модель на рис. 5 демонструє збільшення споживання енергії протягом часу.

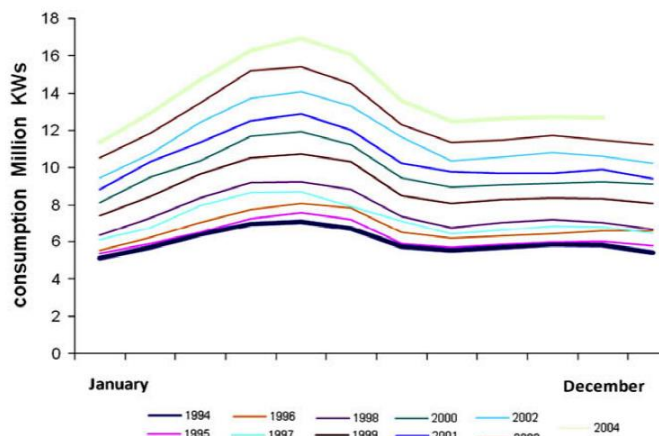


Рисунок 4. 12-ти річне споживання електроенергії з 1994 по 2004 в Ірані.

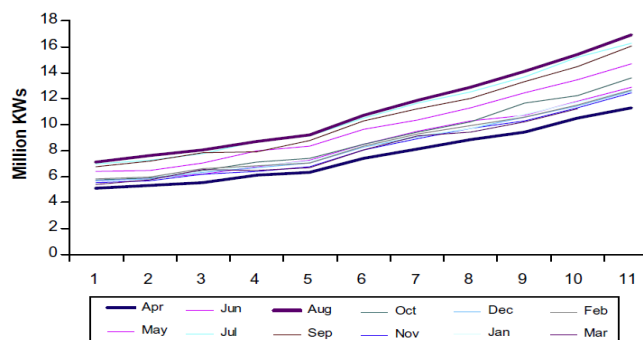


Рисунок 5. 12-ти місячне споживання електроенергії для 12-ти місяців року з 1994 по 2004 в Ірані.

На рисунку 6 продемонстровано щомісячне споживання електроенергії моделі з контурною лінією.

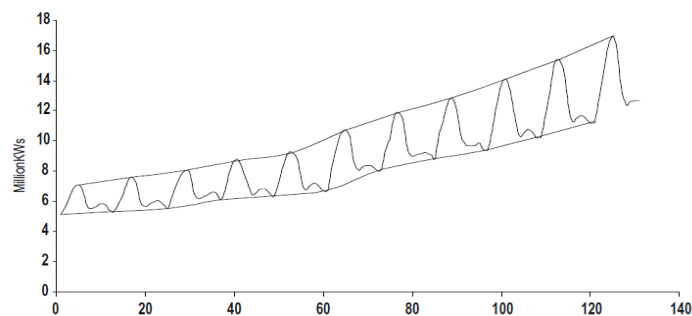


Рисунок 6. Крива споживання.

Взагалі крива споживання на рис.3 розкладалася на 12 кривих на рис. 5. Іншими словами 12 кривих на рис. 5 є еквівалентом для кривої на рис. 3, які в свою чергу є більш гладенькими та простішими ніж криві на рис. 3. Порівнюючи рис. 4 та рис. 5 можна зробити висновки, що лише соціальні та економічні змінні фактори можуть впливати на кожен криву рис. 5, тому ефекти екологічних змінних майже усунуті. Іншими словами - кожен набір даних порівнює соціальні та економічні змінні вздовж вертикальної вісі, а екологічні змінні розташовані по горизонтальній вісі. Тому, як результат, краще робити прогноз електричного споживання з використанням 12-ти простих моделей, ніж використовувати одну складну.

Для того, щоб створити більш детальний прогноз споживання електроенергії розглянемо рис. 7 на якому представлено 24 криві одного обраного дня. Було розглянуто 24 години 21-го квітня з 1994 до 2004 в Ірані.

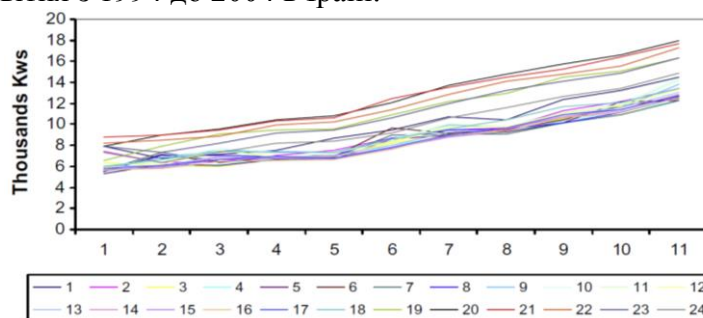


Рисунок 7. Електричне споживання для 21-го квітня з 1994 по 2004 рік в Ірані.

Таким чином, складна модель на рис. 1 може бути розкладена на еквівалентні криві місячних, денних та годинних показників. Тип та число кривих залежить від рівня переваги з виконавчої точки зору. Мається на увазі, що є кожна підходяща та проста крива, яка потрібна для обох рівнів менеджменту - макроекономічного та середнього.

Число кривих в місячному прогнозуванні еквівалентне числу місяців. В табл. 1 представлено число кривих, що можуть бути потрібними для кожного типу прогнозування.

Таблиця 1. Кількість кривих відповідно до прогнозування.

Тип прогнозування	Число кривих
Сезонно	4
Місячно	12
Щоденно	365
Погодинно	$365 \cdot 24 = 8760$

Таблиця 2 охоплює всі функції, які представлені на рис. 8, та визначені помилки, для місячного споживання в липні.

Таблиця 2. Застосування функцій та оцінка відхилення.

Тип	Функції	Розрахований перший період, %	Розрахований другий період, %
N = 2	$4861805 + (7510764/55) * x + (1432427/33) * x^2$	0.5492805	2.543413
N = 3	$48411356/9 - (9685762/27) * x - (4655111/594) * x^3 + (31870117/198) * x^2$	4.3719096	7.501686
N = 4	$43159667/9 + (3400606643/7722) * x + (307101787/7722) * x^3 - (808153363/5148) * x^2 - (1361549/572) * x^4$	9.9237772	22.95500
N = 5	$8939105/2 + (8656859813/8580) * x - (37506239/3432) * x^4 + (405737645/3432) * x^3 - (547931279/1144) * x^2 + (533399/1560) * x^5$	6.8223972	11.44497
N = 6	$55870049/9 - (303346445/117) * x + (2406781/5400) * x^6 + (2042424851/14040) * x^4 - (8044080353/10296) * x^3 + (415100836673/193050) * x^2 - (60976109/4680) * x^5$	9.7158712	68.34619
EXP	$4.4872702472608 * 10^{-6} * \text{EXP}(0.819846888304660572 * x)$	3.0785684	2.391696

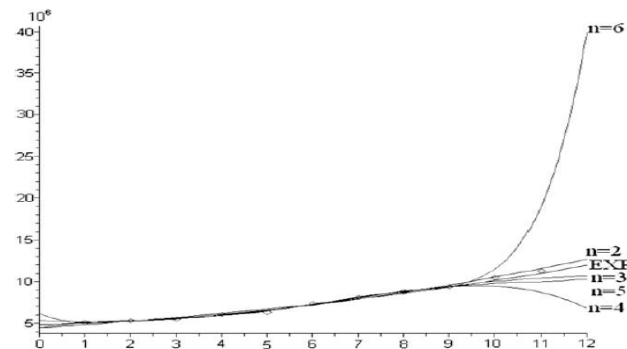


Рисунок. 8. Набір функцій, які застосовані для даних по місячному електроспоживанню в липні.

На рис. 9 проілюстровано повне щомісячне споживання енергії з відповідними квадратичними функціями описуючого полінома. Ці функції разом з величиною похибки прогнозування перелічені в таблиці 3.

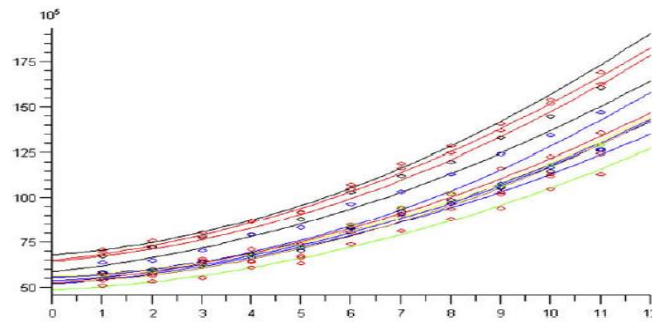


Рисунок. 9. Все місячне споживання електроенергії та відповідні квадратичні поліноми функцій.

Таблиця 3. Місячна функція з величиною похибки.

Місяць	Рівняння	Розрахований перший період	Розрахований другий період
Січень	$39258945/7 + (41862993/385) * x + (4032157/77) * x^2$	1.9205196	3.5490691
Лютий	$117403726/21 + (150955009/1155) * x + (11488496/231) * x^2$	3.35832581	2.9147981
Березень	$218140535/42 + (193777963/924) * x + (12435993/308) * x^2$	1.1232767	1.14911206
Квітень	$4861805 + (7510764/55) * x + (1432427/33) * x^2$	0.5492805	2.5434139
Травень	$110039242/21 + (90241017/385) * x + (10643447/231) * x^2$	3.0248309	3.6617034
Червень	$41257917/7 + (264136381/924) * x + (15302057/308) * x^2$	1.8920531	2.2745900
Липень	$136342051/21 + (63754657/210) * x + (2385193/42) * x^2$	0.05143767	2.5308165
Серпень	$142993840/21 + (1022729383/4620) * x + (61929913/924) * x^2$	2.0735758	2.4200558
Вересень	$12926147/2 + (672978/11) * x^2 + (71984897/330) * x$	1.9547651	1.1137334
Жовтень	$116638423/21 + (116849294/1155) * x + (14540678/231) * x^2$	4.7772490	5.1702471
Листопад	$73647751/14 + (36285421/308) * x + (16251341/308) * x^2$	3.3786321	4.0663526
Грудень	$75295901/14 + (178300424/1155) * x + (22403603/462) * x^2$	2.5046666	2.6311268
Загальна похибка		2.217384	2.83541823

На рис. 9, представлена річна структура споживання, з місячним споживанням для квітня, денним споживанням для 1-го квітня та погодинним споживанням для 21-00 1-ого квітня, які намальовані разом. Для кращого порівняння та співрозмірності, щомісячна, денна та погодинна інформація була помножена на постійну величину, відповідно 13,390 та 6000. Це показує помітні результати та демонструє, що якщо вся статистика споживання була розділена на основі виміряного часу, вони майже мають однаковий тренд. Це не є несподіванкою тому, як змінні оточуючого середовища у всіх кривих були усунені, та всі криві слідуєть одним економічних та соціальним змінним.

Висновки. Макроекономічне прийняття рішень зазвичай використовується для щорічних записів споживання та для того, щоб спрогнозувати та визначити ефективні соціально-економічні змінні на основі моделі споживання. Було продемонстровано, що місячні, денні та погодинні моделі споживання мають однакове розподілення.

Такий підхід може бути також використаний до інших даних по енергоспоживанню, які мають вплив за рахунок змін в навколишньому середовищі в інших сферах - наприклад, споживання нафти та газу.

Література

1. Choueiki, M. H., Clark, A. M.-C. & Stanley, C. A., 1997. Implementing a weighted least squares procedure in training a neural network to solve the short-term load forecasting problem.. IEEE Trans PWRs, p. 1689–94.
2. Hong-Tzcr, Y. & Chao-Mingo, H., 1998. A new short-term load forecasting approach using self-organizing fuzzy armax models.. IEEE Trans PWRs, p. :217–25.
3. Yao, S., Song, Y., Zhang, L. & Cheng., X., 2000. Wavelet transform and neural networks for short-term electricity load forecasting.. Energy Convers Manage.
4. Center., P. D., 2006. Planning and Budget Organization Estimate demand for energy in Iran. Technical Report.

УДК 681.515+62-551.453

к.т.н., доцент **ТИШЕВИЧ Б.Л.***Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"***ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ**

Пропонується інтелектуальна система управління, на базі штучної нейронної мережі з використанням нейронів із елементами затримки, для прогнозування надкороткострокового навантаження в енергосистемах.

Ключові слова: інтелектуальна система управління, штучна нейронна мережа, елемент затримки, короткострокове прогнозування.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Предлагается интеллектуальная система управления, на базе искусственной нейронной сети с использованием нейронов с элементами задержки, для прогнозирования краткосрочной нагрузки в энергосистемах.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, искусственная нейронная сеть, элемент задержки, краткосрочное прогнозирование.

NEURAL NETWORK FOR SHORT-TERM FORECASTING OF ELECTRIC LOAD IN THE POWER SYSTEM

In this article offers intelligent control system based on artificial neural network with neurons with delay elements, for predicting the short-term load in power systems.

Key words: intelligent control system, artificial neural network, a delay element, short-term forecasting.

Вступ. Прогнозування навантаження в останні роки є одним з основних напрямків дослідження в енергетиці. На нерегульованому, конкурентному енергоринку, енергогенеруючі компанії зберігають свої базові резерви близько до мінімальної величини відповідно до вимог незалежного системного оператора. Це створює необхідність точного прогнозування миттєвого навантаження на найближчі кілька хвилин. Точний прогноз в значній мірі полегшує завдання генерації та керування навантаженням. В наслідок цього має сенс розробляти структури штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування короткочасного навантаження. При цьому можна використовувати ШНМ із розподіленими лініями затримки (РЛЗ).

Надійна робота енергосистеми та раціональне використання її ресурсів потребують прогнозування навантаження в широкому діапазоні часу від декількох хвилин до декількох днів. Точне прогнозування короткострокового навантаження (ПКН) має важливе значення для планування графіків запуску та відключення енергоблоків, резервного планування та управління навантаженням. Окрім цього, управління частотою навантаження і економічне надання потужності в енергосистему потребує прогнозів навантаження в більш короткі терміни часу, від однієї хвилини до декількох десятків хвилин. Таке прогнозування можна визначити як прогнозування надкороткострокового навантаження (ПНКН). Цей прогноз, інтегрується з інформацією про вартість генерації, цінами на енергію на спотовому ринку, транспортних можливостей ліній

енергопостачання та наявності резервів у незалежних операторів енергосистеми, які використовуються для визначення найкращої стратегії для використання наявних енергетичних джерел. Дуже короткострокове прогнозування навантаження набуває все більшого значення в дерегулюванні електроенергетики.

Розроблено багато методів для короткострокового прогнозування енергонавантаження [1]. Ці методи в основному поділяються на дві категорії: класичні [2], та штучного інтелекту [3]. Останнім часом, методи штучного інтелекту, які засновані на використанні ШНМ були застосовані до ПНКН. Перевага використання ШНМ полягає в їх здатності визначати залежності безпосередньо з історичних даних без необхідності вибору відповідної моделі.

Є кілька типів ШНМ, які були застосовані для прогнозування навантаження. Багатошарова ШНМ прямого зв'язку з одним прихованим шаром нейронів [4]. Але застосування ШНМ у ПНКН вимагає іншого підходу [5]. Замість моделювання взаємовідносин між навантаженням, часом, погодними умовами та іншими факторами які впливають на навантаження, краще зосередитись на екстраполяції картини навантаження з використанням даних від нещодавнього спостереження до найближчого майбутнього.

Мета дослідження. Для виконання ПНКН була запропонована ШНМ з використанням РЛЗ, яка забезпечує високу точність із швидкодією при низькій чутливості до якості навчальних даних у всьому діапазоні навантажень та погодних умов.

Шари ШНМ для ПНКН складаються із елементарних нейронів з РЛЗ, як зображено на рисунку.1

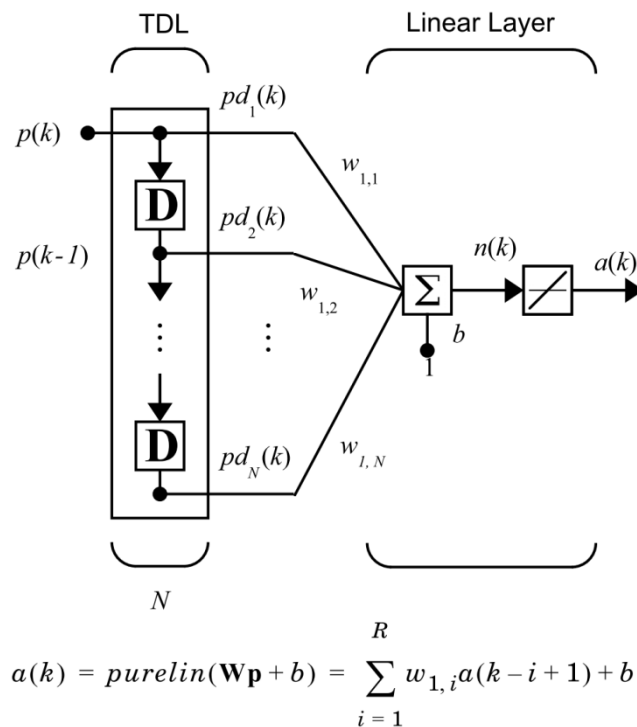


Рисунок.1. Елементарний нейрон з РЛЗ.

Як видно з рисунку 1, кожен нейрон виконує дві функції: підсумовує зважені вхідні сигнали з елементів затримки **D** і створює вихідний сигнал, який є функцією

зваженої суми. Краще зосередитись на екстраполяції спостережуваній останнім часом картина навантаження на найближче майбутнє ПНКН. Вхідні сигнали поступають на входи шару ШНМ із РЛЗ яка складається із декількох шарів як зображено на рисунку 2.

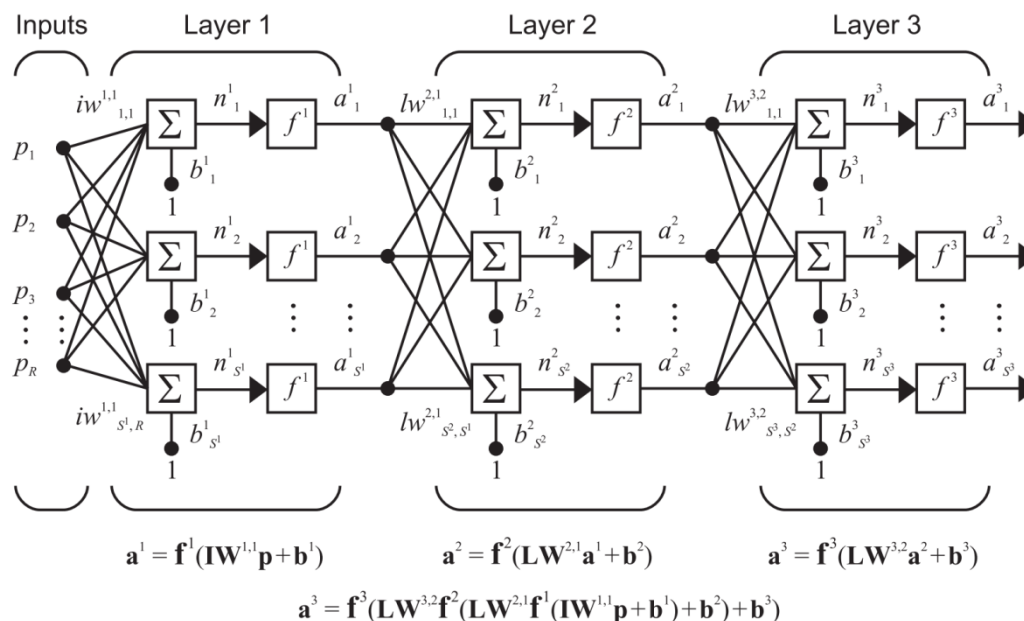


Рисунок 2. Багатошарова ШНМ

На виході РЛЗ формується вектор із розмірністю R , який складається із вхідних сигналів, затриманих на один такт часу T . Дійсне навантаження прогнозується та залежить від суми зважених входів. Вони менш чутливі до вимог наявності представницької вибірки навчальних даних всього спектру можливого навантаження та погодних умов.

Функція, яка також називається функцією активації (ФА) визначає рівень вихідного сигналу нейрона. Серед великої кількості ФА дослідження проводилися із лінійною, сигмоїдальною та гіперболічною тангенційною функціями. Перевага двох останніх була доведена експериментально. Лінійна функція не забезпечувала зниження складових шумів для вхідних сигналів. Інші ФА не забезпечували динамічної стійкості ШНМ.

Впровадження системи прогнозування навантаження, полягало у виконанні різних завдань таких як - вибір архітектури ШНМ, вибір вхідних змінних, нормалізація даних, а також навчання мережі.

Результати дослідження. В результаті досліджень було обрано тришарову повно-пов'язану ШНМ зворотного розповсюдження. Вона вміщує вхідний шар, прихований шар і вихідний шар нейронів. Поширення сигналу допускається тільки від вхідного шару до прихованих шару і від прихованого шару до вихідного. Фактичні навантаження прогнозується і використовується в якості вхідних змінних. Вихід ШНМ це бажані прогнозовані навантаження на 6-хв вперед. Кількість входів, число прихованих вузлів, ФА, масштабування схеми і методи навчання впливають на прогнозування та

якість роботи і, отже, повинні обиратись дуже ретельно.

Вхідні змінні складались із дійсного навантаження у поточному часі із затримкою від 1 до 9 часових періодів.

Після того, як історичні дані зібрані, наступний крок у навчанні полягав у нормалізації всіх даних таким чином, щоб кожне значення потрапляло в діапазон від 0 до 1. Це зроблено для того, щоб запобігти ШНМ ввійти у режим насичення.

Навчання в ШНМ означає зміну її параметрів на основі навчальних даних. Серед різних методів навчання, алгоритм зворотного розповсюдження похибки (ЗРП), є найбільш контрольованим метод навчання. Він найпопулярніший і широко використовується через його обчислювальну простоту, легкість в реалізації та добрі результати, для вирішення великої кількості проблем в різних областях застосування. Внаслідок вищезначеного, для навчання було використано метод ЗРП.

Для визначення результатів випробувань були використані історичні дані навантаження однієї з підстанцій в системі енергопостачання районів м. Києва в червні 2012 року. ШНМ складалась із 10 входів, 10 прихованих вузлів, і одного виходу. Навчання здійснювалось із використанням даних для останнього тижня, які потім використовувались для прогнозування 6-хвилинного попереднього навантаження для наступного тижня. У якості ФА для нейронів скритого шару була обрана тангенціальна сигмоїдальна функція. Для вихідного шару була обрана лінійна ФА. Продуктивність навчання відповідно швидкої конверсії без коливань була досягнута через відносно великі значення швидкості навчання і імпульс, які були обрані на основі декількох випробувань, проведених з різними величинами цих двох параметрів. Результати ПНКН представлені на рисунку 3.

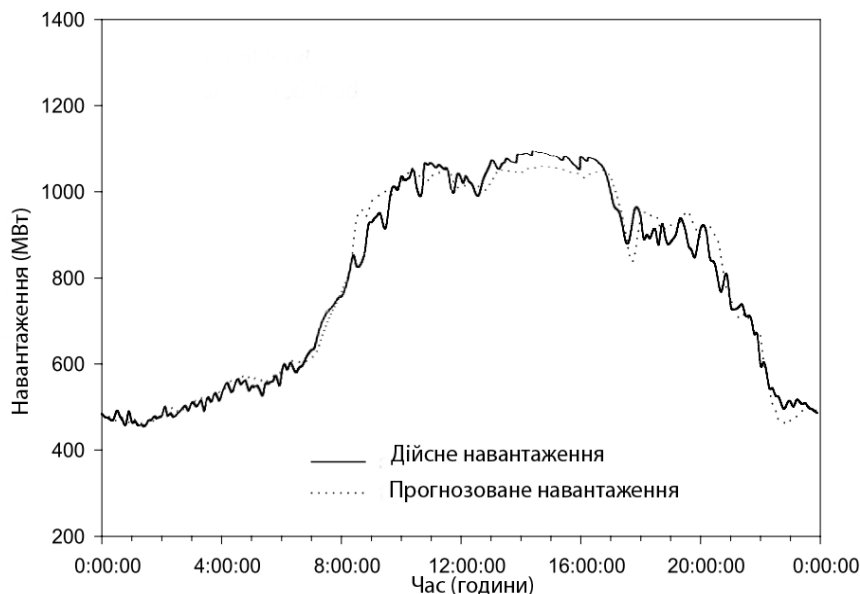


Рисунок 3. Дійсні та прогнозовані результати ПНКН.

Ці результати показують, що запропонована система ПНКН на ШНМ забезпечує добрі результати до дуже короткострокового прогнозу навантаження в системах енергоживлення.

Висновки. Новим у застосуванні ШНМ для ПНКН є використання тришарової мережі прямого розповсюдження із елементами затримки та навчанням з алгоритмом ЗРП. При цьому, замість того, щоб працювати з реальними навантаженнями, ШНМ

зосередилась на моделюванні динаміки навантаження. Результати прогнозування показують, що ця модель може задовольнити потреби ПНКН, але може потребувати довести точність прогнозу та підвищення продуктивності ШНМ. Нейронна мережа була успішно використана для миттєвого прогнозу навантаження в діапазоні від декількох одиниць до декількох десятків хвилин. Це доводить ефективність застосування ШНМ для прогнозування дуже короткострокового навантаження.

Література

1. Kim, K., Youn, H.S., Kang, Y.C.: Short-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method. IEEE Trans. on Power Systems , 15 (2000) 559-565
2. Amjady, N.: Short-Term Hourly Load Forecasting Using Time-Series Modeling with Peak Load Estimation Capability. IEEE Trans. on Power Systems , 16 (2001) 498-505 Application of Neural Networks for Very Short-Term Load Forecasting 633
3. Khotanzad, A., Enwang Zhou, Elragal, H.A: Neuro-Fuzzy Approach to Short-Term Load Forecasting in a Price-Sensitive Environment. IEEE Trans. on Power Systems ,17 (2002) 1273-1282
4. Hippert, H.S., Pedreira, C.E., Souza, R.C.: Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: a Review and Evaluation. IEEE Trans. on Power Systems , 16 (2001) 44-55
5. Charytoniuk, W., Chen, M.-S.: Very Short-Term Load Forecasting Using Artificial Neural Networks. IEEE Trans. on Power Systems , 15 (2000) 263-268

УДК 621.3.078.3

Закладний О.М., Прядко С.Л., Шевель Є.Д., Буря О.О.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ШАХТНИХ РУЧНИХ БУРИЛЬНИХ МАШИН

Проведено аналіз методів зниження енергоспоживання шахтних ручних бурильних машин, запропонована система регулювання швидкості обертання свердла на базі системи електропривода за схемою ПЧ-АД. Розроблено схему шахтного пускового агрегату з вбудованим перетворювачем частоти.

Ключові слова: Енергозбереження, регулювання частоти, система керування, пусковий шахтний агрегат.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНЫХ РУЧНЫХ БУРИЛЬНЫХ МАШИН

Проведен анализ методов снижения энергопотребления шахтных ручных бурильных машин предложена система регулирования скорости вращения сверла на базе системы электропривода по схеме ПЧ-АД. Разработана схема шахтного пускового агрегата со встроенным преобразователем частоты.

Ключевые слова: Энергосбережение, регулирование частоты, система управления, пусковой шахтный агрегат.

ENERGY-SAVING ELECTRIC DRIVE SYSTEM SHAFT MANUAL DRILLING MACHINES *the analysis of methods to reduce energy consumption shaft manual drilling machines proposed system of regulation of speed of rotation of the drill on the basis of the electric drive system according to the scheme of the FC-AD. The scheme of the mine launcher unit with integrated frequency inverter*

Keywords: energy Saving, frequency control, control system, starting shaft Assembly.

Вступ

Останнім часом в усіх галузях промисловості велика увага приділяється ресурсоенергозбереженню. Для вугільної і рудовидобувної промисловості України, що споживають значну частину електроенергії, яка виробляється в країні, вирішення цього питання особливо актуальне. Непродуктивні витрати електроенергії в шахтах визначаються застарілими системами електроприводів шахтних стаціонарних установок, які споживають до 60% енергії і модернізації яких приділяється основна увага. Але в технологічних схемах шахт є ланки, які також потребують уваги. Так, близько 40 % підготовчих і розкривних виробок при підземному способі видобутку корисних копалин виконується буро-підривним способом (БПС). Крім цього, буріння шпурів здійснюється під анкерне кріплення при комбайнових прохідницьких роботах, а також при будівництві підземних комунікацій. Бурильні машини досі не обладнані регульованим електроприводом і не можуть працювати в оптимальних режимах буріння, що призводить до значних матеріальних та енергетичних втрат, а також погіршення санітарно-гігієнічних умов праці шахтарів.

Основні завдання:

- Визначення основних причин низької ефективності бурильного устаткування;
- Аналіз методів підвищення енергоефективності бурильних машин;
- Вибір способу регулювання обертання та осьового зусилля;

- Розроблення модернізованої структурної схеми шахтного пускового агрегату;

Мета і постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності буріння за рахунок впровадження раціональної системи електроприводу бурильних машин і модернізації пускових шахтних агрегатів (АПП), від яких живляться бурильні машини. Впровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання дозволяє виконати той самий обсяг робіт, з меншими витратами енергії.

. Буріння по неміцному вугіллю і породах середньої міцності ($f \leq 8$) проводиться обертальними бурильними машинами з ручною подачею (електросвердлами), які обладнані

електродвигуном з короткозамкненим ротором, потужністю від 0,9 до 1,4 кВт. У разі використання одноступінчастого редуктора швидкість обертання шпинделя свердла становить 710–960 об/хв, для двоступінчастого редуктора – від 330 до 690 об/хв. В останньому випадку більш високий обертальний момент дозволяє застосовувати електросвердло для буріння по міцних і в'язких марках вугілля.

Переваги обертального буріння: безперервність процесу, що забезпечує високу продуктивність; руйнування породи великим зрізом, яке зменшує пилоутворення та питомі енерговитрати; відсутність вібрації машин під час роботи. До недоліків слід віднести обмежену область застосування по міцності гірських порід. Однак ступінчасте регулювання частоти обертання бурової штанги не дозволяє повною мірою вирішити завдання вибору раціональних режимних параметрів, особливо по породах підвищеної міцності й абразивності. Вибір раціональних режимних параметрів, таких як частота обертання штанги n і осьове зусилля F_{oc} , та підтримання їх у процесі буріння дозволить підвищити ефективність експлуатації інструменту й бурильних машин. На даний час досягнення в галузі керованого привода і мікропроцесорної техніки дозволяють на якісно новому рівні підійти до вирішення даного завдання і створювати гірниче обладнання нового технологічного рівня, що підвищить продуктивність праці в гірничодобувній промисловості.

За контрольовані параметри при обертальному бурінні шпурів свердлами приймають осьове зусилля (F_{oc}), частоту обертання(n), а також інтенсивність очищення шпура. При збільшенні міцності порід осьове зусилля на свердлі зростає, а частота обертання зменшується. При неякісному очищенні вибою шпура зростає зношення бурового інструменту, і швидкість буріння різко знижується. Оптимальні режимні параметри – за О. Д. Алімовим та Л. Р. Дворніковим[1] - мінімальне осьове зусилля, яке необхідне для ефективного об'ємного руйнування порід

$$F_{oc} \geq 350 \cdot f,$$

де f - коефіцієнт міцності гірської породи по Протодіяконову а частота обертання визначається залежністю:

$$n = 36 / f, \text{ c}^{-1}$$

або

$$n = 12 \cdot 0,8 f, \text{ c}^{-1},$$

Першу формулу застосовують у виборі режимів для неміцного вугілля і порід з $f \leq 4$, а другу – для буріння більш міцних порід. Формули справедливі для шпурів діаметром 40 – 45 мм. Величина подачі інструмента на один оберт під дією осьового зусилля:

$$h = (9 - 0,5 f) F_{oc} \cdot 10^{-7}, \text{м}$$

де F_{oc} – осьове зусилля, Нм; f – коефіцієнт міцності порід.

Механічна швидкість буріння:

$$V = hn, \text{ м/с}$$

где n – частота обертання с^{-1} ;

Потужність на різці дорівнює:

$$P = 0,7 \cdot 10^8 \cdot S \cdot v \cdot f \text{ Вт}$$

де S – площа перерізу шпуру, м^2 , v – швидкість буріння шпурів, м/с .

Максимальне осьове зусилля обмежується міцністю існуючого бурового інструменту і дорівнює 15 – 20 кН. Існуючі бурильні машини допускають питому подачу h від нуля до 10 – 15 мм/об. Тим часом, усереднені значення $h = 2,5 - 4,5$ мм/об. Вони обмежені граничними величинами осьових сил та обертальних моментів, які можуть витримати різці, не руйнуючись.

Безконтактний шахтний пусковий агрегат для живлення бурильних машин

Аналіз вищенаведених виразів показує, що потужність бурильної машини на різці свердла істотно залежить від швидкості обертання та його діаметра. На цей час живлення ручних бурильних машин різних типів (СЭР-19М, ЭР14Д-2М, ЭР18Д-2М та ін.), які відрізняються лише типами редукторів, потужністю двигунів (до 2кВт) та швидкістю обертання шпинделя здійснюється від пускових шахтних агрегатів.

Шахтний пусковий агрегат (АПШ) призначений для перетворення загальношахтної трифазної змінної напруги 380 В або 660 В з частотою 50 Гц у напругу 133 В для живлення світильників потужністю не більше 0,2 кВт та двох ручних гірничих електросвердл напругою 127 В трифазного змінного струму і потужністю не більше 1,6 кВт. Іскробезпечна схема управління забезпечує захист електричних кіл самого агрегату від струмів короткого замикання, а також захист персоналу, що обслуговує агрегат, і електросвердла від ураження струмами витоку. Структурну схему АПШ наведено на рис.1.

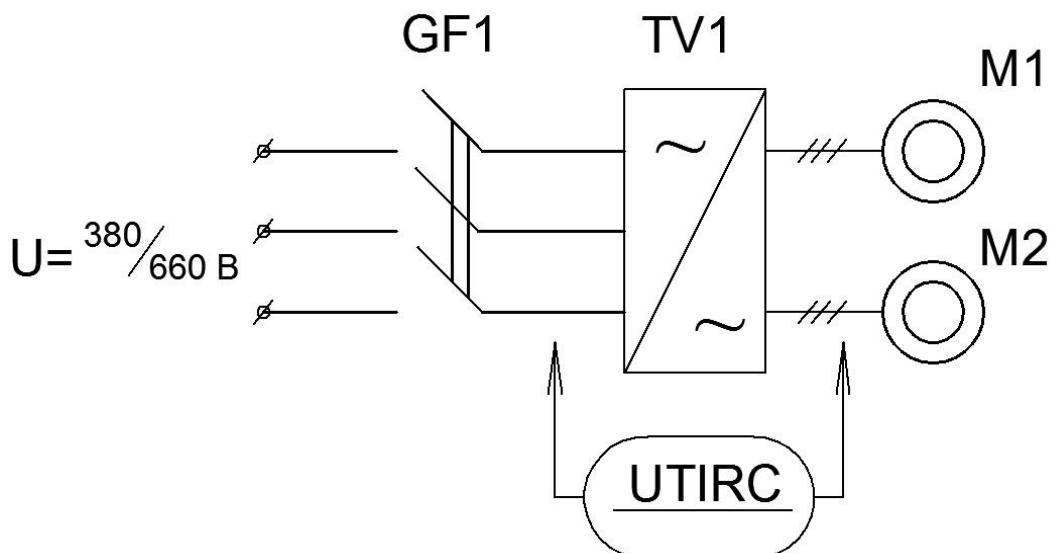


Рис.1 Структурна схема шахтного пускового агрегата АПС-1

Де TV1- силовий трансформатор

GF1-автоматичний вимикач

UTIRC – система управління реєстрації

M1 і M2 – електродвигуни ручних сверл

Аналіз результатів впровадження систем регульованого електропривода на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором показує, що найбільшим попитом користується привод малої (до 3,7 кВт) та середньої (до 37 кВт) потужності. Основні вимоги до силової напівпровідникової частини електропривода – мінімальні габарити в поєднанні з високими енергетичними характеристиками і абсолютною надійністю. Силкові модулі високого ступеня інтеграції отримали назву «інтелектуальних модулів», мікросхема яких включає в себе кола управління, силові ключі перетворювача, гальванічну розв'язку і захист. Найбільше поширення отримали інтелектуальні модулі фірм Mitsubishi, Fairchild, International Rectifier. Інтелектуальний модуль IRAMX20UP60A фірми International Rectifier розрахований на керування електроприводом потужністю від 0,75 до 2,2 кВт - номінальний струм 20А і має габаритні розміри 78x32x6 мм [2]. Такі модулі легко вбудовуються в АПС, не змінюючи його принципової електричної схеми, а мікросхема для кращого тепловідведення закріплена на внутрішній частині корпусу АПС. Авторами пропонується структурна схема модернізованого АПС, представлена на рис.2

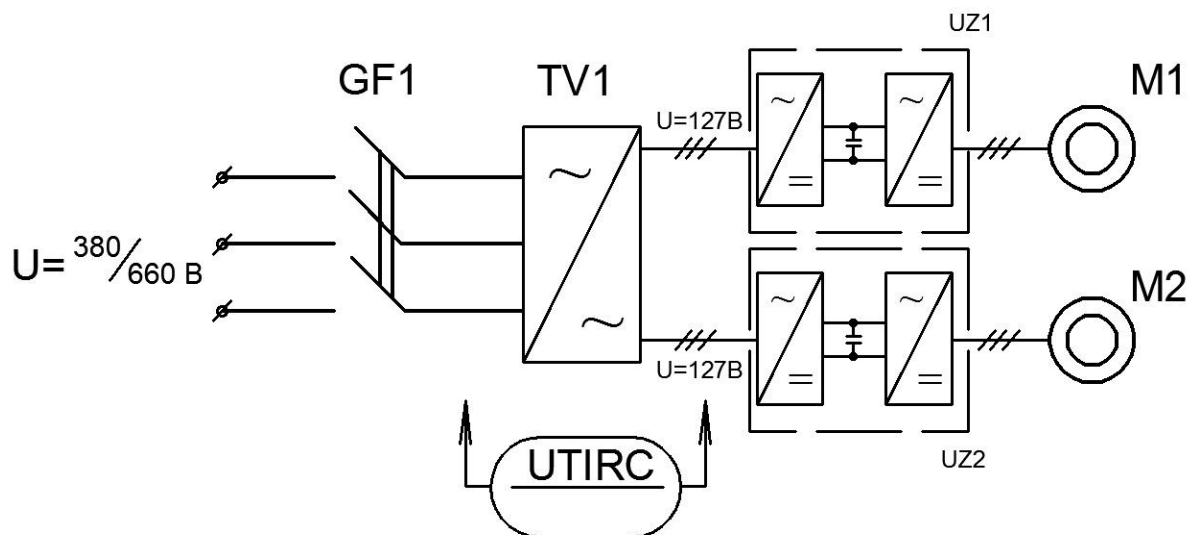


Рис. 2 Структурна схема модернізованого шахтного пускового агрегата АПШ-1
UZ1, UZ2- частотні перетворювачі для двигунів бурильних машин

Застосування частотно-регульованого асинхронного електропривода дозволяє вирішити ряд технологічних завдань (знизити рівень вібрації, зменшити пилоутворення) і одночасно за допомогою системи автоматичного управління (САУ) швидкістю двигуна з підтримання сталого осьового зусилля істотно знизити енергоспоживання та витрати ресурсів.

Зважаючи на переваги приводу за системою ПЧ-АД було вибрано саме цей спосіб регулювання.

Дослідження бурильної машини за допомогою математичної моделі

Для дослідження динаміки системи в додатку Simulink розроблена модель бурильної машини, що дозволяє проводити моделювання з урахуванням і без урахування обмежень регулятора осьового зусилля та з можливістю подачі на вхід системи задання різного виду [4].

Проектована система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром осьового зусилля. Структурна схема системи представлена на рис. 3

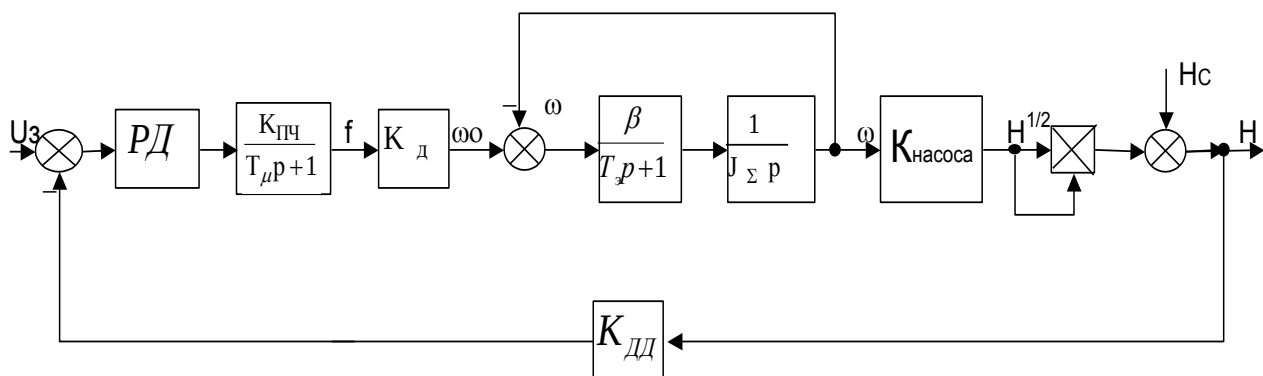


Рис. 3- Структурна схема електромеханічної системи.

На схемі:

$$K_{\text{д}} = \frac{2\pi}{p},$$

$K_{\text{дд}}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по осьовому зусиллю

$$K_{\text{дд}} = \frac{U_3}{F_{\text{ос}}}$$

Для дослідження динамічних режимів роботи АД, використано математичну модель в осях α - β [3]. Система диференціальних рівнянь електричного рівноваги має такий вигляд:

$$\frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} = U_m \sin(\omega t) - K_{s1}\Psi_{s\alpha} + K_{s2}\Psi_{r\alpha}$$

$$\frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} = U_m \cos(\omega t) - K_{s1}\Psi_{s\beta} + K_{s2}\Psi_{r\beta}$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = -K_{r1}\Psi_{r\alpha} + K_{r2}\Psi_{s\alpha} + \omega_r \Psi_{r\beta}$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = -K_{r1}\Psi_{r\beta} + K_{r2}\Psi_{s\beta} + \omega_r \Psi_{r\alpha}$$

$$K_{s1} = \frac{r_s L_r}{L_s L_r - M^2}$$

$$K_{s2} = \frac{r_s M}{L_s L_r - M^2}$$

$$K_{r1} = \frac{r_r L_s}{L_s L_r - M^2}$$

$$K_{r2} = \frac{r_r M}{L_s L_r - M^2}$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = M_{\vartheta} \frac{p}{J} - 0.01 M_n \frac{\omega_r}{\omega_{rн}} \frac{p}{J} - M_c \frac{p}{J}$$

$$M_{\vartheta} = \frac{3}{2} \frac{pM}{L_s L_r - M^2} (\Psi_{s\alpha} \Psi_{r\beta} - \Psi_{s\beta} \Psi_{r\alpha})$$

На основі цих рівнянь були створені моделі ПЧ-АД в пакеті Simulink.

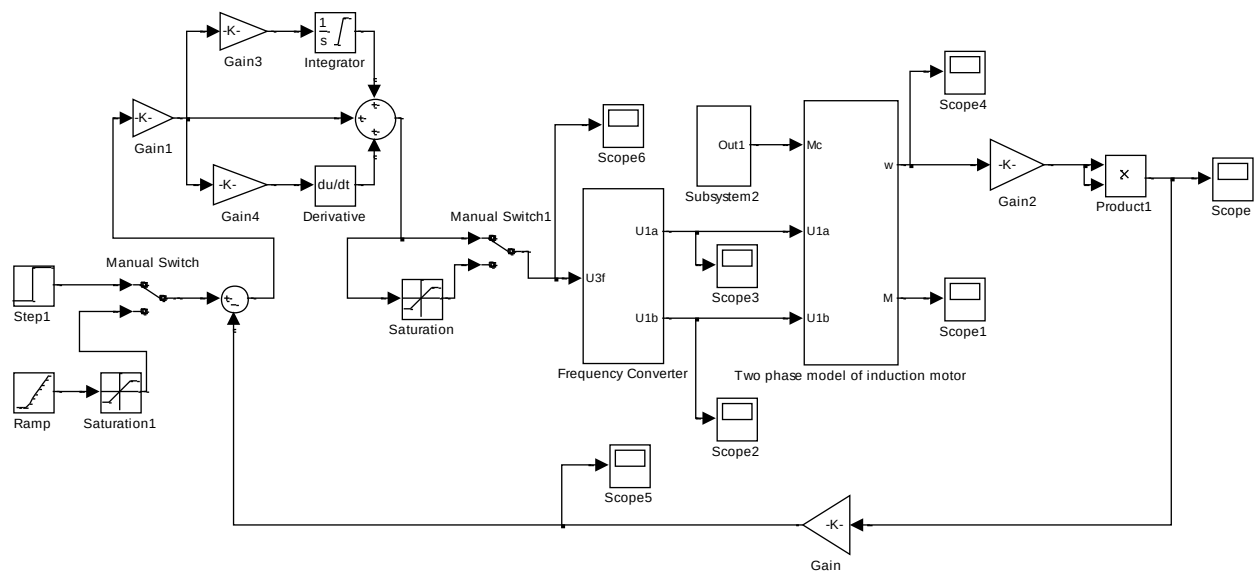


Рисунок 4 - Схема моделі бурильної машини

Регулятор осьового зусилля реалізуємо за допомогою програмного універсального ПД-регулятора, вбудованого в перетворювач частоти. Перевіркою результатів синтезу регулятора буде моделювання системи в пакеті MATLAB.

Для моделювання системи управління насосної установки скористаємося додатком SIMULINK пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB 7.1 [4].

Проаналізуємо дану систему в наступних режимах: без обмеження регулятора тиску і з його обмеженням:

- Пуск стрибком на холостому ходу, $F_{oc}=0$
- Накид навантаження, $F_{oc} = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}$
- Плавний пуск від датчика інтенсивності та накид I навантаження;

У даній роботі прийнято, що вплив гірського масиву на АД урахується ступінчастим характером накиду F_{oc} . Оскільки параметри електромережі залежать від конкретної конфігурації і зазвичай забезпечують плавне наростання F_{oc} , то цей випадок є найбільш важким.

Облік обмеження здійснюється за допомогою блоку Saturation. Тобто для випадку з обмеженням рівень обмеження виставляється 20.

Перемикачем Manual Switch-1 комутується режим: вхідний сигнал: стрибок - датчик інтенсивності (лінійне наростання сигналу до заданого рівня); ManualSwitch-2 включає режим обмеження; ManualSwitch-3 здійснює накид навантаження.

Аналіз динамічних режимів без урахування обмежень

Графік зміни осьового зусилля, при реакції на вхідний стрибок без урахування обмежень на виході регулятора тиску наведено на рис. 5.

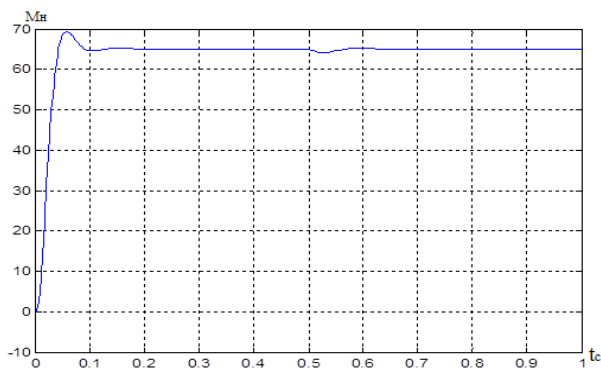


Рисунок 5

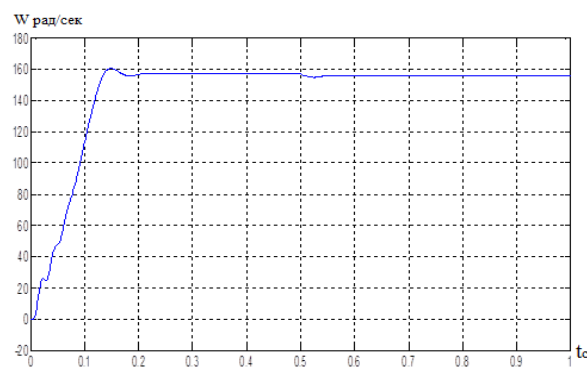


Рисунок 6

На рис. 6 зображено графік переходного процесу зміни швидкості, при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження.

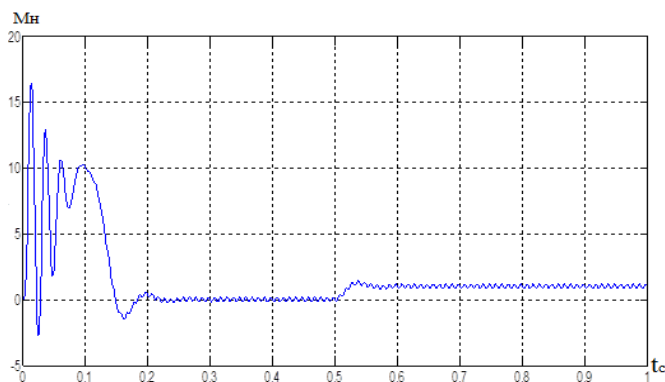


Рисунок 7

На рисунку 7 зображено графік переходного процесу зміни моменту, при реакції на стрибок сигналу завдання без урахування обмежень на виході регулятора тиску і накид навантаження.

Висновки. Виходячи з результатів аналізу методів зниження енергоспоживання, вибрано метод регулювання частоти обертання шпинделя бурильної машини. Наведена система з підпорядкованим регулюванням є достатньо ефективною та забезпечує необхідну якість регулювання. Основні показники якості переходних процесів свідчать про достатню точність синтезованого регулятора Фос.

Застосування регульованого електропривода за системою ПЧ - АД дозволяє значно підвищити енергоефективність роботи бурильної машини, зменшити витрати бурового інструменту та поліпшити умови праці бурьників.

Література

1. Алимов, О.Д. Бурильные машины / О.Д.Алимов, Л.Т. Дворников. - М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
2. В. Баширов Интеллектуальные силовые модули International Rectifier Силовая электроника №2 2005.
3. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 1987. 248 с.
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

УДК 62-83-52.003(082)

О.М. ЗАКЛАДНИЙ, Д.Ю. МОГИЛАТ

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖУВАЧА

Проведено аналіз та порівняння електроприводів з різними типами електродвигунів (постійного струму, асинхронний, вентильний з постійними магнітами). Показано, що найбільш перспективним є електропривод з вентильним двигуном з постійними магнітами. Було досліджено дві віртуальні моделі електроприводу з ВД у середовищі MATLAB та обрана краща за високими динамічними показниками.

Ключові слова: Вентильний двигун, тяговий електропривод, електронавантажувач, система керування, віртуальна модель електроприводу.

Вибір того чи іншого тягового електродвигуна в електроприводі електронавантажувача, насамперед, залежать від галузі застосування електронавантажувача і вимог, що пред'являються до нього. Незважаючи на те, що кожен тяговий електропривод пред'являє власні вимоги до системи управління і має оптимальні характеристики лише в певному діапазоні частот обертання, до нього пред'являються такі основні вимоги: простота виготовлення, надійність, зручність обслуговування, легкість регулювання, простота системи керування, високий момент у всьому діапазоні частот обертання, придатність для рекуперативного гальмування, високий ККД.

Дане дослідження присвячене питанням вибору типу електричних двигунів для їх практичного застосування у електронавантажувачах. Метою даного дослідження є обґрунтування застосування електроприводів з вентильними двигунами з постійними магнітами у складі електронавантажувачів, для цього буде проведено порівняльний аналіз привода з ВД. Головною задачею є дослідження двох віртуальних моделей електроприводів з ВД у середовищі MATLAB та вибір кращої з них по швидкодії та електродинамічним показникам з урахуванням третього способу керування ВД.

Означимо напрямки підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів.

Перший напрямок полягає в економії електроенергії електронавантажувачами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу. Для цього потрібно вжити такі заходи: контроль стану електронавантажувача; узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження; підвищення ККД електронавантажувача; забезпечення нормованого завантаження; контроль стану електронавантажувача; регулювання продуктивності електронавантажувача; застосування Li-ion АКБ.

Другий напрямок полягає у виборі раціонального типу електропривода для електронавантажувача. Сюди входять: удосконалення процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації; перехід на енергозберігаючі двигуни та двигуни поліпшеної конструкції; використання вентильного двигуна; підвищення швидкодії електропривода; повернення енергії до АКБ при гальмуванні. Удосконалювання технологічних процесів безпосередньо пов'язано із застосуванням регульованого електропривода. Це сприяє вирішенню завдань забезпечення оптимальних режимів роботи механізмів, зростання продуктивності праці, підвищення ефективності використання енергії, надійності й строку служби устаткування.

Третій напрямок полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода. Сюди входять: вибір раціонального діапазону регулювання швидкості електропривода в залежності від технологічних умов роботи електронавантажувача; вибір раціонального способу регулювання швидкості в залежності від характеру зміни навантаження; мінімізація струму і втрат енергії СДПМ при зміні навантаження;

оптимізація динамічних режимів.

Для визначення найбільш підходящого електроприводу для електронавантажувача розглянемо три типи електроприводів, котрі використовувались в електричних навантажувачах, а саме: привод постійного струму (ППС), частотно-регульований привод (ЧРП), привод з вентильним двигуном (Рис. 1).

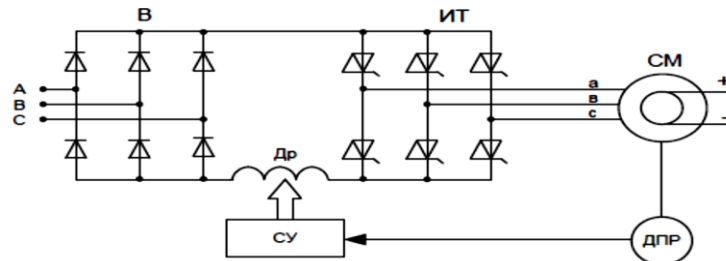


Рисунок 1 – Схема електроприводу з ВД

Результати порівняння було зведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні порівняльні характеристики тягових електроприводів з асинхронним, вентильним і постійним тяговими двигунами

Параметри	Тип тягового електроприводу з двигуном		
	постійного струму	з асинхронним двигуном (ЧРП)	з ВД зі збудженням від постійних магнітів
Максимальна потужність, кВт	40	40	40
Максимальний струм, А	410	500	192
Частота обертання			
- номінальна	2200	3000	5000
- максимальна	6700	8000	13000
Маса тягового двигуна, кг	92	70	26,4
Маса вентильного перетворювача, кг	8	22	22
Маса ЕП, кг	109	92	48,4
ККД, %	75	85	94
Вартість ЕП, у.о.	3500	5000	5400

Порівняльний аналіз показав, що найбільш перспективним є електропривод з ВД з постійними магнітами, який в 1,5-2,5 рази легше порівнюваних електроприводів, має максимальний ККД і кращі регульовальні характеристики.

Розглянемо три основні способи керування ВД.

Перший (найпростіший) спосіб керування полягає в підтриманні постійного значення кута випередження $\beta_0 = \text{const}$. При цьому джерелом напруги синхронізації служить ДПР. Фазовий зсув між першою гармонікою струму і ЕРС холостого ходу визначається наступним чином :

$$\psi_1 = \varphi + \theta = \beta_0 - \frac{\gamma}{2}$$

де φ - кут зсуву між векторами основної гармоніки струму і фазної напруги; θ - кут навантаження СМ; γ - кут комутації.

При другому способі керування підтримується постійним кут випередження $\beta = \text{const}$. Джерелом напруги синхронізації є датчик напруги статора (ДНС). В цьому випадку маємо:

$$\psi_1 = \beta - \frac{\gamma}{2} + \theta$$

Третій спосіб полягає в підтримці постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні:

$$\beta_0 = \beta_{\min} = f(\gamma, \theta), \text{ при } \delta = \delta_{\min} = \text{const}$$

$$\beta = \beta_{\min} = f(\gamma), \text{ при } \delta = \delta_{\min} = \text{const.}$$

При цьому

$$\psi_1 = \frac{\gamma}{2} \varphi + \delta_{\min} + \theta.$$

Форма струму та напруги вентильного двигуна показано на рис.2.

Останній спосіб управління вимагає наявності датчиків кутів комутації та навантаження, а також системи імпульсно-фазового управління (СІФУ) синхронізованою від ДПР або ДНС. Але даний спосіб є найбільш оптимальним за всіма параметрами і при такому керуванні електропривод буде працювати енергоефективно. При цьому способі керування параметри системи будуть постійно змінюватись для підтримки постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні, для будь-якого режиму роботи двигуна, отже для реалізації необхідно використати регулятор швидкості з fuzzy-логікою, котрий буде постійно змінювати необхідні параметри системи.

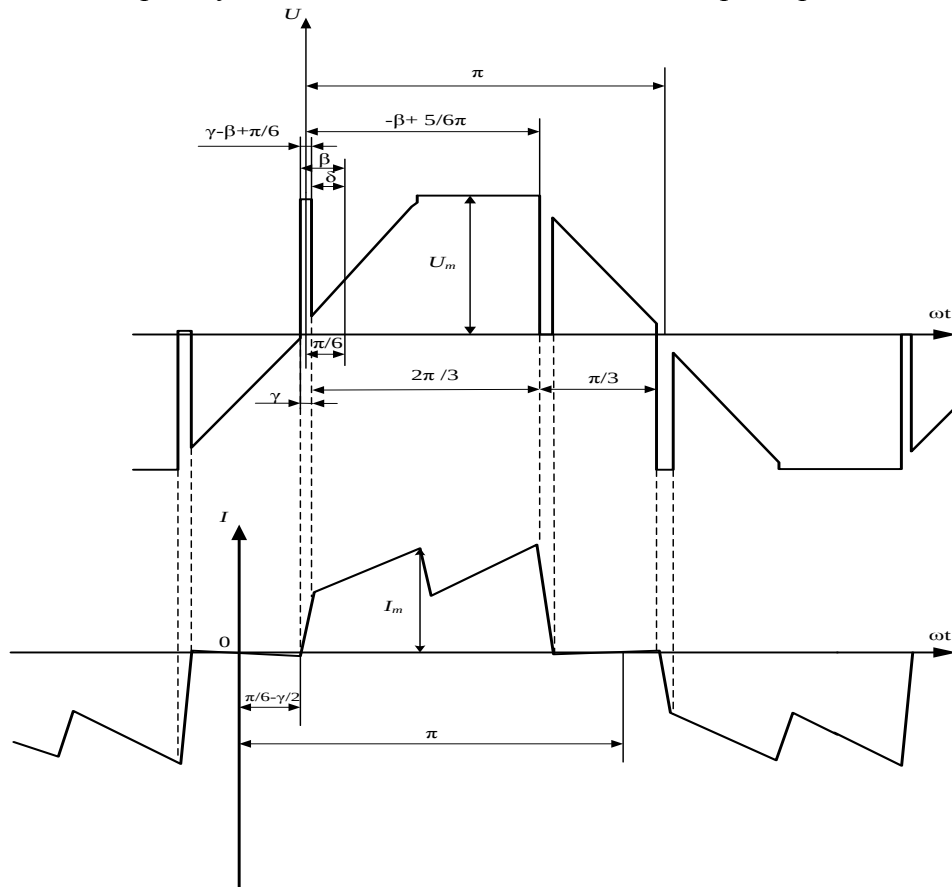


Рисунок 2 – Форма струму та напруги ВД

Розглянемо дві моделі САК ВД, розроблених у середовищі MATLAB.

Управління ВД у запропонованій першій моделі реалізовано за принципом підлеглого регулювання. Однократноінтегруюча САК складається з двох контурів - швидкості та струму. Кожен контур містить свій регулятор (регулятор швидкості - пропорційний, струму - пропорційно-інтегральний) і негативний зв'язок за контрольною змінною. На вхід системи подається сигнал з задатчика інтенсивності (рис.3). На рис.4 представлені графіки зміни заданої і дійсної швидкості, моменту ВД: а) $\beta = 0^\circ$ при $M_C = 0$, б) $\beta = 30^\circ$ при $M_C = 0,5 M_H$, в) $\beta = 60^\circ$ при $M_C = M_H$ и $U_3 = 30\%$; г) $\beta = 60^\circ$ при $M_C = M_H$ и $U_3 = 50\%$, отримані в результаті комп'ютерного моделювання.

частотою обертання 3000 об/хв. Двигун живиться від шестирівневого перетворювача напруги. Сигнали спрацювання діодів перетворювача створюються за допомогою сигналів ефекта Хола, які надходять з датчиків положення ротору двигуна.

Навантаження, наведене до валу двигуна на початку симуляції дорівнює 0 Нм, а вже на 0,1 с симуляції досягає свого номінального рівня 11 Нм при цьому спостерігається стрибок у швидкості (рис.ба), зростання струму статора для підтримки номінальної швидкості та електромагнітного моменту (рис.бб та рис. бв).

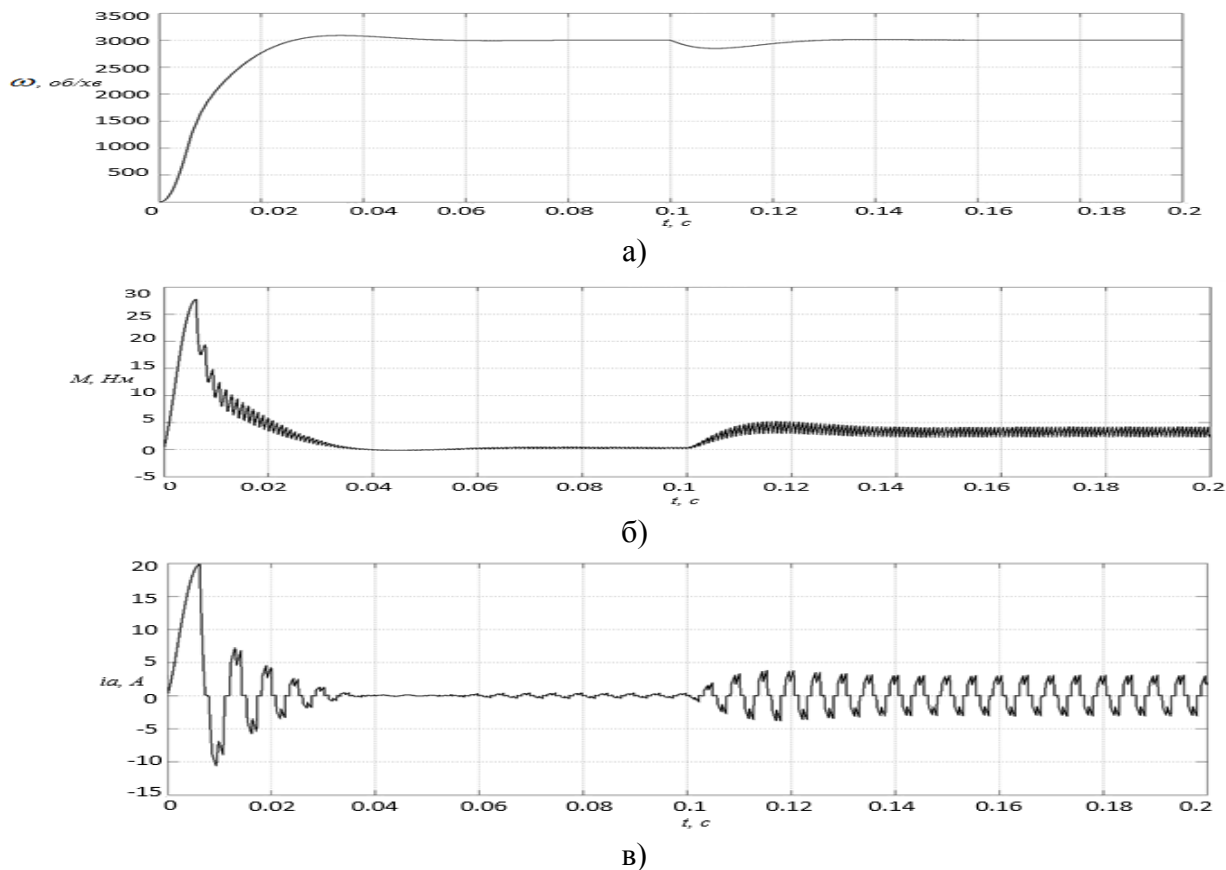
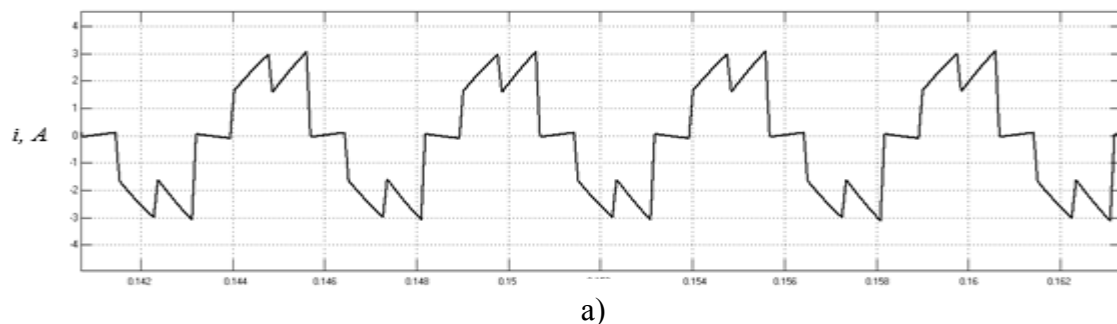
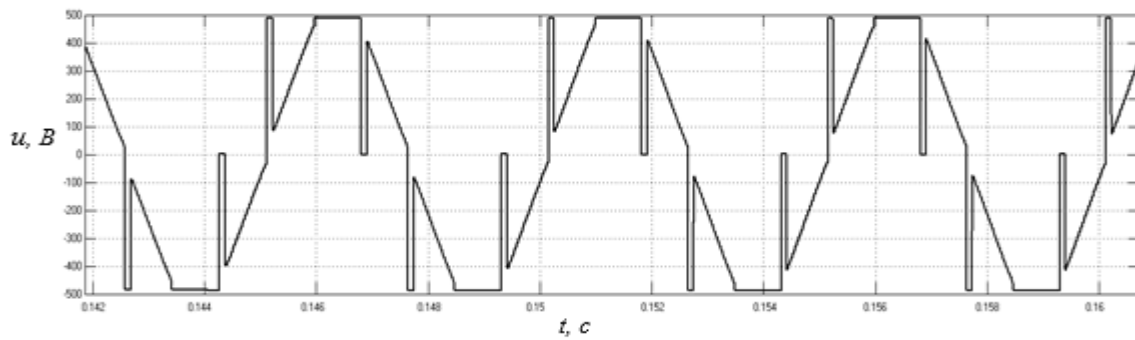


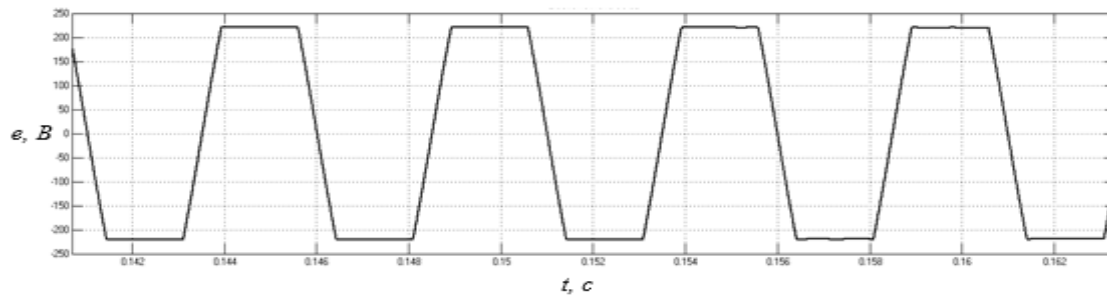
Рисунок 7 – Результати моделювання: а) крива швидкості ВД, б) крива струму статора ВД, в) крива електромагнітного моменту ВД

В даній моделі використовується два контури керування: внутрішній відповідає за роботу інвертора, а зовнішній контролює швидкість двигуна зміною напруги живлення. Крива струму статора має пилоподібну форму (рис.8а), фазна напруга – трапецеїдальну форму зі всплесками, викликаними спрацюванням діодів (рис. 8б) та крива фазної ЕРС має трапецеїдальну форму (рис. 8в).





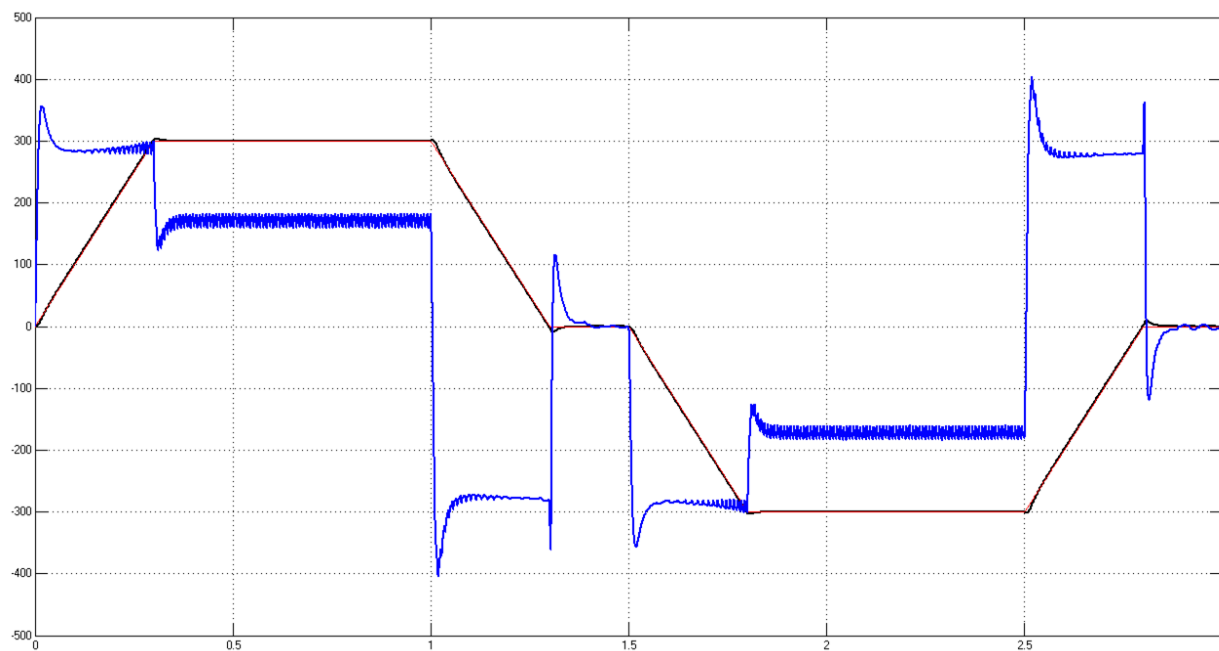
б)



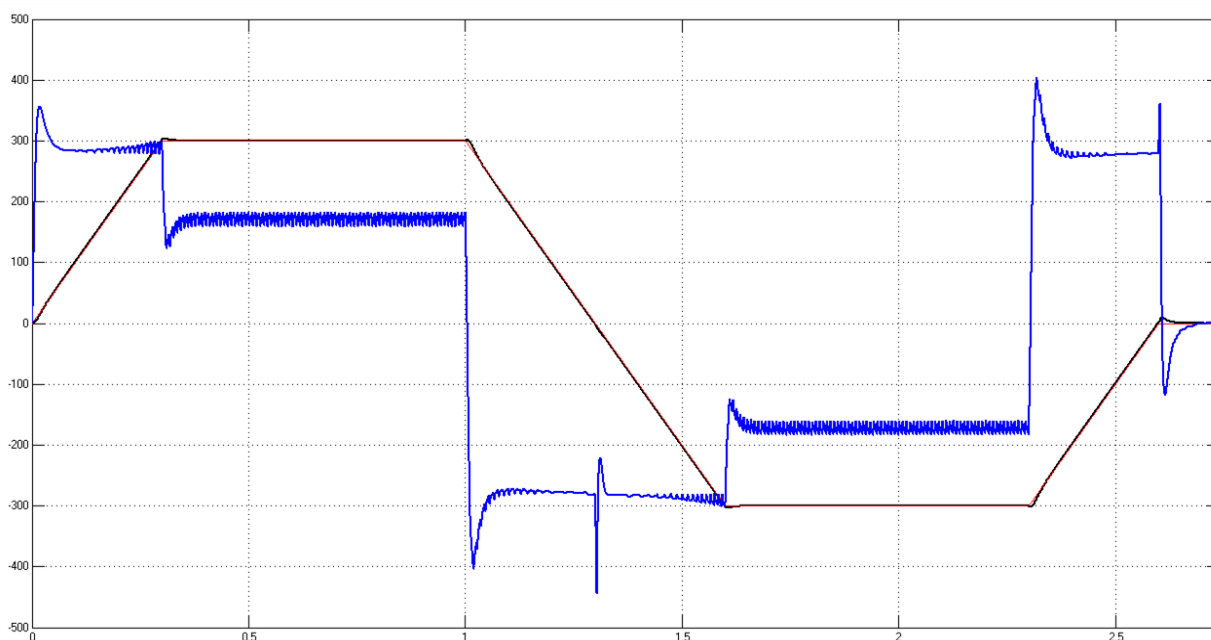
в)

Рисунок 8 - Форми кривих струму (а), напруги (б), фазної ЕРС (в)

ПІ-регулятор з нечіткою логікою постійно змінює регульовальні параметри системи для підтримки постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні, а отже це все забезпечує виконання третього способу керування ВД, що робить цю модель кращою по швидкості та по всім динамічним показникам. На рис.9а наведені результати комп'ютерного моделювання режимів пуску і гальмування та реверсу на повному ходу(рис.9б) віртуальної моделі електропривода електронавантажувача з ВД на постійних магнітах з ПІ-регулятором швидкості та fuzzy-логікою.



а)



б)

Рисунок 9 - Результати комп'ютерного моделювання режимів пуску і гальмування(а) та реверсу на повному ході(б) віртуальної моделі електропривода електронавантажувача з ВД на постійних магнітах з ПІ-регулятором швидкості та fuzzy-логікою.

Висновки

1. Виходячи з результатів порівняння основних характеристик приводів постійного і змінного струму, в якості тягового двигуна для електронавантажувача було вибрано привод з вентильним двигуном.

2. Означено основні напрямки енергозбереження для електронавантажувачів:

- економія електроенергії електронавантажувачами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу;
- вибір раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода;
- вибір раціонального типу електропривода для електронавантажувача.

3. Визначено, що найбільш енергоефективним є вентильний двигун зі збудженням від постійних магнітів.

4. Встановлено, що для реальних кутів комутації і закону управління $\beta_{\min}=f(\gamma)$ при $\delta_{\min}=\text{const}$ показники якості напруги і потужності найкращі, що дуже добре впливає на енергоефективність ВД та на всі показники електропривода.

5. Запропоновані віртуальні моделі ВД з підпорядкованим керуванням та з використанням ПІ-регулятора з нечіткою логікою для використання третього закону управління ВД. З їх допомогою досліджено електромагнітні та електромеханічні процеси ВД. Виходячи з результатів моделювання видно, що модель саме модель з fuzzy – регулятором швидкості має кращі динамічні характеристики та вищу швидкодію, що в свою чергу підтверджує ефективність та доцільність використання ВД з постійними магнітами у електронавантажувачах.

Література

1. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «ОсвітаУкраїни», 2009. –351с.
2. Закладной О.А. Функциональное диагностирование энергоэффективности электромеханических систем: Монография / О.А. Закладной. – М.: Издательство «Либра», 2013. – 195 с.
3. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.

О.М. ZAKLADNYI, О.О. ZAKLADNYI, D.YU. MOGYLAT
**OPTIMAL CONTROL OF ELECTRIC DRIVE WITH BRUSHLESS MOTOR
ELECTRIC**

Were performed the analysis and comparing of traction drives with different types of electric motors (DC, asynchronous, valve with permanent magnets). It is shown that the most promising is drive with brushless motor with permanent magnets. Two virtual models of electric drive with the valve motor were suggested in program MATLAB and selected best of them for high dynamic performance.

Key words: Valve tractive motor, tractive electric drive, electric forklift, control system, virtual model of the drive.

1. Zakladnyi O.M. Electric drive: Study guide / O.M. Zakladnyi, V.V. Prokopenko, O.O. Zakladnyi. – K.: Publication «Education of Ukraine», 2009. – 351 p.
2. Zakladnyi O.O. Functional diagnosis efficiency of electromechanical systems: Monograph / O.O. Zakladnyi. – M.: Publisher "Libra", 2013. – 195 p.
3. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.

УДК 62-83-52.003(082)

О.Н. ЗАКЛАДНОЙ, О.А. ЗАКЛАДНОЙ, Д.Ю. МОГИЛАТ
**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ВЕНТИЛЬНЫМ
ДВИГАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКА**

Проведен анализ и сравнение тяговых электроприводов с различными типами электродвигателей (постоянного тока, асинхронный, вентильный с постоянными магнитами). Показано, что наиболее перспективным является электропривод с вентильным двигателем с постоянными магнитами. Было исследовано две виртуальные модели электропривода с ВД в среде MATLAB и выбрана лучшая по высоким динамическим показателям.

Ключевые слова: Вентильный двигатель, тяговый электропривод, электропогрузчик, система управления, виртуальная модель электропривода.

РОЗДІЛ С
СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 621.311.003.13

Находов В.Ф., к.т.н., доцент; Єгорова І.О., магістрант; Тітарчук О.П. студент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**Вибір чинників для побудови математичних моделей
електроспоживання виробничих об'єктів**

Находов В.Ф., к.т.н., доцент; Егорова И.А., магистрант; Титарчук О.П. студент
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**Выбор факторов для построения математических моделей
электропотребления производственных объектов**

Nakhodov V.F., PhD of science; Egorova I. A., undergraduate; Titarshuk O.P., student
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»

**Selection factors for building mathematical models of power
consumption of production facilities**

Запропоновано після попереднього відбору чинників, що впливають на обсяги енергоспоживання технологічних об'єктів, з застосуванням експертних методів здійснювати обов'язкову перевірку одержаних результатів методами статистичного аналізу. Обґрунтовано можливість та доцільність використання для вирішення цієї задачі методу головних компонент, який дозволяє за даними обліку відповідних параметрів визначати та аналізувати тісну статистичного зв'язку між енергоспоживанням технологічних об'єктів і чинниками, що на нього впливають.

Ключові слова: системи оперативного контролю енергоефективності, «стандарт» енергоспоживання, чинники, що впливають на обсяги енергоспоживання, метод головних компонент.

Предложено после предварительного отбора факторов, влияющих на объемы энергопотребления технологических объектов с применением экспертных методов осуществлять обязательную проверку полученных результатов методами статистического анализа. Обоснована возможность и целесообразность использования для решения этой задачи метода главных компонент, который позволяет по данным учета соответствующих параметров определять и анализировать тесноту статистической связи между энергопотреблением технологических объектов и факторами, на него влияют.

Ключевые слова: системы оперативного контроля энергоэффективности, «стандарт» энергопотребления, факторы, влияющие на объемы энергопотребления, метод главных компонент.

An after pre-selection factors influencing energy consumption of technological objects, using expert methods to perform mandatory verification of the results of statistical analysis methods. The possibility and feasibility of using to solve this problem the method of principal component that allows accounting according to relevant parameters to determine and analyze

the closeness of the statistical connection between power facilities and technological factors affecting it.

Keywords: *Energy systems operational control, "standard" energy, factors influencing energy consumption, the method of principal components.*

Вступ

Підсистема оперативного управління ефективністю використання ПЕР являє собою складову системи енергетичного менеджменту. Такі підсистеми являють собою сукупність систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП). Специфіка таких систем полягає в оцінці рівня ефективності споживання ПЕР на будь-якому об'єкті шляхом порівняння фактичних даних про споживання енергетичних ресурсів з цільовими змінними, які встановлюються на основі так званих «стандартів» енергоспоживання [1].

Постановка проблеми. Кожний об'єкт має різноманітний склад чинників, які впливають на величину витрати енергії при здійсненні відповідних технологічних процесів. В залежності від таких чинників будується «стандарт» енергоспоживання, який являє собою певну математичну модель обсягу споживання палива або енергії [2].

Зрозуміло, що для різних технологічних об'єктів склад таких чинників є специфічним. У деяких літературних джерелах проблему визначення складу чинників, що впливають на величину витрат палива чи енергії на тому чи іншому об'єкті, пропонується вирішувати виключно шляхом застосування методів експертного опитування. Однак результати використання таких методів цілком залежать від кваліфікації експертів та від ступеню узгодженості їх думок, що не дозволяє вважати ці результати достатньо об'єктивними та обґрунтованими [3].

Таким чином застосування експертних методів на початкових етапах визначення складу чинників, що впливають на обсяги енергоспоживання технологічних об'єктів, без сумніву є доцільним. Але оцінки ступеню впливу тих чи інших чинників на витрати палива або енергії, одержані з використанням експертних методів, потребують подальшого підтвердження методами статистичного аналізу. Одним з методів, який може бути застосовано для вирішення цієї задачі, є метод головних компонент.

Основні результати дослідження.

Метод головних компонент (МГК) — це один з найбільш розповсюджених методів факторного аналізу. Вперше МГК був застосований ще на початку 20-ого століття в психологічних дослідженнях. МГК широко представлений у літературних джерелах, звернувшись до яких можна одержати відомості про нього з різним ступенем деталізації й математичної строгості.

Серед інших подібних методів, що дозволяють узагальнювати значення елементарних ознак, МГК виділяється простою логічною конструкцією, і у той же час на його прикладі стають зрозумілими загальна ідея й цілі численних методів факторного аналізу [5].

Недоліком методу головних компонент можна вважати складність математичного апарату, що вимагає застосування спеціальних програмних засобів.

Простір головних компонент є ортогональним. Математична модель методу головних компонент базується на логічному припущенні, що множина значень взаємозалежних ознак породжують деякий загальний результат [6].

В роботі [4] було проілюстровано методику попереднього відбору складу чинників, які впливають на величину енергоспоживання, методами експертного опитування на

прикладі технологічного процесу виробництва аміаку.

В результаті колективного обговорення думок експертів з використанням методу «мозкового штурму» було попередньо визначено, що при побудові «стандартів» енергоспоживання для зазначеного технологічного процесу необхідно враховувати вплив таких чинників:

- обсяг виробництва аміаку;
- обсяг виробництва пари тиском 30 атм.;
- обсяг виробництва пари тиском 16 атм.;
- обсяг виробництва продувних газів;
- температура навколишнього повітря.

На технологічному об'єкті, що розглядається, здійснюється погодинний облік зазначених параметрів. Значення відповідних чинників, зафіксовані протягом 30 годин, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактичні значення технологічних параметрів процесу виробництва аміаку

№	Виробництво аміаку, т/год.	Виробництво продувних газів на УСВ «Monsanto», тис.м3/ год	Виробництво пари 30 атм, т/год.	Виробництво пари 16 атм, т/год.	Температура навколишнього-го повітря, °С	Потужність, МВт
1	69,8	9270	11,0	10,7	13,4	5110
2	70,1	9280	11,0	10,8	12,0	5070
3	69,7	9350	11,0	10,7	12,2	5030
4	70,1	9370	11,0	10,7	11,3	4990
5	69,7	9380	11,0	10,7	10,0	4970
6	69,7	9380	11,1	10,6	10,0	4930
7	70,4	9370	11,1	10,6	9,3	4890
8	69,8	9320	11,0	10,6	10,5	4820
9	69,5	9310	10,9	10,6	13,0	4900
10	69,0	9280	10,8	10,6	15,5	4980
11	68,4	9260	10,8	10,5	17,4	5050
12	68,0	8940	10,7	10,6	18,8	5080
13	68,2	8610	10,7	10,5	19,7	5090
14	68,3	8550	10,7	10,5	21,1	5100
15	67,5	8510	10,7	10,5	21,2	5120
16	67,8	8460	10,7	10,6	20,9	5150
17	67,3	8220	10,7	10,6	21,5	5140
18	67,7	8090	10,8	10,7	20,0	5140
19	68,9	8100	10,8	10,6	19,6	5160
20	69,0	8120	10,7	10,6	18,5	5170
21	69,9	8250	10,8	10,7	15,7	5180
22	69,8	8490	10,9	10,7	14,0	5190
23	70,0	8680	10,8	10,7	13,8	5190
24	70,0	8860	10,8	10,7	13,2	5140
25	69,3	8900	10,9	10,7	13,2	5140
26	70,0	8960	10,9	10,7	12,3	5130
27	70,2	8970	10,9	10,7	12,1	5110
28	69,2	8970	10,9	10,7	11,9	5010
29	69,8	8970	11,0	10,7	11,9	5010
30	69,4	8960	11,1	10,7	11,5	5020

Розрахунки, необхідні для обробки наведених в таблиці 1 вихідних даних за методом головних компонент, виконані з використанням програмного забезпечення Statistica. Результати розрахунків наведені на рисунку 1.

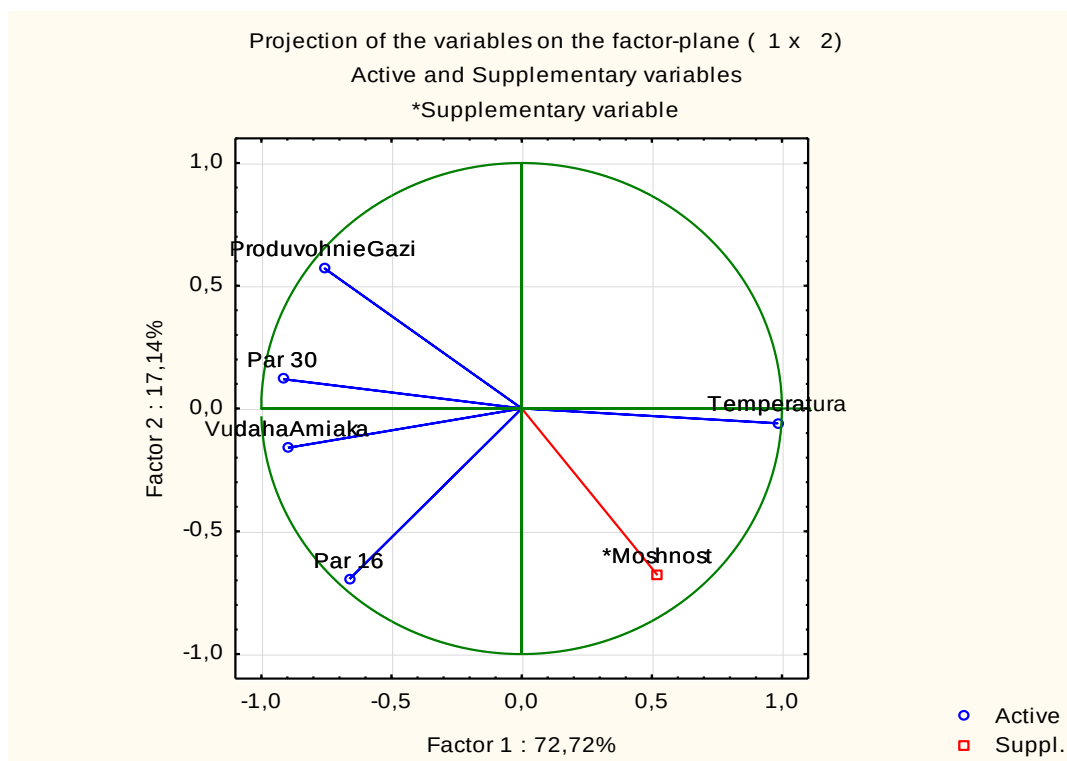


Рисунок 1 – Графічне зображення тісноти та характеру впливу чинників, що розглядаються, на споживання електричної потужності в технологічному процесі виробництва аміаку

Як свідчить рисунок 1, між споживанням потужності та температурою навколишнього повітря існує позитивна достатньо сильна кореляція. Що стосується обсягу виробництва аміаку та пари тиском 16 атм, то ці параметри по відношенню до потужності є практично некорельованими. Тобто ці показники чинять найслабкіший вплив на електричну потужність, що споживається в даному технологічному процесі.

З іншого боку, вектори споживаної потужності та обсягів виробництва пари тиском 30 атм і продувних газів розташовані на графіку діаметрально протилежно. Це означає, що між зазначеними параметрами і споживаною потужністю існує від'ємна достатньо сильна кореляція.

За результатами попереднього дослідження, опираючись виключно на експертні оцінки впливу тих самих чинників було зроблено висновок, що, крім обсягу виробництва аміаку, на споживання електричної потужності у даному технологічному процесі середній вплив здійснюють також обсяги виробництва продувних газів, пари тиском 30 атм, а також температура навколишнього повітря [4]. А такий чинник як обсяг виробництва пари тиском 16 атм має слабкий вплив на споживану потужність і тому, його можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання.

Таким чином зроблена експертами оцінка ступеню впливу чинників, що

розглядаються, на споживання електричної потужності в технологічному процесі виробництва аміаку майже повністю, але не цілком співпала з результатами статистичного аналізу впливу цих чинників на обсяг електроспоживання, одержаними з використанням методу головних компонент. Виключенням є оцінка впливу на споживану потужність такого параметра, як обсяг виробництва аміаку.

При цьому є очевидним, що результати статистичного аналізу впливу чинників на енергоспоживання слід вважати більш об'єктивними та обґрунтованими, оскільки вони базуються на даних обліку відповідних технологічних параметрів, а також на застосуванні чітких математичних методів їх обробки. Тому при прийнятті остаточних рішень стосовно складу чинників, які необхідно враховувати при побудові математичних моделей енергоспоживання, перевагу слід віддавати результатам їх відбору на основі статистичного аналізу даних.

Висновки

1. Для попереднього відбору чинників, які можуть суттєво впливати на обсяги енергоспоживання технологічних об'єктів, можливо і доцільно застосовувати методи експертного оцінювання з використанням математичного апарату нечіткої логіки.
2. Оцінки впливу відповідних чинників на обсяги споживання палива чи енергії, одержані експертним шляхом, потребують подальшого підтвердження методами статистичного аналізу. Одним з таких методів, який може бути застосовано для вирішення цієї задачі, є метод головних компонент.
3. Поєднання експертних методів та методів статистичного аналізу даних дозволяє здійснювати об'єктивний та обґрунтований відбір чинників, що мають бути враховані при побудові математичних моделей енергоспоживання технологічних об'єктів, які у подальшому застосовуються для оперативного контролю ефективності використання палива або енергії.

Література

1. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В.Ф. Находов // Промислова електроенергетика та електротехніка Промелектро : інформ. зб. – 2007. – № 1. – С. 34–42.
2. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // Fundamental Series. – 2004. – № 7. – P. 29–32.
3. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭМ, 1997. – 38 с.
4. Находов В.Ф. Комплексний підхід до визначення складу чинників, що впливають на величину енергоспоживання при впровадженні систем оперативного контролю ефективності [Електронний ресурс] / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, І.О. Єгорова // Науковий журнал Енергетика: економіка, технології, екологія №2(36)-2014 : міжнар. наук.-техн. конф. молодих дослідників, аспірантів та магістрантів, 27–29 травня 2014 р. – К., 2014.
5. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XXIX, 487 p. 28 illus.
6. Gorban A. N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A. Y. (Eds.), Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58, Springer, Berlin — Heidelberg — New York, 2007, XXIV, 340 p. 82 illus.

УДК 620.9.01

Т.В. Листопадська

ЕФЕКТИВНА ВЕНТИЛЯЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ УСТАНОВОК РЕКУПЕРАТИВНОГО ТИПУ

Анотація. В даній статті розглянуто проблему нереалізованого потенціалу енергозбереження системи вентиляції на нагрівання та охолодження. Шлях до вирішення проблеми раціонального використання енергії - проведення активної енергозберігаючої політики та створення енергоефективного устаткування. При розробці та проектуванні систем вентиляції задача економії енергоресурсів відчувається особливо гостро: використання механічної вентиляції будівель може призвести до значних втрат енергії. Вони можуть досягати 45% і більше загальних теплових втрат будівель.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, вентиляційна установка, рекуператор, теплообмінник, кондиціонування та охолодження повітря, параметри навколишнього повітря.

ЭФФЕКТИВНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВОК РЕКУПЕРАТИВНОГО ТИПА

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема нереализованного потенциала энергосбережения системы вентиляции на нагрев и охлаждение. Путь к решению проблемы рационального использования энергии - проведение активной энергосберегающей политики и создания энергоэффективного оборудования. При разработке и проектировании систем вентиляции задача экономии энергоресурсов ощущается особенно остро: использование механической вентиляции зданий может привести к значительным потерям энергии. Они могут достигать 45% и более общих тепловых потерь зданий.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, вентиляционная установка, рекуператор, теплообменник, кондиционирования и охлаждения воздуха, параметры окружающего воздуха.

EFFECTIVE VENTILATION REGENERATIVE UNITS WITH TYPE

Annotation: In this article the problem of unrealized potential of energy saving ventilation systems for heating and cooling. The way to solve the problem of energy efficiency - an active energy saving policy and establishment of energy-efficient equipment. In the development and design of energy saving ventilation problem is felt particularly acutely: the use of mechanical ventilation of buildings can cause significant loss of energy. They can reach 45% or more of total heat loss of buildings.

Key words: energy conservation, energy efficiency, ventilation systems, heat exchanger, heat exchanger, air-conditioning and cooling parameters surrounding air.

Вступ

Поява нових, абсолютно герметичних пластикових віконних систем практично звела нанівець можливість забезпечувати притік свіжого повітря за допомогою інфільтрації. Якщо в приміщенні, в якому встановлені такі віконні блоки, відсутній притік свіжого повітря, його необхідно регулярно провітрювати. Та не завжди є така можливість, оскільки за вікном більшості жителів мегаполісів загазоване брудне повітря. Але, якщо не забезпечити в приміщенні достатній притік свіжого повітря, то буде спостерігатися нестача кисню, підвищена вологість або сухість (в залежності від пори

року) і забрудненість. Також можливий варіант, коли в будинку погано працює витяжка, як наслідок – грибок на стінах та у ванній кімнаті, конденсат на вікнах та підвіконнях, підвищена вологість, псування шпалер та меблів, неприємний запах в приміщенні. Крім того, вищеперераховані явища можуть стати причиною підвищення ризику захворювань серцево-судинної та дихальної системи людини.

Постановка задачі

В процесі своєї життєдіяльності людина виділяє вологу в результаті потовиділення і при диханні. В середньому, в звичайних умовах, при диханні виділяється 40грамм/год рідини у вигляді пари. При фізичних навантаженнях кількість виділяється людиною водяної пари збільшується в кілька разів. Крім того, волога виділяється тваринами, акваріумами, рослинами; ми готуємо їжу - при цьому виділяється багато пари; також волога утворюється при умовно, прийняття ванни і душа, миття посуду і т.д. Надмірна вологість в приміщенні сприяє утворенню грибків, цвілі, хвороботворних мікробів, що несприятливо позначається на нашому самопочутті, здоров'я дітей і близьких.

У сучасних містах з величезною кількістю промислових підприємств, транспорту, різного роду котелень, що спалюють тонни вугілля, мазуту та ін., повітря дуже забруднене, і звичайне провітрювання шляхом відкривання вікон не завжди можливо. Особливо, в будинках, що знаходяться в безпосередній близькості від шумних транспортних магістралей, промислових підприємств та інших об'єктів, що забруднюють повітря. Що робити в такій ситуації?

Основна частина. Способів рішення даної проблеми безліч - від простого провітрювання приміщення через певні проміжки часу до облаштування центральних автоматизованих систем вентиляції. Як відомо, за способом, що викликає рух повітря, системи вентиляції бувають природні та штучні (з механічним спонуканням), за призначенням - приточні і витяжні. У кожного способу є свої переваги і недоліки.

Природна вентиляція відзначається своєю дешевизною та простотою облаштування, незалежністю від електрозабезпечення, проте продуктивність природної вентиляції безпосередньо залежить від таких природних чинників, як різниця температур зовнішнього і внутрішнього повітря, напряму і сили вітру, різниці тиску. Ця залежність робить ефективність природної вентиляції у край не стабільною. Також суттєвий недолік полягає в тому, що повітря вводиться в приміщення без попереднього очищення і підігріву, а що видаляється – не очищається від викидів і забруднює зовнішнє повітря.

Якщо ж потрібна ефективна, комфортна та енергозберігаюча вентиляційна систему, яка б не залежала від погоди, то потрібно надати перевагу приточно-витяжній механічній вентиляції.

В сучасних будівлях з теплими стінами і герметичними вікнами в міру зниження теплових втрат через вікна і стіни все більшу роль стали грати втрати енергії на обробку повітря, що подається в приміщення. Це навіть, скоріше, не втрати, а вимушені витрати енергії, так як в холодну пору року для підтримки комфортної температури в житловому приміщенні доводиться підігрівати свіже повітря, що надходить ззовні, а в літній час - навпаки, його охолоджувати, а потім, після часткового використання, відправляти назад, тобто, в певному сенсі опалювати або охолоджувати вулицю. Що ж тут можна зробити?

Найбільш ефективним способом є технологія рекуперації, тобто утилізації теплоти.

Неконфліктне енергозбереження та збалансований приточно-витяжний повітрообмін у приміщенні забезпечують системи вентиляції з теплообмінниками - утилізаторами різних типів, які дозволяють в зимовий період використовувати теплоту повітря, що видаляється з приміщення, для нагрівання холодного повітря, що надходить у приміщення. У літній період приточне повітря охолоджується за рахунок витяжного.

Також це збільшує тепловий комфорт мешканців будівлі, так як температура приточного повітря наближається до комфортного рівня. Коефіцієнт корисної дії рекуператорів може коливатися в широкому діапазоні - від 36 до 95%. Цей показник визначається видом використовуваного рекуператора, швидкістю руху повітряного потоку крізь теплообмінник і різницею температур відведеного і надходить повітря.

Одним з таких найбільш популярних пластинчатих рекуператорів є приточно-втяжна установка Lossnay, від компанії Mitsubishi. Вентиляційна установка Lossnay утилізує явну і приховану теплоту повітря, тобто майже вирівнює не тільки температуру приточного і втяжного повітря, але і його вологовміст. Матеріал рекуператора має виборчу проникність до різних газам, що забезпечує вільне проходження водяної пари і перешкоджає проникненню забруднюючих речовин (вуглекислий газ, аміак) через стінки теплообмінника.

Прорахуємо можливу економію теплової енергії, на прикладі такої установки, для приміщення з загальною подачею повітря 500 м³/год. Використаємо метеорологічні дані – температуру зовнішнього повітря та вологість -, які були взяті з архіву погоди за 26.07.14 та 26.12.14. – рис. 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Дата	Час	Температура	Атм. Тиск	Вологість	кВт·год		Дата	Час	Температура	Атм. Тиск	Вологість	кВт·год
2	29.07.2014	0:00	+20°C	749	73	1		28.12.2014	0:00	-7°C	742	77	5,2
3	29.07.2014	1:00	+19°C	749	78	0		28.12.2014	1:00	-7°C	742	77	5,2
4	29.07.2014	2:00	+18°C	749	77	0		28.12.2014	2:00	-7°C	741	77	5,2
5	29.07.2014	3:00	+16°C	749	88	0		28.12.2014	3:00	-8°C	741	84	5,4
6	29.07.2014	4:00	+16°C	748	82	0		28.12.2014	4:00	-8°C	741	77	5,4
7	29.07.2014	5:00	+16°C	748	88	0		28.12.2014	5:00	-9°C	741	77	5,6
8	29.07.2014	6:00	+16°C	748	82	0		28.12.2014	6:00	-9°C	742	77	5,6
9	29.07.2014	7:00	+19°C	748	78	0		28.12.2014	7:00	-10°C	741	84	5,7
10	29.07.2014	8:00	+22°C	748	65	1,3		28.12.2014	8:00	-10°C	741	84	5,7
11	29.07.2014	9:00	+24°C	748	57	1,5		28.12.2014	9:00	-10°C	742	84	5,7
12	29.07.2014	10:00	+25°C	748	54	1,7		28.12.2014	10:00	-9°C	742	77	5,5
13	29.07.2014	11:00	+27°C	749	42	1,5		28.12.2014	11:00	-8°C	742	70	5,4
14	29.07.2014	12:00	+28°C	749	40	1,7		28.12.2014	12:00	-7°C	742	64	5,3
15	29.07.2014	13:00	+28°C	749	37	1,4		28.12.2014	13:00	-6°C	742	59	5,2
16	29.07.2014	14:00	+29°C	749	33	1,4		28.12.2014	14:00	-5°C	743	54	5,1
17	29.07.2014	15:00	+29°C	749	31	1,3		28.12.2014	15:00	-6°C	744	54	5,2
18	29.07.2014	16:00	+29°C	748	31	1,3		28.12.2014	16:00	-6°C	744	54	5,2
19	29.07.2014	17:00	+29°C	748	29	1,1		28.12.2014	17:00	-7°C	745	64	5,3
20	29.07.2014	18:00	+28°C	747	33	1,1		28.12.2014	18:00	-7°C	745	59	5,4
21	29.07.2014	19:00	+27°C	747	32	0,8		28.12.2014	19:00	-7°C	745	59	5,4
22	29.07.2014	20:00	+26°C	747	37	0,9		28.12.2014	20:00	-7°C	745	64	5,3
23	29.07.2014	21:00	+24°C	747	44	0,8		28.12.2014	21:00	-8°C	745	70	5,4
24	29.07.2014	22:00	+19°C	747	64	0		28.12.2014	22:00	-8°C	746	70	5,4
25	29.07.2014	23:00	+19°C	747	64	0		28.12.2014	23:00	-8°C	746	77	5,4
26	Сумарна економія теплової енергії за добу					18,8		Сумарна економія теплової енергії за добу					129,2
27													

Рис.1 – метеорологічні дані за 26.07.14 та 26.12.14

Провівши моделювання процесів рекуперації тепла вентиляційного повітря на базі ретроспективних даних для київського регіону по вищезазначених датах отримали наступні результати на рис.2 :

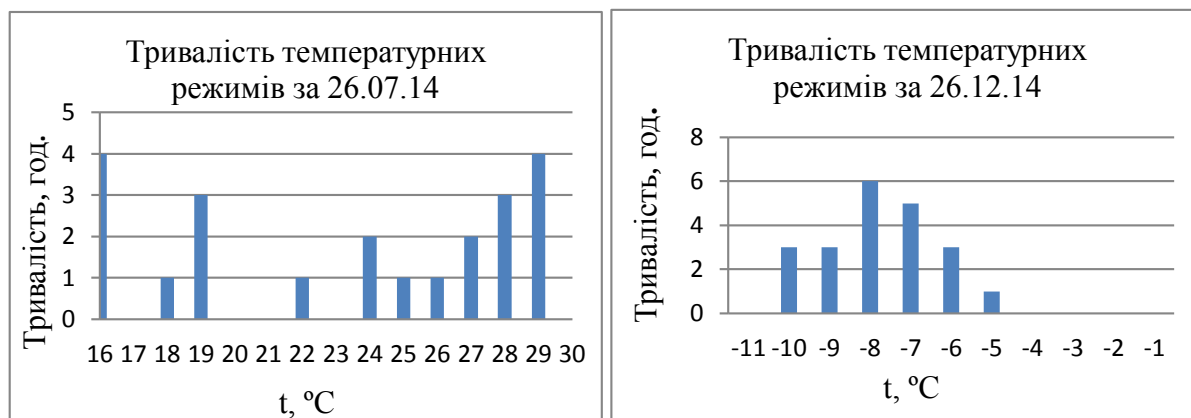


Рис.2 – тривалість температурних режимів за 26.07.14 та 26.12.14

Розрахункова внутрішня температура 20°C, вологість 50%. В результаті розрахунку для моделі Lossnay LGH-50RX5-Ex в літню пору року економія теплової енергії становить 18,8 кВт·год/добу, взимку – 129,2 кВт·год/добу.

Аналогічні розглянемо найтеплішу та найхолоднішу добу зими та літа в якості пікових точок для чіткого розуміння можливого потенціалу енергозбереження при впровадженні даної технології. Найхолоднішим днем літа в 2014 є 16.06.14, а найтеплішим 04.08.14. Для зими це 08.01.15 та 24.12.14 відповідно. Графіки наведені на рис.3 та рис. 4.

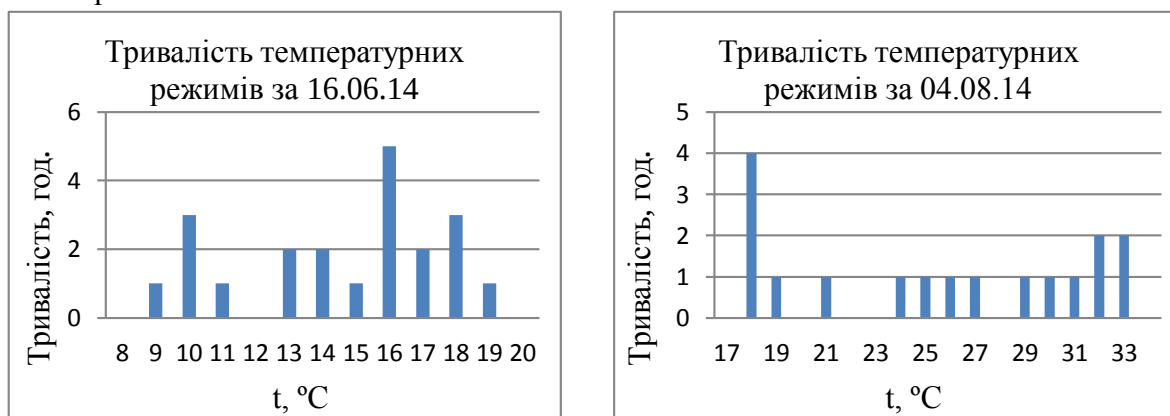


Рис.3 – тривалість температурних режимів за 04.08.14 та 16.06.14

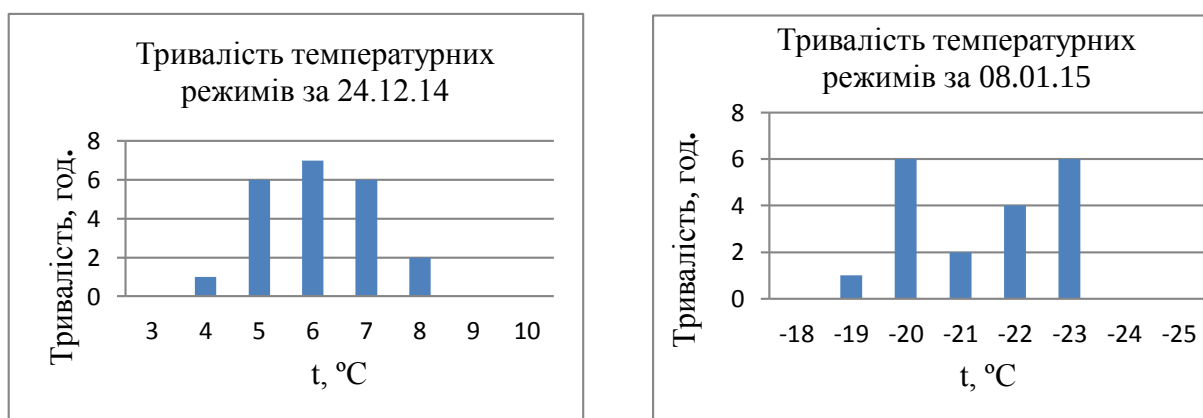


Рис.4 – тривалість температурних режимів за 08.01.15 та 24.12.14

Економія теплової енергії, яка змінюється в залежності від температурного режиму наступна:

Дата	04.08.14	16.06.14	08.01.15	24.12.14
Економія теплової енергії, <i>кВт·год/добу</i>	41,5	13,3	151,8	59,5

З отриманих результатів видно, що діапазон зміни потенціалу економії теплової енергії напряму залежить від погодних умов. Взимку, коли різниця внутрішньої та зовнішньої температур є найбільшою, маємо 151,8 кВт·год/добу зекономленої теплової енергії.

Беручи до уваги невинний ріст тарифів на ЖКГ дані цифри є досить вагомими. Можливо такий шлях ефективного енергозбереження набуде широкого використання в Україні і в найближчому майбутньому саме вентиляція рекуперативного типу буде зустрічатися в кожній будівлі?!

Висновки.

1. Якщо порівнювати ефективність традиційної природної каналної витяжної вентиляції та інженерних систем нового покоління за критеріями якості повітря, витрат теплової енергії в системах вентиляції та акустичного режиму, можна зробити висновок, що найкращим є приточно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням і утилізацією теплоти вилученого повітря в рекуперативних теплообмінниках.

2. Діапазон зміни потенціалу економії теплової енергії, від використання вентиляційної установки рекуперативного типу, напряму залежить від погодних умов. Взимку економія теплової енергії є більш суттєвою ніж влітку.

Список використаної літератури:

1. Суходуб І.О. Енергетичні процеси перехресноплинного рекуперативного теплоутилізатора систем вентиляції // міністерство освіти та науки України національний технічний університет України «київський політехнічний інститут», - 2014
2. Барон В.Г. Взаплив рекуператорів тепла витяжного повітря і вентиляційних каналів в сучасних спорудах // Новини теплопостачання. – 2008. – № 3 (91). – С. 46-48.
3. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
4. Гершкович В.Ф. Енергозберігаючі системи житлових будівель. Посібник з проектування [Електронний ресурс] // СОК - 2006. - № 8. Режим доступу: <http://www.cok.com.ua/content/view/467/> (01.09.2013).
5. Богословський В. Н. Теплофізика апаратів утилізації тепла систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря / В. Н. Богословський, М. Я Поз. - М. : .
6. Теплообмінники. Визначення експлуатаційних характеристик теплообмінників та загальна методика випробування для встановлення експлуатаційних характеристик усіх теплообмінників: ДСТУ EN 305-2001 – [Чинний від 01.04.02]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 15 с.
7. Беккер А. Системи вентиляції / А. Беккер - М. : Техносфера, Евроклімат, 2005. - 232 с.

8. Нестеренко О.В. Основи термодинамічних розрахунків вентиляції та кондиціонування повітря: Навч. посібник, вид. 3, доп. / А.В. Нестеренко - М.: Вища школа, 1971. - 460 с.
9. Гусєв В.М. Теплотехніка, опалення, вентиляція і кондиціонування повітря: Підручник для вузів / В.М. Гусєв, Н.І.Ковалев, В.П. Попов, В.А. Потрошки, під ред. В.М. Гусєва. - Л.: Стройиздат, 1981. - 343 с.,
10. Системи вентиляції та кондиціонування. Теорія і практика. / В.А. Ананьєв [и др.] / - Евроклімат, 2001. - 416 с.

Лосєва В.І., студ.,
Чернявський А.В., к.т.н., доц.

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕГІОНУ

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА

CONSTRUCTING A MODEL FOR ESTIMATING THE LEVEL OF ENERGY SECURITY IN THE REGION

Енергетична безпека є невід'ємною складовою економічної і національної безпеки, необхідною умовою існування і розвитку держави. Для визначення рівня енергетичної безпеки запропоновано модель для оцінювання рівня. Проаналізовано результати, за яких досягається оптимальна траєкторія розвитку енергетичної безпеки.

Ключові слова: енергетична безпека регіону, оцінювання рівня енергетичної безпеки регіону, моделювання енергетичної безпеки, імітаційна система моделювання.

Вступ.

Енергетична безпека – це стан електроенергетики, який гарантує технічно та економічно безпечно задоволення поточних і перспективних потреб споживачів в енергії та охорону навколишнього середовища.

Під енергетичною безпекою слід розуміти здатність держави в особі її органів управління забезпечити кінцевих споживачів енергією в необхідному обсязі та належної якості у звичайних умовах, а також під час дії дестабілізуючих факторів (надзвичайних ситуацій) внутрішнього чи зовнішнього характеру у межах гарантованого покриття мінімального обсягу найважливіших потреб країни, окремих її районів, міст, селищ чи об'єктів у паливно-енергетичних ресурсах.

Національна економіка характеризується переважанням енергоємних галузей, дефіцитом енергетичних ресурсів, який покривається імпортом, морально застарілими і фізично зношеними виробничими засобами, недосконалістю економічних та фінансових механізмів, що визначає низький рівень використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та енергетичної безпеки.

Проблема енергетичної безпеки України.

Ця проблема виникла в Україні, як і в других країнах, з моменту встановлення незалежності держави. Перед країною виник цілий комплекс проблем, що стосуються політичної, економічної, військової, екологічної, інформаційної, соціальної та інших сторін життя держави і суспільства, які можна об'єднати у поняття «безпека». Усталене функціонування енергетики України до набуття незалежності, наявність кваліфікованого персоналу, налагоджене надходження палива, надмірність встановлених генеруючих потужностей сприяли впевненості у тому, що такий стан в енергетиці збережеться і надалі.

Але в останні роки в енергетиці розвинулися негативні тенденції. В енергетичній галузі не вкладають кошти в оновлення, модернізацію обладнання, що призводить до його старіння, аварійності та зниження експлуатаційної готовності.

Постановка проблеми.

Для побудови моделі оцінювання рівня енергетичної безпеки регіону використовують теоретичні та методологічні аспекти створення механізму. В основу цих аспектів покладені складові підсистем (виробничо-технологічна, інфраструктурна,

екологічна, фінансова, зовнішньоекономічна, політико-правова), моніторинг та оперативний контроль рівня енергетичної безпеки, які потребують подальшого та більш точного дослідження. Вирішення цієї проблеми має важливе значення як з позиції поточного стану, так і з позиції подальшого розвитку енергетики в регіоні.

Постановка цілей.

Метою дослідження є побудова моделі оцінювання рівня енергетичної безпеки регіону.

Матеріали та результати дослідження.

Теоретичним та практичним аспектам енергетичної безпеки присвячено ряд робіт, серед яких можна виділити праці Б. Андрушківа, Г. Бондаренка [1], В. Баранніка, Н. Воропая, В. Гавриша, А. Дорошкевича, З. Залого, М. Земляного [2,3], С. Клименка, М. Ковалка, Л. Криворучького, М. Крупки, В. Кухара, Л. Малюти, А. Мельника, І. Михасюка, В. Перебийноса, С. Пирожкова, О. Суходолі, Т. Хвороста, А. Шевцова, А. Шидловського, В. Щерби та інших. Більшість дослідників обмежуються визначенням різносторонніх концептуальних та методологічних підходів для побудови системи оцінювання енергетичної безпеки.

Головною проблемою під час оцінювання рівня енергетичної безпеки регіону є системне виділення тих показників, порівняння яких з пороговими значеннями дасть змогу комплексно оцінити стан енергетичних систем регіону загалом, виявити небезпечні тенденції. На даний момент немає єдиного загальноприйнятого методу оцінювання енергетичної безпеки регіону. Застосування математичного апарату значно обмежує число показників, які можуть бути використані, бо не всі показники енергетичної безпеки можуть бути виражені в кількісній формі. Для визначення рівня енергетичної безпеки можна використати методи, які поділяються на групи:

- моніторинг основних показників та їх порівняння з пороговими значеннями;
- метод експертного оцінювання та розподілення за рівнем загроз;
- оцінка темпів розвитку енергетичних систем регіону за основними показниками та динаміка їх змін;
- методи прикладної математики – статистичного аналізу.

В умовах відсутності загальноприйнятої методики оцінювання енергетичної безпеки регіону його рівень доцільніше визначати, використовуючи сукупність різних методів.

У загальному вигляді енергетична безпека відображає такий стан енергосистем, який забезпечує не тільки виживання, але й їх функціонування. У практичному плані енергетична безпека – це здатність не тільки протидіяти нанесенню прямого енергетичного збитку, а й процес, який запобігає можливості дестабілізації функціонування організації з боку її внутрішнього та зовнішнього середовища.

Прогнозування перспективних станів систем регіону в умовах дії зовнішніх факторів і під час реалізації того чи іншого сценарію розвитку ситуації, вибір найбільш ефективних заходів державного регулювання сталого розвитку енергетичних систем стає основною задачею науки і практики. Для дослідження енергетичної безпеки регіону та його сталого розвитку, зазначенні етапи повинні реалізовуватися у вигляді імітаційної системи моделювання.

Формування адекватної політики в енергетичній сфері можливе тільки з урахуванням стану кожної енергетичної системи регіону, стабільної її роботи, подальшого стійкого розвитку. Для побудови моделі оцінювання енергетичної безпеки регіону введемо наступні величини. Нехай X – множина, елементи якої $x \in X$ – можливі

стратегії політики розвитку енергетичних систем регіону; Y – множина, елементи якої $y \in Y$ – відповідні можливі стратегії політики енергетичного розвитку країни; S – безліч можливих станів енергетичної сфери; Z – безліч можливих ситуацій на державному рівні; $s = s(x)$, $s \in S$ – енергетична ситуація в регіоні під впливом стратегій $x \in X$; R – критерій (шкала переваг) для оцінювання проведеної політики і ступеня досягнення мети (R_x – з позиції регіону; R_y – з позиції держави).

Розробка ефективних інструментів і методів реалізації енергетичної політики для досягнення бажаних цілей в регіональному масштабі повинна враховувати стан та прогноз зовнішнього середовища. При цьому треба побудувати модель функціонування енергосистем в регіоні $z = f(y)$ і знаходження такого y^* , який би задовольняв такій умові:

$$R[f(y^*)] = \max R[f(y)], y \in Y.$$

Цільова ситуація в енергетиці держави, яка позначається z^* , визначається для заданих $x \in X$ як $z^* = f(y^*)$. Реальний енергетичний стан держави може значно відрізнятися від z^* , тому що залежить не тільки від функціонування енергосистем регіону, а й від безліч неврахованих факторів. Інструменти енергетичної політики впливають на розвиток держави як безпосередньо, так і через суміжні галузі виробництва. Ті з них, які безпосередньо впливають на державний сектор енергетики, варто також віднести і до інструментів сталості енергетичного розвитку регіону.

Для того, щоб якомога точніше визначити рівень енергетичної безпеки, треба мати чітке уявлення про самі складові та категорії енергетичної сфери. Наведемо на рисунку 1 взаємозв'язок базових категорій енергетичної безпеки[4]



Рис. 1 – Взаємозв'язок базових категорій енергетичної безпеки[4]

Для визначення стану енергетичної безпеки регіону виділено такі функціональні компоненти: виробничо-технологічна, інфраструктурна, екологічна, фінансова, зовнішньоекономічна, політико-правова. Рівень безпеки кожної компоненти визначається із рівності:

$$EB_i = \sum_{j=1}^{m_i} (a_{ij} \cdot \frac{P_{ij}}{NP_{ij} \cdot m_i}), i = \overline{1, n},$$

де EB_i – інтегральний критерій енергетичної безпеки регіону i -ої компоненти; a_{ij} – вага j -го показника i -ої компоненти; $\sum_{j=1}^{m_i} a_{ij} = 1, i = \overline{1, n}$; P_{ij} – фактичне значення j -го показника i -ої компоненти; NP_{ij} – нормативне значення j -го показника i -ої компоненти (можна вибрати значення цього показника в державному масштабі); m_i – число показників i -ої компоненти; n – число компонент енергетичної безпеки регіону.

Усі частинні компоненти об'єднуються в інтегральний показник енергетичної

безпеки регіону, що обчислюється за формулою

$$EB = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \beta_i EB_i},$$

де β_i – вага i -ої компоненти енергетичної безпеки регіону; $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$.

Тоді траєкторія енергетичної безпеки регіону стає оптимальною, якщо існує розв'язок такої задачі:

$$\begin{cases} EB(x) \rightarrow \max, \\ Porog_{ij} \leq P_{ij} \leq NP_{ij}, \\ x \in X, y(x) \in Y, \end{cases} \quad (1)$$

де $Porog_{ij}$ – порогові значення j -го показника i -ої компоненти енергетичної безпеки галузі.

Потрібно зауважити, що показники $P_{ij} = P_{ij}(x)$, а й, відповідно, критерії $EB_i = EB_i(x)$ та $EB = EB(x)$ є функціями $x \in X$, тому (1) є класичною задачею математичного програмування. Однак ця задача є одночасно задачею керування в тому сенсі, що, змінюючи стратегію $x \in X$, одночасно буде змінюватись оптимальний розв'язок задачі (1), для знаходження якого можна використати градієнтний метод, оскільки в загальному випадку ця задача буде нелінійною.

Загальна схема розв'язання задачі полягає у побудові послідовності

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots \quad (2)$$

розв'язків системи обмежень за таким принципом: як x_0 вибираємо будь-яку точку області розв'язків $x \in X$ і потім наступна точка отримується з попередньої за формулою

$$x_{k+1} = x_k + \lambda \cdot l, \quad (3)$$

де: l – деякий напрямок, а λ – число. При цьому напрямок l і довжина кроку λ вибираються так, щоб забезпечити збіжність послідовності (2) до оптимального розв'язку x^* . У загальному випадку процес отримання послідовності наближень x_k нескінченний, але іноді процес може завершитися і за скінченну кількість кроків, даючи нам локальний, а в задачах випуклого програмування і глобальний оптимум.

Знаходячи похідну за напрямком, $\frac{\partial EB(x)}{\partial l}$, можна визначати, чи є напрямок l вигідним у смислі наближення до оптимуму.

Оскільки напрямок градієнта ∇Z цільової функції є напрямком її найшвидшого зростання, то під час відшукування максимуму опуклої функції в якості l часто беруть ∇Z і тоді рівність (3) набуде вигляду:

$$x_{k+1} = x_k + \lambda \cdot \nabla Z, \quad (4)$$

Параметр λ вибирається так, щоб при цьому λ досягався екстремум функції

$\nabla Z = Z(x_{k+1}) - Z(x_k)$. Продиференціювавши функцію ∇Z , отримуємо умову екстремуму:

$$\nabla Z(x_{k+1}) \cdot \nabla Z(x_k) = 0. \quad (5)$$

Якщо оптимум досягається всередині області розв'язків системи обмежень, то можна гарантувати, що точка (стратегія) x_{k+1} не вийде за межі обмежень. Процес продовжується доти, поки не буде задовольнятися нерівність:

$$|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon,$$

де ε – наперед задана точність обчислення.

В окремих випадках можна припустити, що окремі показники компонент енергетичної безпеки регіону можуть приймати числові значення, які будуть меншими,

ніж відповідні пороги. Це означає, що не всі нерівності $Porog_{ij} \leq P_{ij} \leq NP_{ij}$ в задачі (1) мають задовольнятися, але це може сприяти тому, що цільова функція $EB(x)$ буде приймати максимальне значення, яке переважає оптимальне значення (1). Тоді задача вигляду (1) буде такою:

$$\begin{cases} EB(x) \rightarrow \max, \\ Porog_{kl} \leq P_{kl}(x) \leq NP_{kl}, \\ P_{dh}(x) \leq NP_{dh}, \\ x \in X, y(x) \in Y. \end{cases} \quad (6)$$

Тут позначено через $P_{dh}(x)$ показники, для яких допускається рівність значенням, меншим за пороги.

Висновки.

1. Виявлена головна проблема під час оцінювання рівня енергетичної безпеки регіону, яка заключається в виділенні тих показників, порівняння яких з пороговими значеннями дасть змогу комплексно оцінити стан енергетичних систем регіону.

2. Запропонована модель дає змогу оцінити рівень енергетичної безпеки регіону залежно від вибраної стратегії її сталого розвитку. Алгоритм дозволяє враховувати рівень ризиків, які можуть виникати, в залежності від роду їх впливу.

Список літератури.

1. Бондаренко Г. В. Енергетична безпека як визначальна складова економічної незалежності України [Електронний ресурс] / Г. В. Бондаренко, В. О.Щерба. –2009. –С. 98 – 108. – Режим доступу до сайту : <http://www.nbu.gov.ua>.

2. Земляний М. Критерії оцінки та показники енергетичної безпеки. Концептуальні підходи [Електронний ресурс] / М. Земляний, В. Бараннік. – Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/Monitor/november08/19.htm>.

3. Земляний М. Г. До оцінки рівня енергетичної безпеки. Концептуальні підходи [Електронний ресурс] / М. Г. Земляний. – Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/Monitor/november08/36.htm>.

4. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2822>

References.

1. Bondarenko, H. V. (2009), "Energy security as a defining component of the economic independence of Ukraine", *Enerhetychna bezpeka yak vyznachal"na skladova ekonomichnoyi nezalezhnosti Ukrayiny*, [Online], available at: <http://www.nbu.gov.ua>.

2. Zemlyanyj, M.G. Barannik, V.O. (2011), "Evaluation criteria and indicators of energy security. Conceptual Approaches", *Kryteriyi ocinky ta pokaznyky enerhetychnoyi bezpeky. Konceptualni pidxod*, [Online], available at: <http://old.niss.gov.ua/Monitor/november08/19.htm>.

3. Zemlyanyj, M.G. "To assess the level of energy security. Conceptual Approaches", *Do ocinky rivnya enerhetychnoyi bezpeky. Konceptual"ni pidxody*, [Online], available at: <http://old.niss.gov.ua/Monitor/november08/36.htm>.

4. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2822>

УДК 620.92(477)

Л.О. МИТЮК, М.Г. ОНОПРИЄНКО, М.С. ТРОЦЬКА

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Л.О. МИТЮК, М.Г. ОНОПРИЕНКО, М.С. ТРОЦКАЯ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ

L.O.MITIUK, M.H.ONOPRIENKO, M.S.TROTSKA

CURRENT STATUS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF
ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY IN UKRAINE

Анотація. У статті представлено результати дослідження сучасного стану та перспектив розвитку альтернативних джерел енергії в Україні, проведено аналіз світового досвіду використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, розроблено рекомендації щодо удосконалення регулюючої функції держави у сфері альтернативної енергетики.

Ключові слова: енергоефективність, альтернативні джерела енергії, енергетична безпека, альтернативна енергетика, відновлювальні джерела енергії.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования современного состояния и перспектив развития альтернативных источников энергии в Украине, проведен анализ мирового опыта использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии, разработаны рекомендации по совершенствованию регулирующей функции государства в сфере альтернативной энергетики.

Ключевые слова: энергоэффективность, альтернативные источники энергии, энергетическая безопасность, альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии.

Annotation. In the article the results of a research of the current status and prospects for the development of alternative energy sources in Ukraine are presented, the analysis of the world experience in the use of alternative renewable sources of energy is conducted, recommendations to improve the regulatory function of the state in the field of alternative energy are elaborated.

Key words: energy efficiency, alternative sources of energy, energy preparedness, alternative energy, renewable energy source.

Вступ. В умовах світової енергетичної кризи все більше розвинених країн формують свої енергетичні стратегії, спрямовані на розвиток альтернативної енергетики. Основний зміст перетворення паливно-енергетичного комплексу полягає в підвищенні економічної ефективності використання енергоресурсів та зменшенні залежності від їх імпорту, що є вкрай актуальним для України. Таким чином, очевидно є необхідність поглибленого наукового розгляду вищевказаних процесів з метою локалізації існуючих проблем, а також розробки рекомендацій щодо їх вирішення.

Завдання та мета дослідження. Основною метою нашого дослідження є аналіз перспектив використання альтернативних видів енергії в Україні. Відповідно до мети поставлені завдання:

- проаналізувати стан розвитку сфери альтернативної енергетики в Україні;
- виявити найбільш ефективні напрями використання альтернативної енергетики;

- запропонувати рекомендації спрямовані на збільшення частки альтернативних джерел в загальному енергобалансі країни.

Результати дослідження. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії останнім часом стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого все більше і більше турбують світову спільноту.

До нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) відносять гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, гази з біомаси, рідкі біопалива та відновлювані муніципальні відходи, а також теплову енергію, що «створюється» завдяки тепловим насосам, торф, шахтний метан та вторинні джерела енергії, такі як: скидне тепло, промислові відходи, тиск доменного газу та природного газу під час його транспортування.

На сьогодні частка НВДЕ у виробництві енергії у світі ще не є значною, але їх потенціал на кілька порядків перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. Темпи зростання обсягів виробництва енергії НВДЕ також значно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії. Так, у найближчі 10 років, прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії традиційної електроенергетики на рівні 2,8%, а електроенергії НВДЕ – 9,2% [1].

В Україні також існує значний потенціал використання НВДЕ. З іншого боку, проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій, якими є, в тому числі, і НВДЕ. Але, незважаючи на декларативні заяви щодо усвідомлення цієї потреби з боку різних гілок влади та низку нормативно-законодавчих актів, які стосуються розвитку НВДЕ, – реальних кроків щодо впровадження НВДЕ зроблено досить мало. Частка НВДЕ в енергетичному балансі країни становить лише 7,2 % (6,4 % - позабалансові джерела енергії; 0,8 % - відновлювані джерела)

Змінити ситуацію можна шляхом проведення відповідної енергетичної політики, вдосконалення нормативно-правової бази та залучення інвестицій у розвиток НВДЕ. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України, її гідного місця у Європейській спільноті потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми [2].

За даними Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 р. частка електроенергії, видобутої за допомогою альтернативних джерел, збільшиться вдвічі порівняно із сьогоднішніми показниками, що складають близько 16 % від усього виробництва.

У більшості розвинених країн, зокрема у США, Німеччині, Іспанії, Швеції, Данії, Японії, планують довести частку відновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі до 20-50 %. Європейська комісія вважає, що у 2020 р. в Європі п'ята частина енергії вироблятиметься з екологічно безпечних джерел.

Невідкладним кроком у напрямку покращення енергетичної ситуації України, зменшення її енергозалежності, а також подальшої інтеграції в Європейську співдружність, повинна стати усебічна підтримка держави розвитку та впровадження альтернативних енергетичних установок у регіонах з найвищими показниками економічної доцільності. Цього можливо досягнути шляхом виконання наступних дій:

- удосконалення низки існуючих законодавчих актів щодо відновлювальних джерел енергії, які б сприяли підвищенню економічної ефективності виробництва альтернативної енергії;
- розробка інвестиційних проектів з метою залучення додаткових вкладень в дану галузь;
- надання гарантій державою виробникам «чистої» енергії щодо її купівлі за фіксованими тарифами;
- забезпечення рівня енергетичної безпеки України завдяки модернізації мережі існуючих енергетичних установок, підвищення рівня їх надійності та безперебійності роботи;
- інформування населення України щодо перспективності використання нетрадиційних джерел енергії, необхідності збереження довкілля та зменшення викидів парникових газів в атмосферу від спалювання традиційних видів палива.

У цілому доцільність використання альтернативних джерел енергії в перспективі може забезпечити для України наступне:

- зміцнення державності України за рахунок підвищення енергетичної та економічної незалежності;
- зниження енергоємності внутрішнього валового продукту;
- досягнення світового рівня ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів;
- зменшення обсягів імпорту паливно-енергетичних ресурсів;
- створення ринку енергозберігаючого обладнання, відповідної техніки та технологій;
- технічне та технологічне переоснащення енергоємного виробництва;
- конкурентноздатність вітчизняних товарів;
- підвищення добробуту громадян;
- підвищення рівня зайнятості населення;
- підвищення рівня безпеки праці та культури виробництва;
- покращення стану здоров'я людей;
- зменшення обсягів шкідливих викидів у довкілля;
- відтворення природних ресурсів;
- виконання міждержавних угод щодо підвищення рівня екологічної безпеки.

Висновки. Під впливом сучасних світових тенденцій розвитку сфери енергетики та з метою зменшення енергетичної залежності від дорогих органічних джерел й збільшення частки альтернативної енергетики в енергобалансі країни українською владою за останні роки було здійснено ряд заходів по стимулюванню галузі альтернативної енергетики. Але попри певні позитивні зрушення у сфері альтернативної енергетики й досі існує спектр проблем, які потребують державного врегулювання. Широкомасштабне освоєння енергії поновлюваних джерел дозволить створити нову

екологічно безпечну галузь енергетики, що сприятиме підвищенню рівня диверсифікації енергоресурсів і зміцненню енергетичної і екологічної безпеки України.

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20 лютого 2003 року (№ 555IV).
2. Гелехута Г.Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Ч. 1. / Г.Г. Гелехута, Т.А. Железна // Пром. Техніка. – 2010. – Т. 32, №3. – С. 71-79.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc.
4. Передерій, Н. О. Формування ринку альтернативних джерел енергії з біомаси в Україні: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.03 / Національний ун-т біоресурсів і природокористування України.— К., 2009. — 19 с.
5. Потужність альтернативної енергетики в Україні за рік зросла вдвічі [електронний ресурс] // — Режим доступу: <http://news.finance.ua/ua/~1/0/all/2013/02/23/297236>.
6. Офіційний сайт Міністерства палива та енергетики України. – www.kmu.gov.ua.

УДК 621.11

Задвернюк В.В., Олейник Н.В.

ТЕПЛОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ҐРУНТУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ОСНОВНЕ ДЖЕРЕЛО РОБОТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСА (ТН).

У даній статті розглянуто питання визначення глибини промерзання ґрунту в зимовий період, а також деякі зовнішні чинники, що впливають на роботу ТН. Розглянуто: різні варіанти використання температурних даних: від точних (експериментальних) до середніх показників, рекомендованих СНІП і програмним середовищем RetScreen; вплив вибору джерела даних на раціональність і ефективність вибору і роботи ТН.

Ключові слова: глибина промерзання, температура ґрунту, температура повітря, тепловий насос.

ТЕПЛОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ ГРУНТА КИЕВСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА (ТН).

В данной работе рассмотрен вопрос определения глубины промерзания грунта в зимний период, а также некоторые внешние факторы влияющие на работу ТН. Рассмотрены: различные варианты использования температурных данных: от точных (экспериментальных) до средних показателей, рекомендованных СНИП и программной средой RetScreen; влияние выбора источника данных на рациональность и эффективность выбора и работы ТН.

Ключевые слова: глубина промерзания, температура грунта, температура воздуха, тепловой насос.

THERMAL POTENTIAL OF SOIL OF KYIV AREA AS BASIC SOURCE OF WORK OF HEAT-PUMP (HP).

In hired the question of determinations of depth of the frozen solid of soil is considered in a winter period, and also some external factors influencing on work HP.

It is considered: different variants of the use of temperature data from exact (experimental) to the middle indexes, recommended SNIP and programmatic environment of RetScreen; influence of choice of source of data on rationality and efficiency of choice and work of HP.

Keywords: depth of the frozen solid, temperature of soil, temperature of air, heat pump.

В данной работе предложен метод расчета для определения температуры грунта, а также сравнительный анализ с расчетом температуры грунта по усредненным данным из источников СНИП [9] и RetScreen [6], что влияет на определения эффективной глубины закладки трубопровода теплового насоса.

В настоящее время обеспечение теплоснабжения жилых и производственных помещений на основе энергетических технологий с использованием тепловых насосов (ТН) является одним из наиболее динамично развивающихся направлений мировой возобновляемой энергетики. Ежегодный рост количества устанавливаемых почти в

тридцати странах таких систем оценивается в 10%, а общее число уже работающих ТН приближается к миллиону.

Использование грунта поверхностных слоев Земли как источника низкопотенциальной тепловой энергии геотермальных тепловых насосов для обеспечения нужд теплоснабжения и хладоснабжения возможно практически повсеместно. В сравнении с воздухом грунт имеет явные преимущества: температура грунта на относительно небольшой глубине имеет положительные температуры, в отличие от низких температур воздуха, которые могут достигать $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Несомненным достоинством является и более высокая теплоемкость и плотность грунта, в одинаковом объеме в грунте содержится теплоты на несколько порядков больше, чем в воздухе.

В первую очередь оценке подлежит энергетический потенциал грунта в месте расположения отапливаемого помещения.

Учет энергетических перетоков осложнен происходящими изменениями агрегатного состояния влаги, заключенной в порах грунта и находящейся в общем случае, как в жидкой, так и в твердой и газообразной фазах одновременно. При этом в капиллярно-пористых системах, какой является грунтовый массив системы теплосбора, наличие влаги в поровом пространстве оказывает заметное влияние на процесс распространения тепла. При наличии в толще грунтового массива температурного градиента молекулы водяного пара перемещаются к местам, имеющим пониженный температурный потенциал, но в то же время под действием гравитационных сил возникает противоположно направленный поток влаги в жидкой фазе. Кроме этого, на температурный режим верхних слоев грунта оказывает влияние влага атмосферных осадков, а также грунтовые воды.

Энергетический потенциал грунта во многом зависит от геологии местности, типа грунта и глубины залегания грунтовых вод [1, 3, 4].

С целью определения теплового потенциала некоторого объема грунта, который может быть использован тепловым насосом, нами был рассмотрен механизм теплообмена в системе «грунт — рабочая среда теплового насоса» (рис. 1).

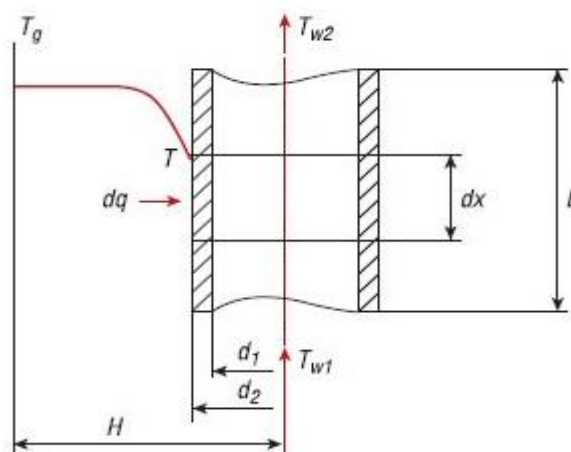


Рис.1 Теплоотдача от грунта к рабочей среде теплового насоса.

Теплоотдача от грунта к рабочей среде теплового насоса определяется балансом тепла, отданного от грунта трубе коллектора теплового насоса, и количеством тепла, воспринятым рабочей средой теплового насоса. Уравнение теплоотдачи в этом случае имеет следующий вид:

$$\frac{(T_g - T) \cdot dx}{R} = C_p \cdot M \cdot dT, \quad (1)$$

где T_g — температура грунта, °C;

T — текущее значение температуры рабочей среды, °C;

C_p — теплоемкость рабочей среды, кДж/(кг · град);

M — массовый расход рабочего тела через поперечное сечение коллектора, кг/с;

dT — изменение температуры рабочей среды на элементарном участке dx , °C;

R — суммарное термическое сопротивление теплоотдачи от грунта рабочей среде теплового насоса.

Полагая, что C_p , M и R являются величинами постоянными, разделяя переменные и проинтегрировав уравнение (1) в пределах изменения длины коллектора от 0 до L и температуры рабочей среды от T_{w1} до T_{w2} , получим зависимость для расчета температуры рабочей среды теплового насоса на выходе из коллектора:

$$T_{w2} = T_g - (T_g - T_{w1}) \cdot e^{-AL}, \quad (2)$$

Где

$$A = \frac{1}{(R \cdot C_p \cdot M)}.$$

Уравнение (2) показывает, что определяющим параметром для работы теплового насоса, использующего низко потенциальное тепло грунта, является температура грунта и динамика ее изменения.

Однако, оценка эффективности грунтовых теплообменников невозможна без моделирования изменения температур в поверхностных слоях. Изучение этих вопросов уделялось при проектировании подземных трубопроводов и теплотрасс. Результаты этих исследований послужили основой для разработки нормативов, в частности для крупных населенных пунктов в [3] представлены изменение температуры грунта на глубине 1,6 м.

Однако, коллекторы тепловых насосов закладываются на разных глубинах. Вопросам моделирования температур в поверхностных слоях посвящено несколько работ [4,5]. Наибольший интерес представляет работа [6], в которой представлена зависимость, позволяющая прогнозировать температуру грунта в течение года:


(4)

Представленная зависимость использует размерности традиционные для Северной Америки, что затрудняет ее применение. Кидрук М.И. выполнил ее преобразование, для представления исходных данных в системе СИ [7].



Даже предварительный анализ полученных зависимостей может выявить ряд проблем по их использованию. Остается открытым вопрос о выборе исходных данных, в частности непонятным является принятие годовой амплитуды колебания температуры A_s . Очевидным, что данное значение относится к колебаниям температуры поверхности

почвы. Определение этого значение связано с некоторыми проблемами, поэтому некоторые авторы [7] приравнивают температуру поверхности к температуре окружающего воздуха. Если принять максимальные и минимальные значения температуры наружного воздуха, то результаты расчета становятся неадекватными. В частности в работе Кидрука М.И. представлены расчеты для г. Киев. Минимальной температурой принято значение -19°C , а максимальной $+33^{\circ}\text{C}$. В этом случае результаты вычислений дают зону промерзания более трех метров, что не соответствует многолетним наблюдениям в этой местности. По всей видимости, в данном случае нельзя выполнять такие упрощения.

Поэтому проведя ряд практических точных исследований, результаты эксперта [12] показали глубину промерзания грунта 0.61 м :

В справочнике [9] с картой районирования глубины промерзания показано , что глубина промерзания грунтов для Киевской составляет 0.8 — 0.9 метров. Ниже проведены практическое исследование глубины промерзания грунта в 10 км от Киева — вниз по Днепру :

10.03.2015 (температура воздуха $+4.4$, солнечно) были сделаны шурфы в 10 км от Киева — вниз по Днепру , результаты анализа глисовых почв показали следующую структуру в составе исследуемого грунта:

Снег	20 см
Твердая корка льда	1.5 см
мерзлый грунт (очень твердый)	3 см
мерзлый грунт (поддается дроблению)	7 см
условно мерзлый грунт	10 см
Увлажненная глина (вода- в жидкой фазе)	100 см и более

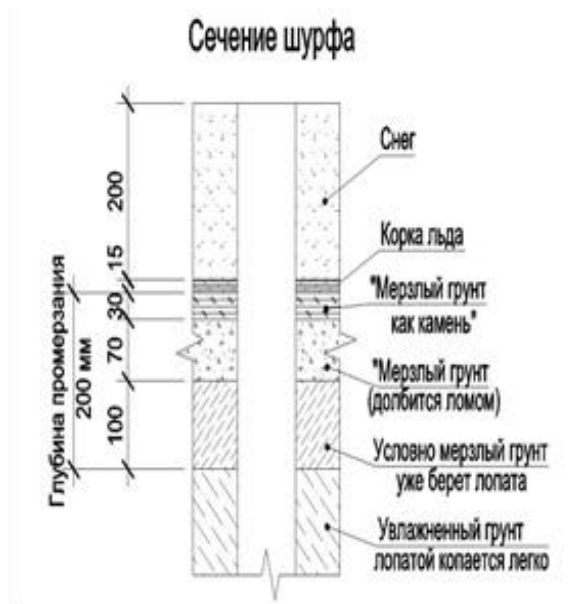


Рис.2 Состоящие слои грунта

То есть реальный замер показал глубину промерзания — **0,20 м** или на 0,41м меньше нормативного и на 0,7- 0,8 м меньше «общепринятого».

То есть при закладке трубопровода ТН необходимо оценивать геометрию слоистости грунта, привлекать компетентного проектанта, что бы тот корректно пересчитал эффективность работы теплового насоса.

Для того что бы точно определить температуру поверхности почвы необходимо рассматривать поступления теплоты, как от воздуха, так и от солнечной радиации, т.е. необходимо рассмотреть граничные условия третьего рода.

Температура поверхности почвы может быть определена по следующей зависимости из [8]:

$$\tau_{z+1} = \frac{\alpha_s + \frac{\lambda \tau_{z,z} + Q_{sp}}{\Delta x}}{\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x}}, \quad (6)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от грунта к воздуху, Вт.м²град

Δx – толщина поверхностного слоя, м

$\tau_{2,z}$ – температура грунта ниже поверхностного слоя в предыдущий расчётный интервал времени.

Однако, решение этого уравнения усложняется необходимостью учета динамики как теплового потока от солнечной радиации $Q_{с.р.}$, так и годовому изменению температуры воздуха t_v .

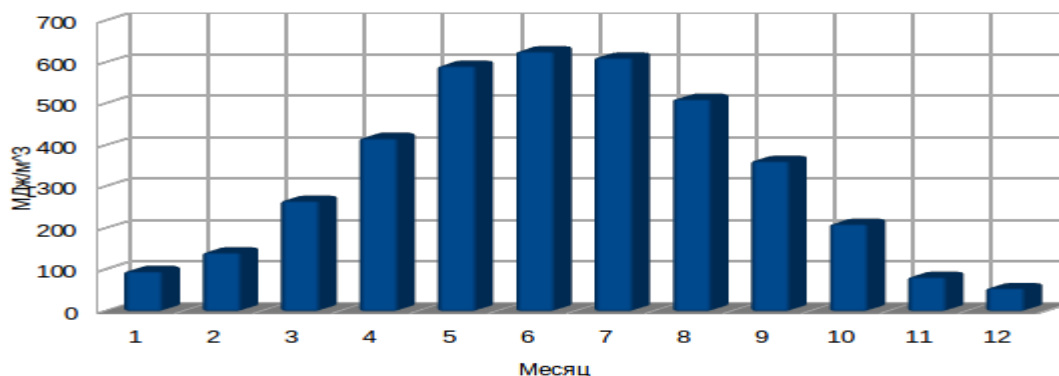
Температура воздуха в течение года изменяется в широких пределах, причем стояние экстремальных значений температур носит непродолжительный характер, поэтому аппроксимация этой зависимости виде гармонической функции неизбежно приведет к значительным искажениям действительности. Для подтверждения этого утверждения произведем анализ стояния температур в г. Киеве. В соответствии климатологией [9] стояние температур может быть выражено в виде следующего графика, изображенного на рис. 3.



Рис. 3. Изменение температур в Киеве за 2014 год.

Поступление солнечной радиации на горизонтальную поверхность достаточно хорошо изучено и может быть определено для любых широт. В СНИПе «Строительная климатология» представлены данные поступления теплоты для всех месяцев года. Несложно сделать преобразования и с учетом допущения, что средние значения соответствуют середине месяца, определить тепловой поток на поверхность грунта. На рис. 4 представлена кривая солнечной радиации по данным [9] и аппроксимация в виде гармонической функции, которая имеет минимальные отклонения от экспериментальных значений.

Таблица 1: Суммарная (прямая и рассеяная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м³



Город	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Киев	96	141	266	417	591	626	611	511	362	210	82	55

Рис. 4. Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в г.Киеве.

Практический расчет температуры грунта по данным СНИП

Согласно указанной выше формуле (6) рассчитаем среднюю температуру грунта в г.Киеве.

Расчетные данные:

- α , Вт/(м²·°C) — Коэффициент теплоотдачи рассчитаем по формуле

$$\alpha = 11.6 + 7 \cdot \sqrt{\omega} = 25.6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$
- ω , м/с. — средняя скорость ветра, по данным СНИП в Киеве, 4 м/с.
- $T_{\text{в}}$, °C — температура воздуха, по данным метеорологической службы
 среднегодовая температура в Киеве — 7.7 °C
- $T_{2,n}$, °C — температура ниже поверхностного слоя земли, в данных расчетах
 среднегодовая ТНПС на глубине 1.6 м = 9.25 °C
- Δx , м — толщина поверхностного слоя = 0.8 м;
- λ , мВтК — коэффициент теплопроводности грунта, для расчета мы используем среднее значение (λ грунта с 10% воды, λ грунта песчаный, λ грунта сухого, λ грунта утрамбованного) = 1.09 Вт/м·K;
- $Q_{\text{с.р}}$ — суммарная (прямая и рассеянная) среднегодовая солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности. = 3968/12 = 537.443 МДж/м²

Рассчитаем по формуле подставив значения

$$(25.6 \cdot 7.7 + ((1.5 \cdot 9.25) / 0.8) + 330.66) / (25.6 + (1.09 / 0.8)) = 19.979 \text{ °C}$$

Данное значение не соответствует данным по СНИП среднегодовой температуры грунта. Среднегодовая температура грунта в г.Киеве порядка 8,5 °C — 9,35 °C, что существенно искажает точность полученных расчетов, вследствие чего расчет по

усредненным данным СНИП является в большей степени ориентировочным, чем показательным.

Расчет средней температуры грунта по программе RetScreen 4, согласно данным NASA.

Согласно расчетам среднегодовая температура составляет 8,4°C что изначально входит в данные СНИП предоставленные в таблице (8,5 – 9,35°C).

Средняя температура грунта в °С для некоторых пунктов СССР													
Наименование городов	Зимняя		Летняя		Годовая		Наименование городов	Зимняя		Летняя		Годовая	
	Глубина грунта в м							Глубина грунта в м					
	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6		0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6
Брест	1,2	3,1	19,1	16,4	9,7	9,6	Москва	1	1,6	14,4	13,4	6,5	6,5
Бежецк	0,5	1,9	17,4	15,4	8,3	8,2	Минск	1	2,9	11,8	10,7	8,5	8,4
Вологда	1	2	13,2	10,9	5,9	5,9	Одесса	3,2	5,5	23	19,6	12,7	12,5
Волгоград	—1,9	0,7	23,7	19,5	10,1	10,2	Орел	0	1,8	17,2	14,8	7,5	7,6
Гродно	0,3	1,5	19,4	16,1	8,4	8,3	Оренбург	—1,1	1,9	15,6	12,5	6,8	7,1
Даугавпилс	—1,6	—0,1	18,5	17,7	5,5	5,8	Ростов-на-Дону . . .	0,8	4,8	20,2	16,6	10,4	10,7
Иваново	—0,1	1,3	15	13,3	6,2	6,3	Рига	—1,3	—0,3	16,5	16,2	6,2	6,3
Киев	1	2,7	17,3	15,1	8,5	8,5	Свердловск	0,75	2,7	12	9,1	6	5,5
Ленинград	—2,5	0,7	16,3	13,7	5,4	5,9	Харьков	1,5	2,7	17,1	15,7	8,8	8,9

Размещение климатических данных								
Единица				Местоположение проекта				
С.ш.				50,4				
В.ш.				30,6				
М				167				
°C				-15,1				
°C				27,8				
°C				22,2				

Месяц	Дневная сумма солнечной радиации -					Градусо-дни		
	Температура воздуха °C	Относительная влажность %	горизонтальная кВтч/м²/день	Атмосферное давление кПа	Скорость ветра м/с	температуры сезона °C-д	отопительного °C-д	с отрицательной температурой °C-д
Январь	-5,6	82,3%	0,79	100,0	3,5	-5,9	732	0
Февраль	-4,2	78,9%	1,27	100,0	3,6	-4,9	622	0
Март	0,7	73,5%	2,56	99,8	3,6	0,5	536	0
Апрель	8,7	66,1%	3,21	99,4	3,2	9,8	279	0
Май	15,1	63,1%	4,98	99,5	3,1	16,8	90	158
Июнь	18,2	69,5%	5,44	99,3	2,9	19,8	0	246
Июль	19,3	69,7%	5,70	99,3	2,6	22,0	0	288
Август	18,6	69,3%	4,62	99,5	2,6	21,8	0	267
Сентябрь	13,9	75,2%	3,04	99,6	2,8	15,8	123	117
Октябрь	8,1	78,3%	1,80	100,0	2,9	8,5	307	0
Ноябрь	2,1	84,9%	0,73	99,9	3,2	0,4	477	0
Декабрь	-2,3	84,7%	0,58	99,8	3,4	-5,1	629	0
Ежегодный	7,8	74,6%	2,90	99,7	3,1	8,4	3 795	1 076
Измерено в								
М								

Из этого следует что, данные расчеты программы RetScreen 4 совпадают с табличными данными СНИП, но не совпадают с температурой рассчитанной по формуле (6). Из этого следует, что для того чтобы рассчитать точную температуру на определенной глубине грунта – необходимо собрать точные данные каждого слоя грунта, а именно: определить коэффициент теплопроводности составных слоев грунта, коэффициент теплоотдачи

поверхности грунта воздуху, а также учитывать глубину промерзания грунта в зимний период и точную температуру ниже нижнего расчетного слоя поверхности (в нашем эксперименте – ниже уровня закладки датчика).

Однако с помощью программы RetScreen 4 при точных данных, возможно и просчитать финансовые затраты, а также увеличить эффективность и экономичность проекта.

Вывод:

Программное обеспечение RetScreen Suite 4 подходит для расчета усредненных данных расчета температуры грунта в г.Киеве, однако для эффективной работы ТН нужно использовать точные данные, в данной работе был предоставлен пример расчета температуры грунта, однако взятые для расчета табличные данные по СНиП были достаточно усредненными. Выводом для этого стало существенное расхождение расчетного значения температуры грунта и табличное значение по СНиП температуры грунта. Из этого следует, что взятых усредненных данных недостаточно для эффективной установки ТН, путем решения этой проблемы является практическое исследование определенного участка почвы грунта, а также всех остальных основополагающих факторов влияющих на температуру грунта. Только практическое исследование, а также взятие всех данных для формулы [8] позволит по максимуму использовать тепловой насос.

Литература:

- 1) Мазурова О.К., Чебанова Т.О. К оценке эффективности переохлаждения для ряда хладагентов в теплонасосном цикле [Электронный ресурс] // Интернет-журнал "Науковедение", № 3, 2013, <http://naukovedenie.ru/PDF/52trgsu313.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 2) Kavanaugh P.K. and Rafferty K. Ground-source Heat Pumps — Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings // Publishing of American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, USA. — 1997. — 223 p.
- 3) Справочник по климату СССР (Л. : Гидрометиздат. Вып. 1–34).
- 4) Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: Монография. Издательский дом «Граница». – М. : Красная звезда, 2006. 263 с.
- 5) Федянин В.Я., Карпов М.К. Использование грунтовых теплообменников в системах теплоснабжения. ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК, № 4, 2006, стр. 98-103.
- 6) RETScreen® International. Ground-source Heat Pump Project Analysis: Chapter // RETScreen® Engineering & Cases Textbook. – Ministry of Natural Sources of Canada, 2005. – 70 p.
- 7) Кидрук М.И. Моделирование работы грунтового коллектора теплового насоса. [Электронный ресурс] <http://progress21.com.ua/ru/articles/groundcollector> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 8) Руденко Н.Н., Фурсова И.Н. Моделирование температурного поля в грунте. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2 (часть 1). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1697> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 9) СНиП 23-01-99 Строительная климатология.
- 10) Фурсова И.Н., Терезников Ю.А. Исследование влияния температуры внутреннего воздуха на распределение температуры поверхности тёплого пола [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, **№ 2 (часть 2).** – Режим

доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1700> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11. Данные метеослужбы с сайта [http://rp5.ua/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9A%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B5_%D0%96%D1%83%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B0%D1%85_\(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\)](http://rp5.ua/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9A%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B5_%D0%96%D1%83%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B0%D1%85_(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82))

12. <http://proektproekt.com/2010/03/11/glubinagrunta/>

УДК 621.311:658.26:35.08

Є.М. Іншеков – к.т.н., доцент, Л.А. Плотник – магістр

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТОРФУ В ЯКОСТІ МІСЦЕВОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ

Анотація. У статті розглянуто перспективи використання альтернативного виду палива, такого як торф. Вказаний потенціал та запаси торфу в Україні, його переваги при використанні в якості палива. Запропоновано захід по модернізації котельні для заміщення використання природного газу – торфом. Розраховано економічну доцільність впровадження заходу.

Ключові слова: торф, альтернативне паливо, зола, теплота згоряння, рентабельність, термін окупності.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ МЕСТНОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы использования альтернативного вида топлива, такого как торф. Указанный потенциал и запасы торфа в Украине, его преимущества при использовании в качестве топлива. Предложено мероприятие по модернизации котельной для замещения использования природного газа - торфом. Рассчитано экономическую целесообразность внедрения мероприятия.

Ключевые слова: торф, альтернативное топливо, зола, теплота сгорания, рентабельность, срок окупаемости.

PROSPECTS OF USING PEAT AS A LOCAL ALTERNATIVE FUEL FOR INDUSTRIAL FACILITY BOILER

Annotation. In this article prospects of using local alternative boiler fuel for industrial facility, like peat, was considered. Ukraine capacity and stocks of peat was mentioned, its pros of using as fuel. Boiler house modernisation was offered for replacement of use of natural gas by peat. Economic feasibility of the event was calculated.

Keywords: peat, alternative fuel, ash, combustion heat, profitability, payback period.

Вступ

Залежність української економіки від зовнішніх джерел енергопостачання являє собою проблему національної безпеки. Стабільність в енергозабезпеченні та ефективному використанні енергоресурсів значною мірою підвищує рівень економічного, енергетичного та соціального розвитку держави. На сучасному етапі для України дане питання є однією з найбільш гострих проблем. Промислові підприємства країни витрачають великі кошти на придбання енергоносіїв. Високі ціни на природний газ, а також його недостатньо ефективне використання привели до того, що паливна складова в собівартості продукції виявилася досить високою. Нині необхідна модернізація більшості великих промислових котелень. Нагальною потребою є застосування альтернативних місцевих видів палива для забезпечення тепловою енергією котелень промислових підприємств.

Завдання та мета дослідження

З огляду на тенденції зростання цін на енергоносії, необхідним стає заміщення споживання природного газу - місцевим альтернативним видом палива. Не дорогим та вітчизняним видом палива є торф, значними запасами котрого володіє Україна. Економія коштів та зниження собівартості продукції є першочерговим завданням промислового підприємства, тож необхідним стає найскоріше прийняття рішень задля раціоналізації процесів виробництва загалом.

Результати досліджень

Торф як альтернативне джерело енергії. Запаси торфу в Україні та його класифікація. Особливості використання.

Згідно прогнозу[1] у перспективі до 2030 року подальший розвиток систем генерації теплової енергії має відбуватися шляхом підвищення їх ефективності із суттєвим зниженням обсягів споживання природного газу та його заміною на більш доступні для країни власні види палива, у тому числі й альтернативні. Незважаючи на наявний значний потенціал цих видів палива, їх частка у загальному енергетичному балансі України на сьогодні є незначною. У той же час у ряді країн Європи споживання таких видів палива досягає 20 ... 24 % [2] від загальних обсягів, що спрямовуються на отримання теплової енергії.

Рівень енергетичної безпеки визначається спроможністю паливно-енергетичного комплексу забезпечувати країну енергоресурсами як в умовах сталого розвитку, так і надзвичайних та особливих станів держави. Безпека паливно-енергетичного комплексу залежить не стільки від економіки, скільки від реального, а не декларованого рівня політичної незалежності держави. В нинішніх умовах значної залежності України від імпортованого природного газу, чіткої актуальності набуває процес диверсифікації енергоносіїв, який має бути направлений на скорочення обсягів імпорту газу через використання місцевих та альтернативних видів палива.

Торф – це органічна гірська порода, що утворилася внаслідок неповного біохімічного розкладу відмерлих болотних рослин в умовах надлишкового зволоження при нестачі кисню, яка містить до 50 % мінеральних компонентів на суху речовину. На сьогоднішній день відомі такі види торфового палива: торф фрезерний для спалювання у пилоподібному стані; торф паливний кусковий; торфові паливні брикети; торфові гранули.

Брикети та гранули мають сталий склад з незначною кількістю шкідливих домішок. Димові гази, що утворюються в процесі їх згоряння, практично не містять екологічно шкідливих речовин. Торф'яна зола майже аналогічна деревній і застосовується як ефективне вапняне і фосфорне добриво. Цінність будь-яких горючих копалин органічного походження залежить від цілої низки факторів, провідними з яких є хімічний склад маси, вологість, густина палива та ін.

Світові запаси торфу оцінюються в 500 млрд. т, площа торфових родовищ світу становить 176 млн.га. Торф'яники вкривають близько 3 % поверхні земної суші.

Основними споживачами торфу є сільське господарство і промислово-енергетичний комплекс. На сучасному етапі найпоширенішим напрямком використання торфу є паливний. Глобальне енергетичне використання торфу нині оцінюється у 7 млн. тонн умовного палива на рік.

На виробництво енергії придатний тільки торф середнього й високого ступенів розкладання, який видобувають із серединних та донних частин боліт. Важливою перевагою торфу є його своєрідне горіння. Адже торфові волокна містять кисень, тому торф здатен горіти без додаткової подачі кисню.

Україна має в своїх надрах близько 2,2 млрд. тонн торфу, з яких 933 млн. 951 тис.

тонн віднесені до категорії промислових. І реалії сьогодення не дають підстав прогнозувати зменшення ролі торфових палив у задоволенні потреб населення та об'єктів малої енергетики. Це знайшло своє відображення у Концепції розвитку торф'яної промисловості України до 2030 року.

В таблиці 1 [3] наведено дані щодо промислового енергетичного та доцільно-економічного потенціалів запасів торфу за окремими областями України.

Таблиця 1- Потенціали покладів торфу в Україні

№ з/п	Області	Загальний енергетичний потенціал, млн. т у.п.	Доцільно-економічний потенціал, млн. т у.п.
1.	Вінницька	16,8	4,3
2.	Волинська	169,5	93,7
3.	Житомирська	35,7	19,6
4.	Івано-Франківська	5,6	2,1
5.	Київська	88,1	18,0
6.	Львівська	85,0	30,0
7.	Полтавська	44,8	17,6
8.	Рівненська	144,6	70,7
9.	Сумська	40,7	25,2
10.	Тернопільська	47,2	14,1
11.	Херсонська	1,4	1,0
12.	Хмельницька	29,1	12,2
13.	Черкаська	23,6	9,8
14.	Чернігівська	100,6	43,7
Всього:		832,7	362,0

В Україні виявлено і розвідано більше 3 тисяч торф'яних родовищ із загальними запасами 1853 млн. тонн, а загальна їх площа становить 639,5 тис. га. Близько 96% торф'яних ресурсів України належить до низинного типу, 1,8% - верховий, 1,6% - перехідний і 0,6% - змішаний. Найбільші ресурси торфу зосереджені в північних регіонах країни (на Поліссі) - Волинській, Рівненській, Сумській, Чернігівській та Житомирській областях. На їх території виявлено і розвідано 1056 родовищ, запаси яких складають 1160 млн. тонн [5].

Згідно з прогнозом [6], у 2020 р. видобуток торфу зросте до 3,5 млн т, з нього паливного буде 2,0 млн т, у 2030 р. відповідно – 4,5 і 2,5, частка паливного торфу буде складати 55 ... 57 %.

Таблиця 2 – Вимоги на торф фрезерний для виробництва брикетів (ГОСТ 13672-86)

Найменування показників	Норма	Метод випробувань
Зміст робочої вологи, %, не більше	50	ГОСТ 11305-83
Зольність (A^d), %, не більше	15	ГОСТ 11306-83
Насипна щільність при умовній вологості 40%, кг/м ³	200	ГОСТ 13673-76
Засміченість сторонніми горючими домішками, %, не більше,	5	ГОСТ 11130-75

Залежно від галузі застосування розрізняють: торф фрезерний (табл. 2), торф паливний для пилоподібного спалювання (табл. 3). Ступінь розкладу торф'яної поклади повинна становити не менше 10% для низинного торфу і 15% для перехідного і верхового типів. Торф низького ступеня розкладання призначений для використання в сільському господарстві і зеленому будівництві, квітництво, тваринництві, промисловості, медицині,

екології. Ступінь розкладу торфу не повинна перевищувати 20% [8]. Максимальна теплота згоряння торфу становить 24 МДж/кг.

Таблиця 3 – Характеристика фрезерного торфу для пилоподібного спалювання

Найменування показників	Значення	Метод випробування
Масова частка загальної води, %, не більше	52	ГОСТ 11305-83
Зольність A^d , %, не більше	23	ГОСТ 11306-83
Засміченість З (шматки розміром понад 25 мм), %, не більше	8	ГОСТ 11130-75
Масова частка загальної сірки, %, не більше	0,5	ГОСТ 8606-93 (ИСО 8601-2001)

При використанні верхового торфу низького ступеня розкладання основними продуктами гідролізу є зацукрований торф, кормові дріжджі, торф'яна меляса. Негідролізуємий залишок може бути застосований для отримання активних вугіль, торфолужних реагентів, наповнювачів пластмас або для виробництва гранульованих торф'яних добрив. При переробці верхового торфу зі ступенем розкладання понад 30% основним продуктом є віск, а залишок можна використовувати для отримання активних вугіль, наповнювачів пластмас, торфощелочних реагентів.

Приблизний вміст елементів у горючій масі торфу представлено в таблиці 4 [4].

Таблиця 4 – Елементарний склад горючої маси торфу

Елемент, його позначення	Вміст, %
Вуглець (Карбон, C^I)	53,6 - 63,7
Водень (Гідроген, H^I)	5,1 - 6,6
Кисень (Оксиген, O^I)	В середньому 33,4
Азот (Нітроген, N^I)	1,6 - 3,7
Сірка (Сульфур, S^I)	В середньому 0,3

Зола, яка утворюється після спалювання торфу, має наступний хімічний склад, представлений переважно такими оксидами: 30 % SiO_2 ; 9 % Al_2O_3 , 7 % Fe_2O_3 , 46 % CaO , 1 % MgO , 3 % SO_3 , 0,6 % K_2O , 0,08 % TiO_2 . Значний практичний інтерес має використання такого альтернативного палива, як торф. Енергетичну характеристику альтернативного палива залежно від вологості та вмісту золи в трикутнику Таннера показано на рисунку 1 [7].

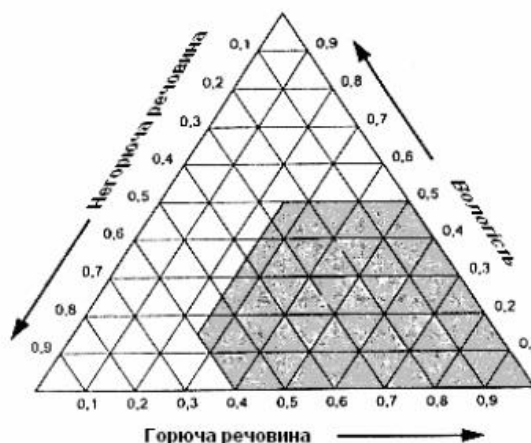


Рис. 1 - Енергетична характеристика альтернативного палива (сіре поле – поверхня автотермічного горіння)

Переваги торфу як альтернативного виду палива:

- високий показник енергоконцентрації: теплотворна здатність-3800-4600 Ккал / кг. Цей показник можна порівняти з вугіллям і в 1,6 разів вище, ніж у деревини. Під час згоряння 1000 кг. торфу виділяється стільки ж теплової енергії, як при спалюванні 685 л. топкового мазуту, 500 л. дизельного палива, 479 м³ природного газу або 1600 кг. деревини;
- граничний низький вміст сірки, що складає 0,15 % у торфі проти 2,0-4,0 % у вугіллі;
- торф - безпечний та екологічно чистий вид палива. При його згорянні виділяється така ж кількість СО₂, як і при природному розкладанні біомаси. Виготовлення пелет або брекета полягає тільки в пресуванні торфу під високим тиском, без додавання хімічних домішок;
- помітне зменшення витрат на паливopідготовку;
- великий вихід летючих речовин у торфі (близько 70%) забезпечує гарні умови розпалювальної топки.
- торф'яне паливо не викликає займання в димоходах, так як ні в них, ні в димі не міститься важкого креозоту;
- конструктивні особливості печей дозволяють автоматизувати процес згоряння;
- торф'яне паливо не спалахує, не іскрить, тобто безпечне для шкіри і очей людини;
- торф'яне паливо не виділяє канцерогенних або токсичних парів;
- відносно низька вартість у порівнянні з вугіллям, мазутом, газом;
- золу після спалювання торфу можливо використовувати для розкислювання сільськогосподарських ґрунтів та як мінеральне добриво.

Захід підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, при переході з природного газу на торф, на прикладі промислового підприємства.

Для переходу з природного газу на торф у котлі ДКВР 6,5/13 необхідно встановити 1 додаткову форсунку, для торфу. Система підготовки та подачі торфу включає: бункер засипки, з якого по шнеку подається паливо у млин, із млина по шнеку торф поступає до очищувача, після чого на робочий бункер (для збереження у підготовленому стані), далі йде на бункер подачі, звідки подається до форсунки, також одночасно до форсунки за допомогою нагнітаючого вентилятора поступає повітря. Після цього вводимо котел у робочий режим, для цього на щиту управління встановлюємо необхідну подачу торфу, та робочий тиск. Якщо з'явилась необхідність у більшій кількості пари, то на щиту керування подається команда на подачу газу на 2 форсунку. подача торфу регулюється частотою обертання приводних двигунів. Асинхронні двигуни є приводами для шнеків, млина, очищувача та нагнітаючого вентилятора.

Для проведення описаних вище конструктивних змін передбачених в котельні необхідно закупити таке обладнання:

- форсунка – 1 шт.;
- шнеки, для подачі торфу – 6 шт.;
- металеві пластини, для виготовлення бункера;
- млин, для подрібнення палива – 1 шт.;
- редуктор – 4 шт.;
- очищувач – 1 шт.;
- нагнітаючий вентилятор – 1 шт.;
- щит управління – 1 шт.;
- ПРА (для кожного двигуна) – 5 шт.;
- кабелі – 100 м.;

Сума грошових вкладень згідно запропонованого заходу:

Заходи для забезпечення нормальних умов праці – 250 000 грн.

Вартість обладнання складе 4 500 000 грн.

Вартість монтажних робіт – 200 000 грн.

Заробітна плата персоналу – 150 000 грн.

Техніко-економічний аналіз рентабельності переходу на альтернативний вид палива.

Котельня підприємства, що знаходиться в м.Луцьк, Волинської області, має загальну теплову продуктивність $B_{\text{тепл}}=13733$ Гкал теплової енергії за рік, яку отримують при спалюванні природного газу, у котлі ДКВР 6,5/13, у обсязі 1662,81 тис.м³ на рік.

Пропонується провести організаційно – технічні заходи з метою підвищення ефективності використання паливно – енергетичних ресурсів. У зв'язку із зростанням ціни на природний газ і прогнозом на перспективу по збільшенню його ціни в найближчі 10 років виникає потреба у використанні альтернативних видів палива. Пропонується використовувати торф як ресурс для отримання теплової енергії.

Питома теплота згоряння природного газу становить $q_{\text{газ}}=8258,9$ ккал/м³ тобто для отримання такої кількості теплоти необхідно спалити :

$$V_{\text{газ}} = \frac{B_{\text{тепл}}}{q_{\text{газ}}}, \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{газ}} = \frac{13733 \cdot 10^9}{8258,9 \cdot 10^3} = 1662,81 \text{ тис. м}^3.$$

Вартість природного газу для промислових споживачів та суб'єктів господарювання, які є платниками ПДВ станом на 01.05.2014 року складає 6252,46 грн. за 1000 м³. Тобто обсяг плати за газ складає:

$$\Pi_{\text{газ}} = b \cdot V_{\text{газ}}, \text{ грн}$$

$$\Pi_{\text{газ}} = 1662,81 \cdot 6252,46 = 10396,65 \text{ тис. грн.}$$

Передбачено, що торф закуповується в с.м.т. Маневичі, Волинської області, що знаходиться на відстані 70 км від підприємства, за ціною 675 грн за тону, ціна станом на 1.06.2014 року. При оптовій закупівлі, та підписанні договору, можливе надання знижок, за їх рахунок будемо покривати вартість доставки.

Властивості за купованого торфу:

- теплота згоряння - 5095 ккал / кг;
- утримання робочої вологості (W_p) - не більше 50%;
- зольність (A_c) - не більше 15%;
- насипна щільність при умовній вологості 40% - 200 кг/м³.

Розрахуємо кількість торфу необхідного для отримання річної кількості теплоти, необхідної підприємству:

$$M_{\text{торф}} = \frac{B_{\text{тепл}}}{q_{\text{торф}}}, \text{ кг}$$

$$M_{\text{торф}} = \frac{13733 \cdot 10^9}{5095 \cdot 10^3} = 2695,39 \text{ тон},$$

В грошовому еквіваленті:

$$\Pi_{\text{торф}} = 2695,39 \cdot 675 = 1819,39 \text{ тис.грн}$$

Порівнявши отримані результати грошових витрат за енергоносії, отримаємо економію коштів (що стають вигодами при впровадженні заходу) в розмірі:

$$E = \Pi_{\text{газ}} - \Pi_{\text{торф}} = 10396,65 - 1819,39 = 8577,26 \text{ тис.грн}$$

Згідно розрахованих фінансових показників ефективності, терміном на 20 років, при ставці дисконту рівною 25%, при капітальних затратах в сумі 5100000 грн, маємо простий термін окупності - 8 місяців, дисконтований термін окупності - 10 місяців, чиста приведена вартість в розмірі - 34904,99 тис.грн. Отже, з огляду на швидкий дисконтований термін окупності та значний розмір прибутку від реалізації впровадження переходу з природного газу на торф, можна стверджувати про рентабельність впровадження підприємством даного заходу.

Використання торфу в якості палива є більш екологічно безпечним, ніж вугілля, мазуту і сланцю. Наприклад, при заміні вугілля, сланців і мазуту на торф зниження забруднення атмосферного повітря викидами оксидів сірки відбувається в порівнянні з вугіллям в 4-24 рази (у залежності від зольності і вугільного басейну), зі сланцем - в 9 разів, з мазутом - у 6 разів, а викид твердих зважених частинок в 2-19 разів у порівнянні з вугіллям і в 36 разів у порівнянні зі сланцем. При спалюванні торфу, навіть у недосконалих для цієї мети котлоагрегатах, канцерогенний вплив практично відсутній у порівнянні з мазутом та вугіллям. Викиди оксидів вуглецю повністю компенсуються його акумуляцією торф'яно-болотними екосистемами [5]. Слід підкреслити й той факт, що при цьому відсутня інша екологічна проблема - забруднення ґрунту важкими металами (кадмієм, ванадієм, нікелем, цинком та ін.).

Висновки

Стратегія ефективного використання потенціалу підприємства на підставі інновацій, впровадження нових технологій спрямовує на результати ефективного виробництва за рахунок економії ресурсів, зменшення питомої ваги витрат ресурсів в виробництві на одиницю продукції з урахуванням економічних, соціальних та інших обмежень. Результатом стратегії ефективного використання потенціалу підприємства є ефект, що дає основу для зростання прибутку та загальної сталості в частині енергозбереження підприємства.

Таким чином, політика енергозбереження та підвищення енергоефективності в усіх елементах суспільного життя держави є важливим чинником впливу на сучасну енергетичну безпеку України, стабільне забезпечення виробництва необхідними для функціонування енергоносіями.

За відносно не великих фінансових затрат при модернізації котельні, підприємство зможе надалі значно економити при платі за енергоносії, а також цим самим зміцнить рівень державної енергетичної незалежності.

Література:

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р., № 1071-р. –К. : 2013. – 166 с.
2. Географія торф'яних покладів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Географія_торф'яних_покладів
3. Білодід В.Д., Куц Г.О. Енергетичний потенціал окремих видів альтернативного палива та оцінки енерговитрат на їх підготовку для прямого спалювання в котлоагрегатах // Проблеми загальної енергетики, 2011. - №1 (24). –С.32–

39.

4. Гнеушев В.О. Брикетування торфу: монографія / В.О. Гнеушев. – Рівне: НУВГП, 2010. –185 с.

5. Корінчук Д.М. Потенціал та характеристика твердих біопалив з торфу і біомаси як енергетичного ресурсу України. // Отопление, Водоснабжение, Вентиляция, кондиционеры.. –К.: –2012. -№6. – С.44–49

6. Снежкін Ю.Ф., Корінчик Д.М. Заходи щодо замінення природного газу торфом // Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. – 2007. – Т. 2. – 304 с.

7. Круць Т.М. Енергетичне використання вторинних паливних матеріалів під час випалу портландцементного клінкеру [зб. наук. пр.] / Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2009. – С. 232–236.

8. Білецький В. С.. Мала гірнича енциклопедія / В.С. Білецький. – Донецьк: , 2004. – 640 с.

УДК: 621.311: 504 (063)

Мітюк Л.А., Слободян Е.М., Шевченко А.О.

БЛИСКАВИЧНІ ФЕРМИ – АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ
МОЛНИЕВЫЕ ФЕРМЫ – АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ
LIGHTNING FARM – ALTERNATIVE ENERGY SOURCE

Анотація

У статті розглянуто альтернативне джерело енергії – блискавичні ферми. Представлений метод є багатообіцяючим, його перевага полягає у відновлюваності, а також у тому, що блискавки – екологічно чисте джерело енергії. Детально описано процеси, що відбуваються в результаті утворення блискавки. У статті з'ясовано труднощі при розробці блискавичної ферми, яка повинна притягувати полум'яні спалахи та конденсувати забраний у них струм.

Ключові слова: блискавка, блискавична ферма, грозова хмара, енергоресурс, потужність, напруга.

Аннотация

В статье рассмотрен альтернативный источник энергии – молниевые фермы. Представленный метод является многообещающим, преимущество которого заключается в возобновимости и в том, что это экологически чистый источник энергии. Детально описаны процессы, происходящие в результате образования молнии. В статье выяснены трудности при разработке молниевой фермы, которая должна притягивать пламенные вспышки и конденсировать забранный у них ток.

Ключевые слова : молния, молниевая ферма, грозовая туча, энергоресурс, мощность, напряжение.

Summary

The article considers an alternative energy source – the lightning farm. The presented method is promising. Its advantage is in the fact that it is eco-friendly sources of energy and also it is renewable. The processes occurring in the formation of lightning are described in details. The article clarifies the difficulties in the development of the lightning farm, which should attract a fiery flash and condensate current being taken.

Keywords: lightning, lightning farm, thundercloud, energy source, power, voltage.

Проблема використання енергоресурсів на сьогоднішній день є однією з актуальних. Людина навчилася використовувати енергію вітру (вітряні станції), енергію води (гідроелектростанції), енергію атома (атомні електростанції), навіть використовується сонячна енергія, акумульована в сонячних батареях. Проте видобутку енергії з блискавки не було приділено достатньо уваги [1].

Вже досить давно людство замислювалося над тим, як використовувати колосальну енергію, яка виділяється в атмосфері у вигляді всім відомих блискавок, але тільки в 2006 році стало реальним впровадження цього невичерпного ресурсу, адже була запропонована розробка блискавичної ферми, яка повинна притягувати полум'яні спалахити та конденсувати забраний у них струм.

Актуальність теми полягає в перспективному використанні відновлювальних джерел енергії у вигляді блискавки, з низькою вартістю експлуатації й очікуваним паливним дефіцитом у традиційній енергетиці.

Метою цієї роботи є розкриття можливостей грозової енергетики за допомогою блискавичних ферм.

Блискавка – гігантський електричний іскровий розряд в атмосфері, звичайно може відбуватися під час грози, що виявляється яскравим спалахом світла та супроводжуваним її громом.

Блискавка є одним із найзагадковіших природних явищ. Утворення блискавки – досить складний процес, який потрібно розглядати, починаючи зі структури грозової хмари.

Грозову хмару можна представити у вигляді декількох шарів. Нижня частина складається з пару або крапель води, верхня частина являє собою суміш з кристалів льоду. Перепади температури створюють сильні висхідні потоки всередині хмари, при цьому відбувається поляризація заряджених частинок і верхній шар набуває позитивного заряду, а нижня частина хмари стає негативно зарядженою. Ці умови утворюють зони високої напруженості електричного поля в атмосфері та можуть призвести до виникнення електричного розряду [1].

Під час виверження блискавки майже миттєво виділяється кілька сотень мільйонів вольт, які потрібно швидко зібрати, а потім поступово віддавати в звичній напрузі [2].

У повітрі завжди наявні в невеликій кількості вільні електрони. Під дією електричного поля вони починають розганятись, набуваючи значної швидкості та, стикаючись із атомами повітря, іонізують їх, «вибиваючи» звідти нові електрони. Ті, в свою чергу, також стають вільними, розганяються та вибивають електрони з інших атомів. Процес стає лавиноподібним. Область простору, охоплена цим процесом, збільшується в довжину з величезною швидкістю (приблизно 100 км/с) і за мить досягає того місця, в яке збирається вдарити майбутня блискавка. Швидкість поширення блискавки дуже велика. Таким чином, від хмар до Землі блискавка проходить за 0,002 сек. У більшості випадків, це – Земля, але часто це може бути й інша хмара або навіть інша частина тієї ж хмари.

У результаті в повітрі утворюється провідний канал, який називається лідер. Утворення лідера та наступний за ним блискавичний розряд, зазвичай, повторюються багаторазово. Це теж позначається як на світлових ефектах (мерехтлива блискавка), так і на звукових (нерівномірний звук грому) [1].

Далі всі ці стадії можуть повторитися і 2, і 3, і 10 разів - за ті самі миті, що триває блискавка. Тому зловити цей розряд і спрямувати струм у потрібне місце є досить складним завданням [3].

Розрізняють такі види блискавок: наземні блискавки, внутрішньохмарні, ельфи, джети, спрайт і звичайно кульові блискавки [1].

Варто додати, що і ті блискавки, які пробігають між хмарами та землею, діляться на два «дзеркальних» типи: одні викликаються негативними розрядами, що накопичуються в нижній частині грозової хмари, а інші – позитивними, які збираються в його верхній частині. Однак, другий тип зустрічається від 4 (в середніх широтах) до 17 (у тропіках) разів рідше, ніж розряди першого типу (негативні блискавки). Але і цю різницю все одно потрібно враховувати при проектуванні збирачів «небесної електрики» [3].

Установка являє собою приймач блискавки (блискавковідвід) і конденсатори для «зберігання» отриманої енергії. Приймач є провідником зі сталі. Конденсатори з'єднуються паралельно для того, щоб напруга на кожному конденсаторі була однаковою. Зменшити ймовірність попадання блискавки в конденсатор можна, поставивши громовідводи, але меншої висоти, ніж приймач. Для того, щоб блискавка вдарила у приймач, потрібно закріпити лазер. Промінь лазера іонізує повітря, створює «іонізований стовп» спрямований у хмари. Після попадання блискавки в приймач, заряд надходить на конденсатори, заряджаючи їх. Бажано поставити ключ, щоб виключити багаторазове потрапляння блискавки, що може викликати пробій конденсатора [1]. Енергію блискавок потрібно зібрати за ті тисячні частки секунди, що триває головна фаза розряду (удар блискавки, що здається миттєвим, насправді складається з декількох фаз), а потім повільно віддавати в мережу, паралельно перетворюючи в стандартні 220 вольт і 50 або 60 герц змінного струму [3].

Компанія Alternative Energy Holdings 11 жовтня 2006 року оголосила про успішний розвиток прототипу моделі, яка може продемонструвати можливості «захоплення» блискавки для подальшого її перетворення в електроенергію. Блискавка є чистою енергією, і її застосування буде не тільки усувати численні екологічні небезпеки, але також буде значно зменшувати дорожнечу виробництва енергії. Також компанія повідомила, що окупиться така установка за 4-7 років, блискавичні ферми зможуть виробляти та продавати електроенергію за ціною \$0,005 за кіловат-годину, що значно дешевше виробництва енергії за допомогою сучасних джерел [4].

Недоліком методу є той факт, що заздалегідь не можна передбачити, де та коли трапиться гроза. Є місця, куди постійно б'ють грозові розряди. В Україні таких місць декілька, одне з них знаходиться в Житомирській області. Вчені пояснюють загадку «гнізд блискавок» зниженим електричним опором таких місць. Це можливо, коли в землі є приховане водне джерело або поклади метала. Такі місця сприятливі для побудови блискавичних ферм. Основна проблема полягає в тому, що під час виверження блискавки практично миттєво виділяється кілька сотень мільйонів вольт, які необхідно швидко зібрати, а потім поступово віддавати у звичайній напрузі. Крім того, дуже важко зловити блискавку в певному місці. Слід зазначити, що блискавки б'ють не з неба на Землю, а навпаки. По-перше, візуально можна спостерігати, що від Землі йде лише одна лінія, а до хмар вона починає гілкуватися, що говорить про направлення поширення енергії знизу вгору. По-друге, весь процес – це обмін. Спочатку з хмар б'є невидима лінія розряду фаворита, а пізніше з Землі по підігрітому іонізованому каналу вивергається основний енергетичний потік. Природно, йдеться тільки про розряди «Земля-небо», адже більша їх частина з'являється та проходить тільки у верхніх шарах атмосфери, не торкаючись землі [5]. У грозовій енергетиці два плюси:

- велика енергія та потужність;
- мала вартість енергії.

Мінуси:

- блискавка поводиться непередбачувано;
- важко контрольований процес;
- велика вартість проекту.

Висновки. Сьогодні енергетика світу базується на невідновлюваних джерелах енергії. В якості головних енергоносіїв виступають нафта, газ і вугілля. Найближчі перспективи розвитку енергетики пов'язані з пошуками кращого співвідношення енергоносіїв і, перш за все, з тим, щоб спробувати зменшити частку рідкого палива. Слід

зазначити, що людство вже сьогодні вступило в перехідний період – від енергетики, що базується на органічних природних ресурсах, які обмежені, до енергетики на практично невичерпній основі.

Велику надію в світі покладають на альтернативні джерела енергії, перевага яких полягає в їх відновлюваності, а також в тому, що це екологічно чисті джерела енергії [6].

Виснаження ресурсів змушує розробляти ресурсозберігаючу політику, широко використовувати вторинну сировину. У багатьох країнах додаються величезні зусилля для економії енергії та сировини. Сьогодні вже близько 1/3 всієї маси використовуваних у світі металів – алюмінію, міді, цинку, свинцю й олова – видобувається з відходів та вторинної сировини. У ряді країн вже запроваджені державні програми з економії енергії [7]. Україна також повинна активно підтримувати, розробляти та впроваджувати такі ресурсозберігаючі технології, як альтернативне джерело енергії.

Список використаних джерел:

1. <http://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tehnicheskoe-tvorchestvo/2014/01/19/ispolzovanie-energii-molnii-proekt-nauchno>
2. http://www.astromeridian.ru/psy/molnievye_fermy.html
3. <http://www.membrana.ru/particle/3136>
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0
5. <http://2g2.org/?p=5696>
6. <http://xreferat.ru/102/1398-1-al-ternativnye-istochniki-energii.html>
7. <http://www.parta.com.ua/ukr/referats/view/5369/>

УДК 621.311.1

Самарцев І.В., Орлов М.В.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В статье приведен усовершенствованный метод расчета компенсации реактивной мощности, позволяющий обосновать более высокие уровни КРН в электрических сетях энергосистем и потребителей электроэнергии.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, эффективность.

Удосконалення методів розрахунку компенсації реактивної потужності

У статті наведено вдосконалений метод розрахунку компенсації реактивної потужності, що дозволяє обґрунтувати більш високі рівні КРН в електричних мережах енергосистем і споживачів електроенергії.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, ефективність.

Improvement of methods for calculating compensation reactive power

The paper presents an improved method for calculating the reactive power compensation allows to justify higher levels of SCC in electric networks of power supply and electricity consumers.

Keywords: reactive power compensation, which promises more effective.

Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций

В [1] приведены функции затрат на КРП:

в сетях предприятия

$$Z = Z_{п.г} \cdot Q_M (1 - \psi) + Z_{пп1} \cdot Q_M \cdot \psi + \frac{Z_{пп2} \cdot Q_M^2 \cdot \psi^2}{K_0}, \quad (1)$$

в сетях подсистемы

$$Z = \dot{Q}_n \cdot \dot{D} \cdot (1 - \Psi) + \dot{Q}_n \cdot \dot{P} \cdot \dot{R} \cdot \dot{C} \cdot \left(\dot{Q}_n \cdot \dot{P} \right)^f \cdot \Psi, \quad (2)$$

где $Z_{п.г.}$ – средневзвешенные удельные затраты на генерацию реактивной мощности всеми КУ (компенсирующими установками), тыс. грн / МВАр; $Z_{пп1}$ – удельные затраты потребителя на реактивную мощность и энергию, которая потребляется из сети ЕС, тыс. грн / МВАр; $Z_{пп2}$ – удельные затраты на передачу реактивной мощности по сети, тыс. грн / МВАр²; Q_M – максимум реактивной мощности на вводе сетей потребителя, МВАр; ψ – входная реактивная мощность в относительных единицах ($\psi = Q_e/Q_M$, Q_e – входная реактивная мощность в абсолютных единицах, МВАр; величина ψ – является переменной оптимизации функции (1)); K_0 – коэффициент отклонения фактического потокораспределения реактивной мощности от оптимального значения, при котором потери в сети минимальны (при $K_0=1$), относительные единицы; $Z_{пп2} \cdot Q_M \cdot \psi$ – затраты на передачу реактивной мощности по сети при фактическом потокораспределении (до компенсации) при том или другом значении Ψ , тыс. грн; $\frac{Z_{пп2} \cdot Q_M^2 \cdot \psi^2}{K_0}$ – минимально

возможные затраты на передачу реактивной мощности по сети (после компенсации) при условии, что КУ по узлам сети размещены оптимально (за критерием минимальных потерь) при решении балансовой задачи КРМ, тыс.грн; $Z_{пп1} \cdot Q_M \cdot \Psi$ – затраты потребителя на реактивную мощность и энергию, которые потребляется из сети

енергосистемы, тыс. грн. $Q_H = (Q_{H1} \dots Q_{HN})$ – вектор-строка реактивных нагрузок узлов подсистемы, МВАр; $D = (3_{n21} \dots 3_{n2n})^t$ – вектор удельных расходов на генерацию реактивной мощности ее источниками в узлах сетей подсистемы, тыс. грн. / МВАр; Π – матрица путей; R – диагональная матрица активных сопротивлений ветвей схемы замещения сетей подсистемы, Ом; C – диагональная матрица коэффициентов C_i ($i = 1 \dots n$).

Из уравнений (1) и (2) видно, что целевая функция (1) имеет составляющую, которая отображает затраты потребителя на потребление им реактивной мощности и энергии из сети энергосистемы, а в функции (2) такая составляющая отсутствует. Это объясняется введением для потребителей с 1998 г. платы за реактивную энергию, а для энергоснабжающих компаний такая плата отсутствует [2]. Возникает вопрос, целесообразно ли отмеченную выше составляющую учитывать при системном расчете КРМ в сетях подсистемы, то есть в целевой функции (2). Если допустить положительный ответ на этот вопрос, то тогда, как определять стоимость потерь для сетей подсистемы, которая включает сети энергоснабжающих компаний и присоединенных к ней потребителей?

На стадии решения экономической задачи КРМ оптимальное распределение КУ и, соответственно, остаточное (недокомпенсированное) распределение реактивной мощности неизвестно, но есть возможность еще к решению экономической задачи определить K_0 по формуле [1]:

$$K_0 = \frac{R_{e.s}}{R_e} \geq 1, \quad (3)$$

где $R_{e.v}$ – эквивалентное активное сопротивление сети, определенное по фактическим потерям (до компенсации), Ом; R_e – эквивалентное активное омическое сопротивление сети, определенное путем последовательного ее эквивалентирования, Ом. Величина $R_{e.v}$ определяется по формуле [1]:

$$R_{e.s} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 r_i}{Q_M^2}, \quad (4)$$

где Q_i, r_i – соответственно реактивная нагрузка и сопротивление i -го элемента сети, МВАр·Ом.

По условию $\partial Z / \partial \psi$ получены оптимальные (за критерием минимальных затрат) значения входной реактивной мощности и суммарной мощности КУ в относительных и абсолютных единицах:

$$\psi_0 = \frac{(3_{п.г.} - 3_{пп1}) \cdot K_0}{23_{пп2} \cdot Q_M}, \quad (5)$$

$$Q_{e.0} = \frac{(3_{п.г.} - 3_{пп1}) \cdot K_0}{23_{пп2}}, \quad (6)$$

$$a_0 = 1 - \psi_0, \quad (7)$$

$$Q_{КУ.0} = Q_M - Q_{e.0}, \quad (8)$$

где a_0 – степень или уровень компенсации реактивной мощности в электрической сети, в относительных единицах.

Уравнение (7) vyplывает из условия баланса реактивной мощности на вводе электрической сети предприятия, а (6) – путем деления уравнения (7) на величину Q_M . Анализ формул (4) и (5) показывает, что более интенсивное увеличение стоимости

средств компенсации, сравнительно со стоимостью электроэнергии, приводит к уменьшению экономически обоснованного уровня КРМ (a_0). И наоборот, наличие платы за реактивную энергию и увеличение стоимости потерь позволяет обосновать более высокий уровень КРМ. Цель статьи – предложить усовершенствование к известному методу для повышения точности расчета КРМ и, соответственно, ее энергоэффективности.

Основные материалы исследований

В последние 10 – 15 лет сложился диспаритет цен на средства компенсации (комплектные конденсаторные установки, приборы учета электроэнергии, коммутационная аппаратура) и электроэнергию. Цены на электроэнергию контролируются государством (НКРЭ – национальной комиссией по регулированию электроэнергетики) и растут медленнее цен на средства компенсации. В результате сложилась парадоксальная ситуация: наиболее эффективная энергосберегающая технология в электрических сетях, которой является КРМ, часто оказывается экономически нецелесообразной. Создалась проблема экономического обоснования уровней КРМ в электрических сетях. Введение в целевую функцию (1) стоимости реактивной электроэнергии увеличивает экономически обоснованный уровень КРМ или уменьшает ВРМ (входную реактивную мощность), см. формулы (5 – 8).

Определение ВРМ и уровня КРМ по формулам (5) и (7) позволяет обосновать ее эффективность с позиции отдельного потребителя и уточнения в отдельных случаях системного расчета [1]. В то же время, использование системного подхода к расчету КРМ существенно повышает экономически обоснованный уровень КРМ (сети энергоснабжающей компании и присоединенные к ней потребители рассматриваются одновременно [3]). Логично прийти к выводу, что включение в функцию затрат на КРМ для ее системного расчета стоимости реактивной энергии для потребителя приведет к еще большему повышению экономически обоснованного уровня КРМ. При этом для системного расчета КРМ предлагается использовать функцию (1) как более простую при выполнении расчетов персоналом энергосистем и потребителей.

Следует отметить, что через недостаточную эффективность действующей методики расчета платы за реактивную энергию [2], Минтопэнерго Украины приняло решение о разработке новой редакции данной методики, в которой может быть реализовано предложение о взаиморасчетах между субъектами оптового рынка электроэнергии Украины. В таком случае стоимость потерь в сетях подсистемы предлагается определять по средневзвешенному тарифу по формуле:

$$T_{с.вз} = \frac{\Delta W_{\Sigma} \cdot T_{опт} + \Delta W_{сн} \cdot T_{роз}}{\Delta W_{\Sigma} + \Delta W_{сн}}, \quad (9)$$

где $\Delta W_{сн}$, ΔW_{Σ} – соответственно – потери электроэнергии в сетях энергосистемы и присоединенных к ней потребителей, кВт / год; $T_{опт}$, $T_{роз}$ – соответственно оптовый и розничный тариф на активную электроэнергию. Введение в целевую функцию (1) коэффициента K_0 позволяет учесть, еще на стадии решения экономической задачи, оптимизацию потоков реактивной мощности после компенсации (с помощью оптимального размещения КУ и управления ими). Другими словами, учитывать оптимизацию остаточных (недокомпенсированных) перетоков реактивной мощности (K_0 введено в соответствии с требованиями [4]).

С другой стороны, введение в целевую функцию коэффициента K_0 приводит к увеличению входной реактивной мощности (ψ_0 и $Q_{е.0}$) и, соответственно, уменьшению

уровня КРМ (a_0) и суммарной мощности КУ, которые надлежит установить в электрической сети ($Q_{КУ}$). Если принять во внимание, что величина K_0 может изменяться в основном в сетях от 1,05 до 2,0 и больше, то уменьшение экономически обоснованного уровня КРМ может быть существенным. В то же время уменьшение стоимости потерь (при наличии K_0) от остаточных (после компенсации) перетоков реактивной мощности по абсолютной величине незначительно.

Для устранения отмеченного противоречия предложено коэффициент K_0 в целевую функцию (1) не вводить, а использовать его при определении экономической и энергетической эффективности компенсации. С учетом отмеченных изменений математическая модель для решения экономической задачи КРМ будет выглядеть так:

$$\begin{cases} Z = 3_{П.Г.} \cdot Q_M (1 - \psi) + 3_{ПП1} \cdot Q_M \cdot \psi + 3_{ПП2} \cdot Q_M^2 \rightarrow \min \\ Q_M = Q_{КУ} + Q_e \\ \psi_0 \leq 1, a_0 \geq 0. \end{cases} \quad (10)$$

При условии $\partial Z / \partial \psi = 0$ получим оптимальные (за критерием минимальных затрат) параметры КРМ для сетей подсистемы (предприятия):

$$\psi_0 = \frac{(3_{П.Г.} - 3_{ПП1})}{2 \cdot 3_{ПП2} \cdot Q_M},$$

$$Q_{e.0} = \frac{(3_{П.Г.} - 3_{ПП1})}{2 \cdot 3_{ПП2}}. \quad (11)$$

$$a_0 = 1 - \psi_0,$$

$$Q_{КУ.0} = Q_M - Q_{e.0}. \quad (12)$$

Значения параметра $3_{ПГ}$ определяются по формуле приведенной в [1]. Параметры $3_{ПП1}$ и $3_{ПП2}$ предложено определять по формулам, соответственно, (тыс. грн / МВАр; тыс. грн / МВАр²):

$$3_{ПП1} = 10^{-3} \cdot \frac{П1 + П2 - П3}{Q_M}, \quad (13)$$

$$3_{ПП2} = \frac{T_{с.вз.} \cdot \tau \cdot R_{е.в.}}{U_M^2}, \quad (14)$$

где П1, П2 – основная и дополнительная платы за реактивную энергию, грн.; П3 – скидка с платы за реактивную энергию, грн. [2]; τ – число часов максимальных потерь электроэнергии, час.

Уточнение формул (11) и (12) предопределены установлением платы за реактивную энергию и определением удельной стоимости потерь активной электроэнергии от передавания реактивной в соответствии с действующей методикой [2].

Если в результате расчета окажется, $\psi \geq 1$, а $a_0 \leq 0$, то это значит, что КРМ в сетях данной подсистемы экономически нецелесообразна.

Заключительным и, в то же время, важным этапом расчета КРМ является определение ее экономической и энергетической эффективности. Собственно по результатам этого расчета принимается решение о ее внедрении.

Необходимость в уточнении метода оценивания эффективности КРМ вызвана изменениями в требованиях нормативных документов и в подходах к ее расчету. В общем случае все возможные источники финансирования проектов КРМ могут быть

разделены на две группы:

а) собственные средства (прибыли, накопления, амортизационные отчисления и другие виды активов предприятий, привлеченные средства из внутренних и внешних источников: продажа акций; средства, которые выделяются холдинговыми и акционерными компаниями, промышленно-финансовыми группами; из государственного и местного бюджетов, централизованных и внебюджетных средств);

б) заимствованные средства, в том числе кредиты, что предоставляются государством, кредиты иностранных инвесторов, облигационные заимствования, кредиты банков и других инвесторов – инвестиционных фондов и компаний, страховых организаций и компаний, страховых организаций и других; иностранные инвестиции в форме финансового и другого участия в разработке и реализации инноваций – прямых вложений, а также участия в уставном фонде совместных предприятий.

Отметим, что капитальные вложения в КРМ реализуются в течение одного года, то есть являются одновременными, за исключением тех случаев, когда имеют место ограничения финансовых ресурсов.

В случае источников финансирования, которые относятся к группе "а", годовой экономический эффект предлагается определять по формуле:

$$E_p = 3_{III2} \cdot Q_m^2 \left(\psi_\phi^2 - \frac{\psi_0^2}{K_0} \right) + 3_{III1} \cdot Q_m (\psi_\phi - \psi_0) + \Delta Z - 3_{IIГ} \cdot Q_m (1 - \psi_0), \quad (15)$$

где ψ_ϕ – входная реактивная мощность до компенсации (при отсутствии КРМ $\psi_\phi=1$), о.е.; $3_{III2} \times Q_m^2 \times \psi_\phi^2$ – стоимость потерь до КРМ или до дополнительной КРМ, тыс. грн; $3_{III2} \times Q_m^2 \times \psi_\phi^2 / K_0$ – стоимость потерь после КРМ или после дополнительной КРМ с учетом оптимизации остаточных потоков реактивной мощности, тыс. грн; $3_{III1} \cdot Q_m \cdot \psi_\phi$ – стоимость потребления реактивной энергии с сети энергосистемы до компенсации или до дополнительной компенсации, тыс. грн; $\psi_0 3_{III1} \cdot Q_m$ – стоимость потребления реактивной энергии из сети ЭС после компенсации, тыс. грн.

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{3_{IIГ} \cdot Q_m (1 - \psi_0)}{E_p}. \quad (16)$$

Снижение потерь:

- активной мощности (кВт)

$$\Delta P = \frac{10^{-3} \cdot R_{е.в.} \cdot Q_m^2}{U_n^2} \left(\psi_\phi^2 - \frac{\psi_0^2}{K_0} \right); \quad (17)$$

- активной электроэнергии

$$\Delta W_0 = \frac{10^{-3} \cdot R_{е.в.} \cdot Q_m^2 \cdot \tau_{м.р.}}{U_n^2} \left(\psi_\phi^2 - \frac{\psi_0^2}{K_0} \right). \quad (18)$$

В случае источников финансирования, которые относятся к группе "б", при определении годового экономического эффекта, учитывается стоимость кредита (или других заимствований):

$$E_p = 3_{III2} \cdot Q_m^2 \left(\psi_\phi^2 - \frac{\psi_0^2}{K_0} \right) + 3_{III1} \cdot Q_m (\psi_\phi - \psi_0) + \Delta Z - 3_{IIГ} \cdot (1 + p) \cdot Q_m (1 - \psi_0), \quad (19)$$

где p – банковская кредитная ставка, в относительных единицах.

Выводы

1. Уточнение целевой функции на компенсацию, определение удельной стоимости потерь электроэнергии метода оценки экономической и энергетической эффективности КРМ – позволяет обосновать более высокий уровень КРМ в электрических сетях потребителей и ЭС, и более точно оценить ее эффективность.

2. Предложен одинаковый метод расчета КРМ в сетях подсистемы и отдельного потребителя, тем самым отпадает необходимость в разработке разного для них программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогальський Б. С. Методи поетапного розрахунку компенсації реактивної потужності в електричних мережах енергосистем і споживачів, / Б. С. Рогальський // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2001. – Випуск 1. – С. 22 – 39.

2. Методика розрахунку плати за перетоки реактивної електроенергії між електропостачальною організацією та її споживачами. – 1998. – Випуск 4. – С. 36 – 41.

3. Рогальський Б. С., Кузмінська С. О., Праховник А. В., Динесенко М. А., Божко В. М. Ще раз про визначення економічно доцільних обсягів споживання реактивної енергії // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. – 2005. – №3. – С. 6 – 12.

4. Инструкция по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях //Промышленная энергетика. – 1991. – №7. – С. 51 – 55.

УДК 621.311.003.13

В.Ф. НАХОДОВ, О.О. ПЕЦКОВА, Д.О. ІВАНЬКО

**МОНІТОРИНГ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМІ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ
МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА
MONITORING OF ENERGY INDICATORS IN THE ENERGY
MANAGEMENT SYSTEM**

Стаття присвячена питанням вдосконалення підходів до контролю ефективності енерговикористання. Розглянуто методи встановлення та контролю виконання цільових змінних для здійснення моніторингу показників енергоспоживання та створено універсальну процедуру моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, що ґрунтується на удосконаленні існуючих методів встановлення контрольних границь та процедур контролю.

Ключові слова: моніторинг, енергозбереження, контроль енергоефективності, система контролю і планування енергоспоживання.

Статья посвящена вопросам усовершенствования подходов к контролю эффективности энергоиспользования. Рассмотрены методы установления и контроля выполнения целевых переменных для осуществления мониторинга показателей энергопотребления и создана универсальная процедура мониторинга результатов внедрения мероприятий по энергосбережению, основана на совершенствовании существующих методов установления контрольных границ и процедур контроля.

Ключевые слова: мониторинг, энергосбережение, контроль энергоэффективности, система контроля и планирования энергопотребления.

The article is devoted to the issues of improvement of approaches to monitoring the efficiency of using energy resources. The methods of setting and monitoring targets variables for monitoring indicators of energy consumption and created a universal procedure for monitoring the results of the implementation of energy efficiency measures, based on the improvement of existing methods for establishing control limits and monitoring procedures.

Keywords: monitoring, energy conservation, control of energy efficiency, monitoring and targeting system.

Вступ. Проблема підвищення ефективності споживання паливно-енергетичних ресурсів у промисловому секторі стає все більш актуальною. Останні події свідчать, що промисловість України потребує швидкої і найменш затратної реорганізації виробництва, в тому числі, з метою зменшення споживання енергоресурсів та підвищення енергетичної безпеки держави. Крім того, поступове підвищення ефективності споживання енергоресурсів в промисловому секторі дозволить зменшити залежність України від імпорту енергоресурсів та підвищить рентабельність продукції підприємств [1].

Енергозбереження повинно полягати не в обмеженні споживання енергоресурсів, а у підвищенні ефективності використання первинних енергоносіїв та перетвореної енергії. Тобто це процес, в ході якого скорочується потреба в енергоресурсах на одиницю кінцевого продукту чи корисної роботи. Досягнення

енергетичної ефективності підприємств і організацій вимагає управління не лише на державному та регіональному рівні, а й на рівні підприємств, організацій, окремих технологічних процесів чи енергоємних установок.

Постановка проблеми. Однією з важливих функцій управління енергозбереженням, яка полягає в безперервному спостереженні та аналізі даних з відстеженням динаміки змін та поліпшення процесу прийняття рішення, є моніторинг ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. На сьогоднішній день урядом мало не щотижня ухвалюються закони та цільові програми в області енергозбереження. Зокрема, деякі з них вже запроваджені, проте, для подальшого їх успішного функціонування, необхідно мати об'єктивну оцінку як результатів застосування вже впроваджених рішень, так і узагальнені аналітичні дані з цих питань [2].

На державному рівні існує система моніторингу енергоефективності, функціонування якої головним чином полягає в узагальненні показників енергоспоживання підприємств, організацій, галузей економіки, регіонів тощо. З іншого боку, в державі застосовується система контролю ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), яка базується на нормуванні питомих витрат палива та енергії [3]. Нормування споживання ПЕР щорічно здійснюється для промислових підприємств, організацій та установ. Однак, багато фахівців стверджують, що існуючі методи та методики нормування є недосконалими і не дозволяють визначати достатньо обґрунтовані норми питомої витрати палива та енергії.

Очевидно, що на підставі таких недосконалих «еталонів» не можна виконувати достатньо об'єктивний періодичний контроль ефективності використання ПЕР на підприємстві, а отже не можна здійснювати якісне та дієве управління енергозбереженням.

До того ж, виходячи з потреби систематичного управління енергоспоживанням, можна стверджувати, що на будь-якому виробничо-господарському об'єкті існує необхідність здійснювати не періодичний, а оперативний контроль ефективності використання енергоресурсів. Однак, для вирішення цієї задачі, існуюча система нормування питомих витрат палива та енергії є абсолютно непридатною [4].

Для вирішення задач оперативного управління ефективністю використання енергоресурсів в зарубіжній практиці активно застосовують підхід, принципово відмінний від нормування питомих витрат ПЕР, який базується на побудові так званих систем контролю і планування (КіП) енергоспоживання. За кордоном такі системи мають назву Monitoring and Targeting Systems [5,6].

В основу побудови таких систем покладено принцип залежності обсягів енергоспоживання від ряду показників, що характеризують умови протікання виробничого процесу (наприклад, обсягу випущеної продукції, часу роботи основного обладнання, тиску, температури, швидкості, параметрів кліматичних умов тощо). Одним з першочергових завдань системи оперативного контролю енергоефективності є встановлення так званих «стандартів» енергоспоживання, на основі яких визначаються деякі цільові змінні, порівняння з якими фактичних показників, дозволяє визначати рівень ефективності використання палива або енергії на будь-якому виробничому об'єкті. Такі цільові змінні, зокрема у зарубіжній практиці, встановлюють на основі відповідних математичних моделей обсягу споживання того чи іншого енергоресурсу, побудованих в залежності від чинників, які суттєво впливають на його величину [7]. Однак, при застосуванні традиційних систем КіП, є ряд недоліків та спрощень. Зокрема,

це некоректність встановлення «стандарту» енергоспоживання, а також відсутність чіткої процедури контролю виконання встановлених цільових змінних.

Метою цієї статті є аналіз існуючих методів встановлення та контролю виконання цільових змінних, що використовуються для здійснення контролю різних показників, в тому числі і показників енергоспоживання. А також створення універсальної процедури моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, який ґрунтується на удосконаленні існуючих методів встановлення контрольних границь та процедур контролю.

Основні результати та дослідження. На сьогодні застосовуються різні підходи до прийняття рішень щодо оцінки рівня енергоефективності на об'єкті. Однак численні публікації свідчать, що застосування відповідних методів може призводити до отримання не коректних та суперечливих результатів. Тому, існує необхідність в удосконаленні існуючих методик та створенні більш досконалих процедур оперативного контролю енергоспоживання.

Адекватна процедура контролю енергоефективності повинна в першу чергу давати змогу оперативно визначати моменти невідповідного підвищення чи зниження енергоефективності на досліджуваному об'єкті, а також давати обґрунтовану оцінку, з яких причин (об'єктивних чи суб'єктивних) відбулись ці зміни.

Таким чином, коректне встановлення цільових змінних та подальше застосування адекватної процедури контролю енергоефективності є принципово важливим питанням для отримання вірних результатів та подальшого функціонування системи оперативного контролю енергоефективності, що включає моніторинг результатів впровадження заходів з енергозбереження, який здійснюється з метою виявлення відхилень досягнутих результатів від запланованих та оперативного регулювання відповідних процесів.

Математична модель енергоспоживання, яким би методом вона не була побудована, завжди має деяку залишкову похибку. Тому, для здійснення об'єктивного контролю рівня ефективності енерговикористання, слід застосовувати «стандарт» енергоспоживання, побудований у вигляді верхніх та нижніх границь довірчих інтервалів, які визначаються для відповідних математичних моделей споживання енергії. При цьому зниження рівня ефективності споживання енергії можна констатувати лише у випадку знаходження фактичних значень енергоспоживання вище верхньої границі довірчого інтервалу, а підвищення рівня енергоефективності – у випадку їх знаходження нижче нижньої границі вказаного інтервалу.

Таким чином, для контролю результатів впровадження заходів з енергозбереження на виробничих об'єктах, дійсні рівні споживання енергії достатньо порівнювати тільки з нижньою границею довірчого інтервалу для відповідної математичної моделі.

Методика встановлення довірчих інтервалів до математичних моделей є добре відомою [9]. Застосування цієї методики можна проілюструвати на прикладі математичної моделі обсягу споживання електричної енергії, побудованої в результаті попередніх досліджень для одного з виробничих підрозділів хімічного підприємства. Зазначена математична модель електроспоживання має такий вигляд [8]:

$$W = 1080,833 - 0,291 \cdot F_1 + 0,343 \cdot F_2 + 6,895 \cdot F_3,$$

де F_1, F_2, F_3 - певні чинники, що суттєво впливають на величину електроспоживання підрозділу, що розглядається.

Зважаючи на те, що математична модель є лінійною, «стандарт» споживання електроенергії для цього підрозділу має встановлюватись на основі довірчих інтервалів до відповідної математичної моделі, межі яких визначаються за формулою [9]:

$$W(p) = W_{\text{розра}}(p) \pm T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) S_e \sqrt{X_i (XX^T)^{-1} X_i^T},$$

де $W_{\text{розра}}(p)$ – розрахункове значення витрати електроенергії, одержане на підставі математичної моделі; $T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right)$ – коефіцієнт розподілу Стюдента за двосторонньої довірчої імовірності α і кількості ступенів свободи f_e ; S_e – середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень фактичних витрат електроенергії від результатів моделювання за допомогою визначеного рівняння регресії; X_i – матриця значень незалежних змінних в i -й точці контролю; X_i^T – транспонована матриця X_i ; XX^T – коваріаційно-дисперсійна матриця вектора параметрів (констант) рівняння математичної моделі; X_i – матриця значень незалежних змінних на всій вибірці.

Встановлювати зазначені межі довірчого інтервалу до математичної моделі енергоспоживання найбільш доцільно безпосередньо в процесі здійснення контролю ефективності використання палива чи енергії на відповідному об'єкті. Так для виробничого підрозділу, що розглядається, оперативний контроль ефективності використання електричної енергії здійснювався щодобово. Отже, необхідні для виконання такого контролю межі довірчого інтервалу до математичної моделі електроспоживання цього підрозділу встановлювались послідовно, тобто на початку кожної доби, безпосередньо під час контролю ефективності використання електроенергії за відповідну попередню добу.

Графічна інтерпретація результатів послідовного встановлення границь довірчого інтервалу для індивідуальних значень обсягу споживання електроенергії у виробничому підрозділі, що розглядається, розрахованих на підставі наведеної вище математичної моделі для кожної доби одного з місяців, представлена на рисунку 1.

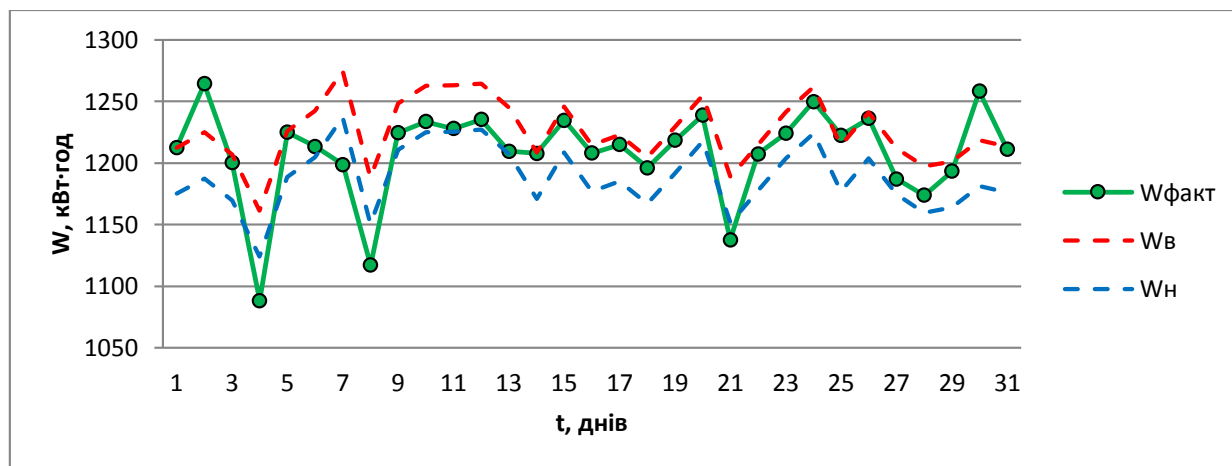


Рисунок 1 – Границі довірчого інтервалу до математичної моделі електроспоживання виробничого підрозділу ($W_{\text{факт}}$ – фактичні обсяги добового споживання електроенергії, $W_{\text{в}}, W_{\text{н}}$ – верхня та нижня межі довірчого інтервалу)

Як свідчить рисунок 1, в процесі щодобового контролю спостерігалися випадки виходу фактичних значень електроспоживання за межі верхньої границі довірчого інтервалу (2-га та 30-та доба), що є ознакою зниження рівня ефективності використання електричної енергії у ці періоди. Спостерігалися також випадки знаходження фактичних витрат електроенергії нижче нижньої межі довірчого інтервалу (4-та, 7-ма та 8-ма доба), що означає підвищення рівня енергоефективності на об'єкті у зазначені періоди у порівнянні з запланованим.

Таким чином, контроль ефективності використання електроенергії шляхом простого порівняння фактичних обсягів споживання енергії з межами довірчих інтервалів, встановлених до відповідної математичної моделі, в принципі, дає змогу здійснювати моніторинг результатів впровадження заходів з енергозбереження, тобто визначити певні «критичні» періоди, відносно яких можна зробити висновки про більш або менш ефективне використання енергетичних ресурсів у порівнянні зі встановленим «стандартом». Однак, такий спосіб контролю не дозволяє зробити висновки про невідповідність зниження чи підвищення ефективності використання електричної енергії, а також знаходити та аналізувати причини змін рівня енергоефективності.

Для аналізу невідповідності варіації рівня енергоефективності доцільним є проведення контролю ефективності споживання електроенергії за методикою А.Вальда [10].

На рисунку 2 графічно зображено процес послідовного контролю, що дає можливість оперативно визначити момент невідповідного підвищення рівня енергоефективності.

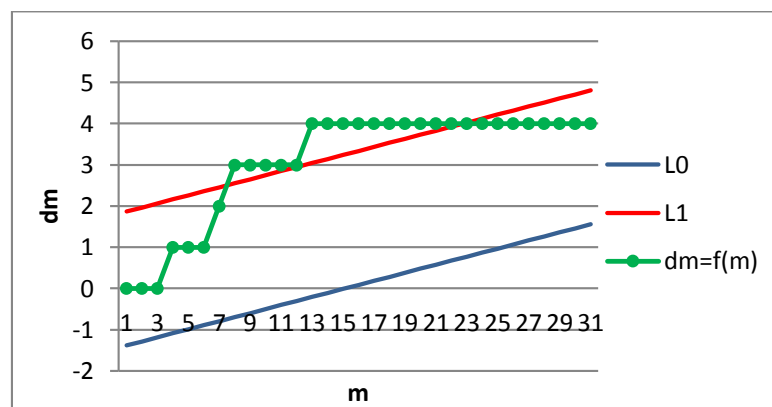


Рисунок 2 - Графічна ілюстрація процесу послідовного контролю за методом А.Вальда для аналізу невідповідного підвищення рівня ефективного використання електроенергії

Очевидно, що після 8-го контролю відбувалося невідповідне енергозбереження. Ця тенденція зберігалася до 22-ої доби, після чого можна констатувати, що запланованого та систематичного енергозбереження не спостерігалось.

Під час контролю ефективності енергоспоживання виробничого об'єкту доцільно враховувати зміни в параметрах технологічного процесу, що впливають на енерговикористання. Такі зміни можуть бути викликані як «випадковими причинами», так і «спеціальними», тобто впливом певних чинників. Тому, для контролю енергоефективності технологічних процесів, доцільно користуватися методами статистичного контролю, основним інструментом яких є контрольні карти Шухарта, що дозволяють проводити відповідний аналіз в будь-яких процесах.

Ознаками порушення технологічного процесу при використанні контрольних карт є:

- одна або більше точок знаходяться поза контрольними межами;
- сім послідовних точок знаходяться з одного боку від центральної лінії;
- більше шести точок монотонно зростають або спадають [11].

При використанні карт Шухарта, контрольні границі, на відміну від довірчих інтервалів до математичної моделі, встановлюються у вигляді прямих ліній, що робить їх менш гнучким інструментом. Проте, у випадку аналізу причин зміни рівня енергоефективності, є доречним застосування саме карт Шухарта, однак контроль проводити по незалежним змінним (рисунок 3).

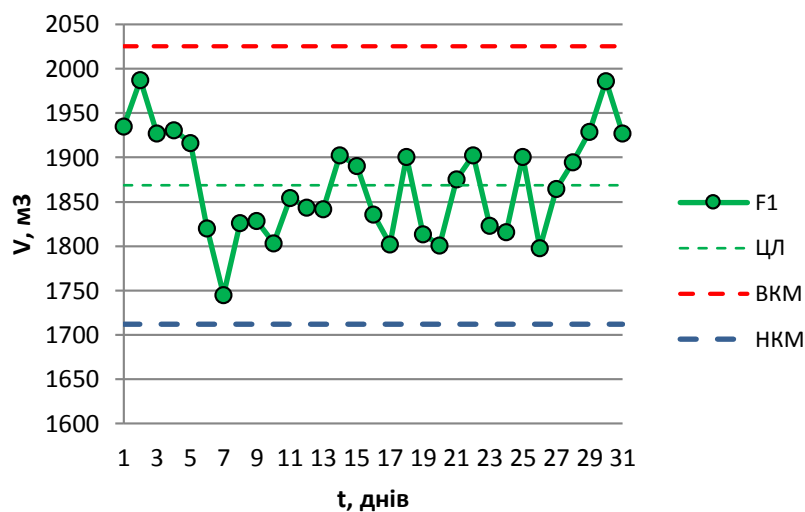


Рисунок 3 — Контрольна карта середніх значень відхилень для незалежної змінної $F1$ (ЦЛ – центральна лінія, ВКМ – верхня контрольна межа, НКМ – нижня контрольна межа)

Аналогічно будуються контрольні карти для середніх значень факторів F_2 та F_3 . Таким чином, можна спостерігати раптові зміни параметрів, що впливають на величину енергоспоживання. Як правило, це і є причиною суттєвої різниці між фактичним і цільовим значенням енергоспоживання.

Користуючись правилами читання карт Шухарта [11], згідно контрольних карт середніх значень відхилень для незалежних змінних $F1, F2, F3$, можна зробити наступні висновки щодо відхилень точок:

- 1) в точках 2, 30 відбулися зміни параметрів $F1$ та $F2$;
- 2) в точках 4, 8 відбулися зміни параметру $F3$;
- 3) в точці 7 відбулися зміни параметру $F1$;
- 4) в точці 21 відбулися зміни параметру $F2$.

Результати моніторингу змін параметрів та оцінка їх впливу на ефективність використання енергії представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 — Результати моніторингу енергоефективності

День	Рівень енергоефективності		Причина
	Перевитрата, кВт·год	Економія, кВт·год	
2	39,313	0	F1 і F2 збільшились
4	0	35,608	F3 зменшився
7	0	38,688	F1 зменшився
8	0	33,586	F3 зменшився
21	0	13,668	F2 зменшився
30	39,576	0	F1 і F2 збільшились

Таким чином, кожен з розглянутих в даній статті методів дозволяє вирішити окрему важливу задачу, необхідну для проведення адекватного оперативного контролю енергоефективності. Тому, доцільно на їх основі створити комплексну процедуру моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, що дозволить визначити контрольні границі енергоспоживання та проводити контроль виконання встановлених цільових змінних, що полягатиме в обґрунтуванні виходу значень рівня енергоефективності за межі контрольних границь, тобто в наданні оцінки невідповідності, аналізу причин та кількісної оцінки економії чи перевитрати енергії на об'єкті.

Процедура моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження можна представити у вигляді алгоритму (рисунк 4).



Рисунок 4 – Алгоритм універсальної процедури моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження

Висновки

1. Об'єктивне та обгрунтоване вирішення питання кількісної оцінки та контролю рівня ефективності енерговикористання є необхідною умовою досягнення помітних практичних результатів моніторингу енергозбереження.

2. Кожен з розглянутих методів контролю виконання встановлених цільових змінних має свої переваги та недоліки, тому їх було доречно об'єднати задля створення універсальної процедури моніторингу результатів впровадження заходів з енергозбереження, що дозволить визначити контрольні границі енергоспоживання та проводити контроль виконання встановлених цільових змінних, що полягатиме в обгрунтуванні виходу значень рівня енергоефективності за межі контрольних границь, тобто в наданні оцінки невідповідності, аналізу причин та кількісної оцінки економії чи перевитрати енергії на об'єкті.

Список літератури

1. Приступа М., Бохонко М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація. – Рівне: видавець О.Зень, 2011. – 56 с.
2. Ковалко М.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П.Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
3. Праховник А.В. Контроль і нормалізація енергоспоживання / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009 - №8(66). – с. 41-54.
4. Находов В.Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова // Промелектро. - 2007. - №2. - С. 42-48.
5. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P.29-32.
6. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭМ, 1997. – 38с.
7. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В.Ф. Находов // Промислова електроенергетика та електротехніка Промелектро: інформ. Зб. – 2007. - №1. – С. 34-42.
8. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О. Вибір оптимального набору критеріїв з метою комплексної оцінки адекватності побудови «стандарту» енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності // Енергетика. Екологія. Людина. 2013 — № 3 (34) — С. 68-78.
9. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Перевод с английского под редакцией канд. техн. наук Э.К. Лецкого. – М.:Издательство «Мир», 1980. – 610 с.
10. Вальд А. Последовательный анализ / Перевод с английского под редакцией Б.А. Севастьянова. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 327 с.

УДК 621.311:658.26:336.5.02:64

**ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ
ТАКСОНОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ**

Чернявський Анатолій Володимирович
Мидловець Ольга Андріївна

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ТАКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОМ**

Чернявский Анатолий Владимирович
Мидловец Ольга Андреевна

**ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS
USING TAXONOMIC METHOD**

Anatolii Cherniavskiy
Olga Mydlovets

Анотація

У роботі вказано на проблеми керування енергозбереженням у вищих навчальних закладах (ВНЗ) та вказано на необхідність удосконалення механізмів стимулювання енергозберігаючої діяльності. За результатами вивчення методичних документів та наукових публікацій у цій сфері в даній роботі запропоновано застосування таксонометричного методу для оцінки енергоефективності окремих корпусів ВНЗ з метою стимулювання реалізації енергозберігаючої діяльності.

Ключові слова: вищий навчальний заклад, енергозбереження, енергоспоживання, навчальний корпус, ранжування, таксонометричний метод.

Аннотация

В работе указано на проблемы управления энергосбережением в высших учебных заведениях (ВУЗ) и указано на необходимость совершенствования механизмов стимулирования энергосберегающей деятельности. По результатам изучения методических документов и научных публикаций в этой сфере в данной работе предложено применение таксонометрического метода для оценки энергоэффективности отдельных корпусов вуза с целью стимулирования реализации энергосберегающей деятельности.

Ключевые слова: высшее учебное заведение, энергосбережение, энергопотребление, ранжирование, таксонометрический метод.

Abstract

It is pointed at problems of energy preservation management at institutes of higher education (IHE) and the necessity of improvement of energy preservation activity mechanism stimulation. On the base of studying methodical documents and scientific publications in this field to compare energy efficiency levels of some IHE with the aim of energy preservation activity realization stimulation it is proposed to apply the taxonomic method for evaluating the energy efficiency of individual buildings of the university in order to encourage the implementation of energy-saving activities.

Keywords institute of higher education, energy efficiency, energy consumption, educational building, rankings, taxonomic method.

Вступ. Енергоефективність та енергозбереження є пріоритетними напрямками енергетичної політики більшості країн світу. Це обумовлено обмеженістю існуючих невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), відсутністю реальних

альтернатив їх заміни, наявністю ризиків при їх виробництві і транспортуванні. В останній час ці чинники набувають все більшого значення у зв'язку із загальною нестабільністю у регіонах видобутку ПЕР, напругою на паливно-ресурсних ринках та несприятливими прогнозами щодо подальшого зростання цін на ПЕР. Розвинені країни світу, у першу чергу, країни ЄС, які вже досягли значних успіхів у вирішенні проблем енергоефективності, продовжують пошук нових джерел енергозабезпечення та розробку заходів щодо енергозбереження, що є позитивним прикладом для України. З результатів розрахунків проведених на базі прогнозних даних проекту енергетичної стратегії України до 2030 року виходить, що в країні за рахунок енергозбереження до 2020 року можна досягти економії енергоносіїв у загальному обсязі порядку 470 млн. т.у.п., що відповідає зменшенню витрат на їх імпорт близько 38 млрд. дол. [1]

Питання ефективного використання ПЕР в бюджетній сфері все частіше обговорюється та отримує більшої уваги як з боку керівництва держави, так і з боку керівників окремих бюджетних установ. Особливо гостро воно постало з часів незалежності України та все більше загострюється протягом останніх років, через брак власних ПЕР та залежність від їх імпорту з закордону. Ситуація в державі неухильно позначається й на діяльності державних ВНЗ та призводить до збільшення частки видатків на покриття комунальних витрат у бюджеті університетів, що в свою чергу скорочує можливості розвитку матеріально-технічної бази. У зв'язку з цим першочерговими до реалізації є заходи, спрямовані на зменшення та визначення обґрунтованої необхідної частки видатків на покриття цих потреб, шляхом підвищення ефективності та посилення контролю за енерговикористанням, проведення навчання співробітників та студентів з питань ощадливого енерговикористання [2].

Шляхами вирішення питань, пов'язаних з нераціональним енерговикористанням в галузі освіти є розробка нових й удосконалення існуючих методів оцінювання рівня енергоефективності, проведення енергетичних обстежень будівель, побудова системи управління ефективністю енергоспоживаючих об'єктів, розробка та реалізація дієвої програми з підвищення енергоефективності [2].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення дієвого інструменту стимулювання енергозбереження у ВНЗ України. Для досягнення мети в даній роботі поставлені та вирішені такі задачі дослідження:

1. Огляд стану енергоефективності ВНЗ України та виявлення основних проблем, що стоять на шляху формування енергоефективних ВНЗ.
2. Аналіз існуючих способів підвищення рівня енергоефективності ВНЗ України.
3. Розроблення механізму порівняння структурних підрозділів ВНЗ України за рівнем їх енергетичної ефективності.

Матеріал і результати досліджень. Згідно даних [3] система вищої освіти налічує 966 вищих навчальних закладів I-IV рівнів. При цьому слід звернути увагу на те, що більшість державних ВНЗ мають проблеми з енергозбереженням та енергоспоживанням своїх корпусів. Провівши систематизацію існуючих проблем можна зробити висновок, що у більшості ВНЗ вони однакові. Сюди можна віднести, наприклад:

- наявність застарілої системи опалення корпусів;
- високе енергоспоживання корпусів та гуртожитків на потреби опалення, вентиляції та гарячого водопостачання;

- використання в системі штучного освітлення будівель університету джерел світла з низьким рівнем енергоефективності;
- відсутність приладів обліку споживання ПЕР та води;
- відсутність достатнього фінансування для проведення робіт з комплексної модернізації енергоспоживаючого обладнання з метою зменшення енергоспоживання студмістечка;
- застосування електрокотлів, виготовлених за допомогою ручного складання з матеріалів, наявних на момент виготовлення;
- використання електричних опалювальних приладів;
- приготування гарячої води в їдальнях часто здійснюється місцево в електричних водонагрівачах;
- будівлі підключені до застарілих трансформаторів, виготовлених в 1950-60-ті роки;
- застосування фізично і морально застарілих електроприймачів;
- у великій кількості зустрічаються вугільні котельні малої потужності з фізично застарілим обладнанням та відсутністю хімводопідготовки;
- втрати теплоти в котельнях багаторазово перевищують допустимі норми;
- нещільності у віконних прошарках і в конструкціях входних дверей;
- порушення циркуляції теплоносія.

Проте деякі ВНЗ вже розпочали свою діяльність у сфері підвищення енергоефективності та впровадили ряд заходів. Сюди можна віднести [2]:

- проведення енергетичного аудиту будівель;
- розробка енергетичних паспортів будівель з затвердженням енергетичних показників (існуючі та бажані рівні споживання);
- створення автоматизованої системи обліку та моніторингу споживання електричної та теплової енергії, а також холодної води;
- скорочення втрат енергоносіїв в інженерних мережах;
- підвищення теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель;
- створення системи мотивації ощадливого енерговикористання структурних підрозділів;
- популяризація та розвиток ефективного енерговикористання серед студентів та співробітників.

Однак головними проблемами залишаються нестача коштів та неефективність проведених заходів. Слід також звернути увагу на те, що в більшості університетів відсутній підрозділ, який займається аналізом ефективності витрат енергетичних ресурсів та розробкою пропозицій щодо заходів з енергозбереження, а також відсутність дієвої системи стимулювання енергозберігаючої діяльності [2].

Для створення системи стимулювання енергозберігаючої діяльності перш за все необхідно розробити методику оцінки ефективності виконуваних робіт у сфері енергозбереження на рівні конкретних корпусів.

В Україні останнім часом активно впроваджується система рейтингової оцінки регіонів, галузей національної економіки, суб'єктів господарювання. Узагальнююча оцінка

економічних явищ з метою подальшого ранжування і групування їх об'єктів здійснюється з використанням методів математичної статистики: дисперсійного, кореляційного, регресійного, факторного аналізу, кластер-аналізу, розпізнавання образів, таксономії та ін. [5,6].

Для цього в даній роботі пропонується проводити порівняння ефективності виконуваних робіт у сфері енергозбереження на рівні конкретних корпусів пропонується із застосуванням таксонометричного методу. Марек Мілош в роботі «Математичне моделювання економічних систем. Поточні наукові проблеми. Східної Європи» використовує даний метод для оцінки регіонального продовольчого забезпечення України [4]. Аналізуючи його результати застосуємо аксонометричний метод в енергетичній сфері.

Вихідними параметрами для розрахунку інтегрального показника енергоспоживання прийнятий рівень питомого енергоспоживання приведений до кількості людей, що знаходяться в корпусі; питомого енергоспоживання на 1 м² опалювальної або корисної площі; питомого енергоспоживання на 1 м³ опалювального об'єму корпусу. На їх підставі сформована матриця спостережень, елементами якої є значення показників, за якими проводиться оцінка. Кожен j -й показник на i -му об'єкті заданий величиною x_{ij} . Таким чином задана матриця X , кожен рядок якої можна інтерпретувати як точку чи вектор, розташований в i -вимірному просторі з координатами, які дорівнюють значенням j -ознак для кожного розглянутого корпусу. У матриці спостережень i - це кількість об'єктів класифікації (корпусів), j - число ознак об'єктів (показників енергоспоживання); X_{ij} - значення ознаки j для i корпусу.

Вихідні дані матриці спостережень за 26-ти корпусам НТУУ «КПІ» наведено в табл.

3.1.

Оскільки показники енергоспоживання мають несумірні значення, необхідно здійснити стандартизацію (нормування) елементів матриці, для чого матриця X замінена нами на матрицю Z . Процедура стандартизації дозволяє не тільки елімінувати одиниці виміру, але і вирівняти значення ознак. Допускаючи, що всі групи продуктів мають рівноцінне значення для повноцінного харчування, розрахунки проведені без урахування коефіцієнтів ієрархії, що виділяють ознаки за ступенем важливості. У такому випадку елементи нормованої матриці Z визначаються за формулою:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_{x_j}} \quad (1)$$

де: $\bar{x}_j$ - середнє арифметичне всіх рівнів показника j (шпальти матриці X);

σ_{x_j} - середньоквадратичне (стандартне) відхилення ознаки j ;

Z_{ij} - стандартизоване значення j -го показника для i -го корпусу.

У свою чергу, ці параметри розраховувалися за формулами:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

$$\sigma_{x_j} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (3)$$

де:

$i = \overline{1, n}$ і $j = \overline{1, m}$.

Таблиця 1- Вихідні дані

№ п/п	Назва об'єкту	Питоме енергоспоживання			
		на 1 особу, що перебуває в корпусі, кг ум.п./1ос.	на 1 м ² опалюваної площі, кг ум.п./1м ² оп. пл.	на 1 м ² корисної площі, кг ум.п./1 м ² к. пл...	на 1 м ³ опалюваного об'єму, кг ум.п./ 1 м ³ оп.об.
1	Корпус 1	146,1397	17,13	24,1	2,64
2	Корпус 2	711,3855	31,66	62,367	5,81
3	Корпус 4	190,934	23,84	33,314	4,09
4	Корпус 5	147,0884	16,58	29,671	3,89
5	Корпус 6+музей	351,7963	11,69	13,043	2,77
6	Корпус 7(разом с ЦКМ)	184,8597	13,1	23,507	2,24
7	Корпус 8	56,6252	11,15	16,095	2,77
8	Корпус 9	758,1062	20,07	41,757	4,74
9	Корпус 11	164,228	18,62	24,613	3,35
10	Корпус 12	96,2356	12,7	18,996	2,69
11	Корпус 13	134,0749	12,84	23,513	3,15
12	Корпус 14	105,9543	17,92	26,5	4,49
13	Корпус 15	70,7741	16,06	27,823	3,95
14	Корпус 16	1316,066	15,58	22,878	3,89
15	Корпус 17	180,385	17,73	27,502	17,74
16	Корпус 18	108,7884	13,99	24,886	2,96
17	Корпус 19	297,6483	13,64	22,991	2,93
18	Корпус 20	190,6533	15,1	28,529	3,31
19	Корпус 21	79,4441	18,68	33,212	4,51
20	Корпус 22	116,0401	12,38	20,747	2,67
21	Корпус 23	160,7578	14,69	20,678	2,79
22	Корпус 24	1298,744	31,8	56,269	3,97
23	Корпус 28	318,2295	21,91	33,413	4,15
24	Корпус №30	119,2978	17,12	25,947	2,78
25	Корпус 31(Ст. Мет.)	753,1798	21,97	28,653	4,68
26	Корпус 35	172,3645	30,98	45,527	6,72

* через відсутність даних на момент проведення експерименту в порівнянні приймали участь не всі корпуси.

Таблиця 2- Матриця нормованих даних показників енергоспоживання

№ п/п	Назва об'єкту	Питоме енергоспоживання			
		на 1 особу, що перебуває в корпусі	на 1 м ² опалюваної площі	на 1 м ² корисної площі	на 1 м ³ опалюваного об'єму
1	Корпус 1	-0,49	-0,16	-0,45	-0,55
2	Корпус 2	1,14	2,34	2,99	0,55
3	Корпус 4	-0,36	1,00	0,38	-0,04
4	Корпус 5	-0,49	-0,25	0,05	-0,11
5	Корпус 6+музей	0,10	-1,09	-1,44	-0,50
6	Корпус 7(разом с ЦКМ)	-0,38	-0,85	-0,50	-0,68
7	Корпус 8	-0,75	-1,18	-1,17	-0,50
8	Корпус 9	1,27	0,35	1,14	0,18
9	Корпус 11	-0,44	0,10	-0,40	-0,30

10	Корпус 12	-0,63	-0,92	-0,91	-0,53
11	Корпус 13	-0,53	-0,89	-0,50	-0,37
12	Корпус 14	-0,61	-0,02	-0,23	0,09
13	Корпус 15	-0,71	-0,34	-0,11	-0,09
14	Корпус 16	2,88	-0,42	-0,56	-0,11
15	Корпус 17	-0,39	-0,05	-0,14	4,67
16	Корпус 18	-0,60	-0,70	-0,38	-0,43
17	Корпус 19	-0,05	-0,76	-0,55	-0,44
18	Корпус 20	-0,36	-0,50	-0,05	-0,31
19	Корпус 21	-0,68	0,11	0,37	0,10
20	Корпус 22	-0,58	-0,97	-0,75	-0,53
21	Корпус 23	-0,45	-0,57	-0,76	-0,49
22	Корпус 24	2,83	2,37	2,44	-0,09
23	Корпус 28	0,00	0,67	0,39	-0,02
24	Корпус №30	-0,57	-0,16	-0,28	-0,50
25	Корпус 31(Ст. Мет.)	1,26	0,68	-0,04	0,16
26	Корпус 35	-0,42	2,22	1,48	0,86

Таблиця 3- Ранжування навчальних корпусів по рівню таксонометричного показника енергоспоживання.

№ п/п	Назва об'єкту	Евклідова відстань	Таксонометричний показник	Ранг корпусу
		C_{i0}	d_i	R
1	Корпус 1	1,28	0,77	10
2	Корпус 2	5,86	0,02	25
3	Корпус 4	2,74	0,51	19
4	Корпус 5	1,60	0,71	15
5	Корпус 6+музей	0,90	0,84	7
6	Корпус 7(разом с ЦКМ)	0,85	0,85	6
7	Корпус 8	0,00	1,00	1
8	Корпус 9	3,49	0,37	21
9	Корпус 11	1,54	0,72	14
10	Корпус 12	0,39	0,93	2
11	Корпус 13	0,77	0,86	4
12	Корпус 14	1,61	0,71	16
13	Корпус 15	1,41	0,75	13
14	Корпус 16	3,78	0,32	22
15	Корпус 17	5,40	0,03	24
16	Корпус 18	0,94	0,83	8
17	Корпус 19	1,03	0,82	9
18	Корпус 20	1,38	0,75	12
19	Корпус 21	2,10	0,62	17
20	Корпус 22	0,50	0,91	3
21	Корпус 23	0,79	0,86	5
22	Корпус 24	6,21	0,01	26

23	Корпус 28	2,58	0,54	18
24	Корпус №30	1,37	0,75	11
25	Корпус 31(Ст. Мет.)	3,03	0,46	20
26	Корпус 35	4,54	0,19	23

Важливим етапом таксонометричного аналізу є формування точки еталона. Для вибору "еталонного" об'єкта, в даному випадку - "еталонного корпусу", з координатами вектора якого порівнюються відповідні параметри решти навчальних корпусів, визначається оптимальне значення нормалізованих j -х показників по всіх об'єктах. Вибираються, відповідно, максимальні або мінімальні значення в залежності від напрямку впливу на результативний показник. В даному випадку вибрані мінімальні показники, отже це корпус №8. Таким чином, еталоном вважатиметься точка P_0 з координатами $Z_{01}, Z_{02}, Z_{03}, \dots, Z_{0n}$, отриманими таким способом (табл. 2):

$Z_{0j} = \max Z_{ij}$, якщо $j \in I$ (де I - безліч показників-стимуляторів);

$Z_{0j} = \min Z_{ij}$, якщо $j \in J$ (де J - безліч показників-дестимуляторів).

Зіставлення значень j -х показників досліджуваних об'єктів за їх "еталонним" значень здійснюється шляхом розрахунку евклідової відстані за формулою:

$$C_{io} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_{0j})^2} \quad (4)$$

де:

z_{ij}, z_{0j} - нормовані координати досліджуваного і еталонного корпусу відповідно.

На підставі отриманих відстаней розраховується таксонометричний показник споживання i -го регіону:

$$d_i = 1 - \frac{C_{io}}{C_o} \quad (5)$$

де:

$$C_o = \overline{C_o} + 2\sigma_o \quad (6)$$

$$\overline{C_o} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m C_{io} \quad (7)$$

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (C_{io} - \overline{C_o})^2} \quad (8)$$

Економічна інтерпретація таксонометричного показника наступна: чим ближче його значення до одиниці, тим менше розходження між значеннями характеристик і їх еталонними значеннями і менший рівень енергоспоживання відповідного корпусу. Оскільки найменшу відстань відповідає вищому місцю, ранжування корпусів пропонується здійснювати в такій послідовності, яка відповідає зменшенню узагальненого інтегрального показника, з присвоєнням залежно від займаного в цій послідовності місця відповідних рейтингів (R). Як бачимо за результатами ранжування (табл. 3), найближчим до еталону, а отже одним з найкращих, є рівень енергоспоживання в корпусі №12 - його таксонометричний показник є максимальним після еталону і становить 2. Найгіршим з представлених показників є рівень споживання в Корпус 24 - таксонометричний показник становить (0,01).

Висновки.

1. На даний момент в світі існує обмеженість невідновлюваних ПЕР, відсутність реальних альтернатив їх заміни, наявність ризиків при їх виробництві і транспортуванні, тому кожна країна ставить пріоритетним напрямом енергоефективність та енергозбереження.

2. Одним із кроків в напрямку енергозбереження та енергоефективності є покращення енергоспоживання та енергопостачання ВНЗ, так як їхня кількість в нашій країні досить значна, а проблеми досить глобальні і різносторонні. Для прикладу було розглянуто НТУУ «КПІ» – один з найбільших університетів нашої країни, а саме навчальні корпуси і застосували один із інструментів підтримки та безперервного покращення діяльності в сфері енергозбереження – таксонометричного аналізу.

3. Таксонометричний аналіз показав, що показники загального питомого енергоспоживання на 1 особу, що перебуває в корпусі, на 1 м² опалювальної площі, на 1 м² корисної площі та на 1 м³ опалювального об'єму корпусів 8, 12, 22, 13 є найкращими, а 35, 17, 2, 24 – найгіршими.

Посилання на літературу:

[1] Енергозбереження - пріоритетний напрямок енергетичної політики та підвищення енергетичної безпеки України / Бараннік В.О., Земляний М.Г. // Міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективність – 2004», м. Одеса, 13-16 жовтня 2004 р.

[2] Програма з енергоефективності НТУУ «КПІ» на 2012-2015 роки. / Шевченко О.М., Петушкова К. О., Довбуш О.В., - Рада з енергозбереження НТУУ «КПІ».

[3] Статистичний збірник «Україна у цифрах». К.: 2011. – 210 с.

[4] «Математичне моделювання економічних систем. Поточні наукові проблеми. Східної Європи» /Марек Мілош. // Монографія, Люблін 2013.-С. 32-44.

[5] Григорук П. М. Багатомірне економіко-статистичне моделювання: Р навч. посіб. / П. М. Григорук. Львів. Новий Світ-2000, 2006. 148 с.

[6] Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: Методы таксономии и факторного анализа / В. Плюта // пер. с пол. В. В. Иванова; науч. ред. В. М. Жуковской. Москва. Статистика, 1980. 151 с.

УДК 621.311.003.13

Находов В.Ф., Іванько Д.О., Мазасва Т.В.

АНАЛІЗ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ НОРМАТИВНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ВИРОБНИЦТВО І ТРАНСПОРТУВАННЯ ТЕПЛА

Стаття присвячена питанням вдосконалення існуючої системи нормування питомих витрат електроенергії. Проаналізовано Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні теплової енергії. Визначено основні недоліки наведеної у Порядку методики розрахунку норм питомої витрати електричної енергії. Обґрунтована необхідність та визначено можливі шляхи удосконалення Порядку для подальшого здійснення більш об'єктивного контролю енергетичної ефективності підприємств теплоенергетики.

Ключові слова: підприємства теплоенергетики, котельні, нормативні витрати електроенергії, тяго-дугтєове обладнання.

Вступ

На даний час економіка України досягла критичного рівня залежності від зарубіжних поставок енергоресурсів. При цьому енергоємність вітчизняної продукції залишається досить високою, у порівнянні з розвинутими країнами[1]. Тому, з кожним роком, все гостріше в нашій країні постає проблема енергозбереження та ефективного використання ПЕР [2].

Однією з першочергових задач, що виникає при вирішенні питань у сфері енергозбереження, є систематичний контроль та аналіз ефективності використання палива та енергії на відповідних об'єктах. На сьогоднішній день в Україні методологічною основою контролю та аналізу ефективності використання ПЕР є система нормування питомих витрат палива та енергії на виробництво продукції, виконання робіт чи надання послуг, яка застосовується протягом багатьох десятиліть, починаючи ще з часів колишнього СРСР. Розробка підприємствами усіх форм власності норм питомої витрати паливно-енергетичних ресурсів на одиницю продукції, що виробляється, передбачається вимогами статті 20 Закону України «Про енергозбереження» та здійснюється згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 15.07.1997 року № 786 «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» (зі змінами та доповненнями, внесеними Постановою Кабміну № 841 від 03.08.2011 р.), а також Наказу Державного комітету України з енергозбереження від 22.10.2002 р. № 112 «Основні методичні положення з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві».

Однак, проаналізувавши діючі в нашій державі методики нормування питомих витрат електроенергії можна стверджувати, що більшість з них мають низку суттєвих недоліків, які не дозволяють достатньо об'єктивно оцінювати рівень ефективності використання електричної енергії у виробничій сфері [3].

Проте, є й такі методики на підставі яких, можна встановити достатньо обґрунтовані та прогресивні норми. Одним з прикладів такої методики є Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики

при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії (далі Порядок), затверджений Наказом Міністерства з питань житло-комунального господарства України №12 від 02.02.2009 року [4].

Цей Порядок визначає основні методичні положення розрахунку нормативних витрат електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики для надання послуг централізованого постачання гарячої води, опалення і вентиляції житлових і громадських будівель. Однак і в цій методиці є певні неточності, нечіткості деяких вихідних та розрахункових величин, що потребують детального розгляду та пошуку шляхів їх вирішення.

Метою даної роботи є детальний аналіз Порядку розрахунку нормативних витрат електроенергії, визначення основних напрямків та пропозицій щодо його удосконалення, яке дасть змогу встановлювати більш точні та обґрунтовані норми її питомої витрати і, відповідно, здійснювати більш об'єктивний контроль енергетичної ефективності підприємств теплоенергетики та їх виробничих підрозділів, зокрема, котельних.

Матеріали і результати дослідження.

Порядком передбачено визначення нормативних витрат електричної енергії основним та допоміжним обладнанням котельних, зокрема, таким як дуттьові вентилятори, димососи, насоси різного призначення, контрольно-вимірювальні прилади і автоматика, системи освітлення тощо.

Хоча розрахунки норм питомих витрат електричної енергії за Порядком достатньо прості, в процесі їх практичного виконання виникають численні питання, відповіді на які не можна знайти у методиці, що розглядається.

Першим і найбільш очевидним недоліком Порядку є те, що в процесі розрахунку практично всіх показників, зокрема, середньої продуктивності тяго-дутьового та насосного обладнання котельних, середньої електричної потужності, що споживається цим обладнанням тощо, виникає потреба у виборі числових значень багатьох нормативно-довідкових даних, які за своєю природою є нечіткими величинами. Такими величинами, зокрема, є коефіцієнт надлишку повітря в димових газах та топці котлоагрегатів, температура димових газів та холодного повітря, тиск, що створюють нагнітачі різного призначення, коефіцієнт підживлення теплової мережі тощо. І це далеко не повний їх перелік. Зазвичай зазначені нормативні величини наводяться у Порядку та іншій довідковій літературі у вигляді досить широкого діапазону їх значень які не завжди відповідають конкретним виробничим умовам.

Таким чином процес прийняття рішення щодо вибору певного числового значення більшості довідкових величин з достатньо широкого діапазону їх нормативних значень значною мірою має суб'єктивний характер. Очевидно, що такий, достатньо довільний вибір числових значень нормативно-довідкових величин може суттєво впливати на результати подальших розрахунків нормативних витрат електричної енергії обладнанням котельних.

А отже числові значення норм питомої витрати електроенергії що встановлюються на підставі таких розрахунків для котельних, також можуть коливатись в досить широких межах, що не дозволяє вважати їх достатньо обґрунтованими.

Слід зазначити, що таку невизначеність вихідних даних можна суттєво зменшити, шляхом застосування аеродинамічних та гідравлічних характеристик обладнання для знаходження числових значень багатьох необхідних величин. Проте, спосіб використання таких характеристик також потребує додаткових пояснень, які в нормативному документі, що розглядається відсутні.

Такі пояснення є необхідними, зокрема, в процесі знаходження на

аеродинамічних характеристиках тяго-дутьового обладнання робочої точки, для якої необхідно визначати робочий тиск та експлуатаційний ККД нагнітача. На будь-якій аеродинамічній характеристиці наведено декілька робочих характеристик нагнітача, які відповідають різним способам регулювання його продуктивності. Наприклад, на рисунку 1 таких характеристик чотири.

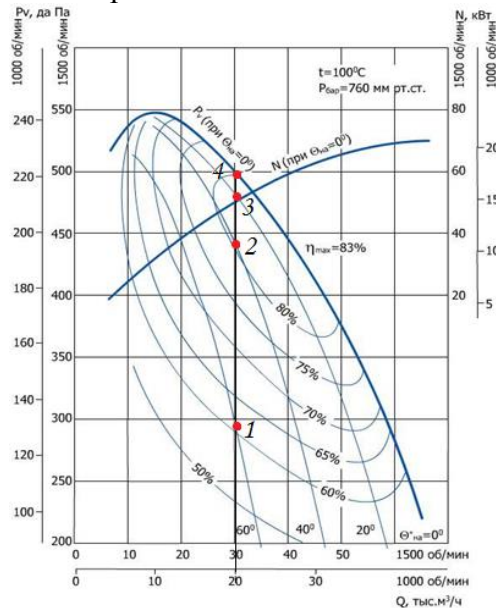


Рисунок 1 – Аеродинамічна характеристика димососу ДН-12,5.

Отже, в залежності від величини розрахункової продуктивності димососа чи вентилятора можна вибрати від однієї до чотирьох можливих робочих точок.

Питання вибору робочої точки на аеродинамічних характеристиках нагнітачів можна вирішити, виходячи з необхідності забезпечення якомога більш високого рівня ефективності використання електричної енергії димососами та вентиляторами, які досить часто є одними з основних її споживачів на котельних.

На підставі результатів, отриманих при виконанні численних розрахунків, для різних типів тяго-дутьового обладнання, можна стверджувати, що при визначенні нормативних витрат електроенергії вентиляторів та димососів котельних робочу точку на їх аеродинамічних характеристиках (і, відповідно, спосіб регулювання їх продуктивності) слід вибирати на перетині вертикальної лінії, що відповідає розрахунковій продуктивності нагнітача, та першої з можливих при такій продуктивності («найнижчої») його робочої характеристики.

Функціонування тяго-дутьового обладнання у вибраній таким чином робочій точці відповідає найбільш ефективному режиму використання ним електричної енергії.

Крім того, існує ще одна серйозна проблема, що виникає при застосуванні аеродинамічних характеристик нагнітачів у процесі розрахунку їх нормативних витрат електричної енергії. Мова йде про те, що фактичні (експлуатаційні) умови роботи димососів та вентиляторів, зокрема температура димових газів та «холодного» повітря, а також барометричний тиск у відповідній місцевості, можуть суттєво відрізнятись від паспортних умов, для яких були побудовані аеродинамічні характеристики. Отже, перш ніж використовувати «паспортні» характеристики тяго-дутьового обладнання, їх потрібно привести до фактичних умов експлуатації цих нагнітачів, тобто відповідним чином скоригувати. Порядок, що розглядається, не містить жодних методичних

рекомендацій щодо такого коригування.

Слід зазначити, що на підставі аеродинамічних характеристик, існує можливість визначення не тільки необхідних значень робочого тиску та експлуатаційного ККД нагнітача, але й безпосередньо електричної потужності, що споживається ним при тій чи іншій продуктивності та при відповідному способі її регулювання. Адже на характеристиках представлена також залежність споживаної електричної потужності димососів та вентиляторів від їх продуктивності, яка являє собою одну з енергетичних характеристик такого обладнання. Зазначена залежність на аеродинамічних характеристиках наводиться для одного з способів регулювання продуктивності нагнітачів, якому відповідає кут повороту лопаток їх направляючого апарату, що дорівнює 0° .

Для того, щоб коректно застосовувати такі енергетичні характеристики тяго-дутьового обладнання для розрахунку нормативних витрат електроенергії на котельних, перш за все, потрібно з'ясувати, якій саме потужності відповідають ці характеристики. Адже в інтернет-джерелах, у яких можуть бути знайдені необхідні аеродинамічні характеристики вентиляторів та димососів, відсутні відомості щодо того, відповідають наведені енергетичні характеристики потужності на валу самого нагнітача чи потужності, що споживається його електродвигуном.

Ще одне принципове питання виникає при обчисленні середньої споживаної потужності нагнітачів. З метою виконання розрахунків для тяго-дутьового обладнання Порядком передбачається застосування наступної залежності:

$$P = \frac{k \cdot L \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_m} \quad (1)$$

Сумніви викликає наявність у ній коефіцієнта запасу. Можна припустити, що введення до формули 1 такого коефіцієнту має на меті передбачення можливості відхилення реальних умов роботи обладнання від розрахункових. Однак врахування такої можливості (і, відповідно, застосування коефіцієнтів запасу) головним чином є потрібним для вибору необхідної встановленої потужності електродвигуна того чи іншого виду обладнання, і аж ніяк не для розрахунку середньої потужності, що ним споживається.

Відповіді на вище перераховані питання можна отримати, виконавши низку розрахунків електричної потужності тяго-дутьового обладнання, та порівнявши отримані результати з даними, одержаними за відповідними енергетичними характеристиками таких нагнітачів.

На підставі численних розрахунків, виконаних для різних типів нагнітачів можна зробити висновок, що представлена на аеродинамічних характеристиках тяго-дутьового обладнання характеристика потужності являє собою залежність електричної потужності, що споживається на валу нагнітача, від його продуктивності.

Можна стверджувати також, що при розрахунку середньої споживаної потужності вентиляторів та димососів використання у формулі 1 коефіцієнта запасу k є некоректним. До того ж, застосування такого коефіцієнта є недоцільним з точки зору необхідності визначення саме *нормативних* витрат електроенергії. Адже, врахування цього коефіцієнта збільшує розрахункову величину середньої потужності тяго-дутьового обладнання котельних на 10...20% у порівнянні з дійсною середньою потужністю, що споживатиметься цим обладнанням у відповідному режимі його роботи.

Крім того, виконані розрахунки дозволяють стверджувати, що при розрахунку середньої потужності, що споживається електродвигуном димососів та вентиляторів, в умовах відсутності їх аеродинамічних характеристик необхідно в наведених у Порядку залежностях додатково враховувати експлуатаційний ККД електродвигуна та механічної передачі.

Крім наведених вище складнощів, які виникають в процесі виконання за Порядком відповідних розрахунків, слід звернути увагу ще на одну проблему, що виникає саме при визначенні ККД асинхронного електродвигуна.

Для розрахунку середньої потужності, що споживається електродвигуном будь-якого відцентрового нагнітача, використовується єдина загальна формула:

$$P = \frac{L \cdot H}{\eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_m} \quad (2)$$

де L та H – продуктивність та тиск нагнітача; η_e, η_n, η_m – ККД відповідно асинхронного електродвигуна, самого нагнітача і механічної передачі.

Згідно Порядку величина ККД асинхронного двигуна визначається за наведеною в цьому документі спеціальною таблицею в залежності від завантаження електродвигуна за потужністю, яке розраховується за формулою:

$$k_z = \frac{P}{P_{ном}} \quad (3)$$

де $P_{ном}$ і P – відповідно номінальна потужність електродвигуна та середня потужність, що споживається ним протягом того чи іншого періоду.

Однак у зазначеному методичному документі не міститься жодних пояснень щодо способу розрахунку коефіцієнта завантаження за потужністю електродвигуна нагнітачів (димососів, вентиляторів або насосів).

Якщо розглядати співвідношення $P/P_{ном}$, яке за Порядком є вихідною величиною для визначення експлуатаційного ККД електродвигуна будь-якого нагнітача, саме як коефіцієнт завантаження за потужністю цього обладнання (тобто, системи електродвигун – робоча машина в цілому), то виникає ситуація, яку можна назвати «замкненим колом».

Якщо ж сприймати зазначене співвідношення $P/P_{ном}$, що використовується в таблиці, наведених в розділі 3 Порядку, як коефіцієнт завантаження електричного двигуна окремо, то в цьому випадку фізичний зміст величини P є цілком зрозумілим. Це середня електрична потужність, що споживається самим нагнітачем при його роботі з розрахунковою продуктивністю. Очевидно, що тільки при такому розумінні складових формули для розрахунку коефіцієнта завантаження електродвигуна є практично можливим визначення його експлуатаційного ККД за наведеною в Порядку таблицею.

Таким чином для тяго-дутьового обладнання котельних у випадку відсутності його аеродинамічних характеристик перш за все, необхідно обчислити величину середньої електричної потужності (P), що споживається самим нагнітачем при його розрахунковій продуктивності. Після цього одержане значення потужності (P) має бути використане для визначення коефіцієнта завантаження електродвигуна за формулою 3.

Знаючи числове значення цього коефіцієнту, за таблицею, наведеною в розділі 3 Порядку можна визначити величину експлуатаційного ККД електродвигуна нагнітача,

за необхідності здійснюючи лінійну інтерполяцію його дискретних значень.

За результатами виконаних таким чином розрахунків середня потужність, що споживається електродвигуном вентилятора чи димососу, може бути визначена шляхом ділення раніше розрахованої середньої споживаної потужності самого нагнітача (P) на добуток знайденого за наведеною у Порядку таблицею експлуатаційного ККД електродвигуна та ККД механічної передачі, який також приймається згідно Порядку.

Що ж стосується насосного обладнання котельних, слід зазначити, що у випадку відсутності їх гідравлічних характеристик неможливо визначити експлуатаційний коефіцієнт завантаження електродвигуна і, відповідно, прийняти обґрунтоване значення його експлуатаційного ККД за наведеною в Порядку таблицею.

З іншого боку, у випадку наявності гідравлічних характеристик насосів величину середньої електричної потужності (P), що споживається такими нагнітачами при їх розрахунковій продуктивності, можна визначати безпосередньо за енергетичними характеристиками, які є однією з залежностей, що входять до складу гідравлічних характеристик будь-якого насосу.

Дещо складнішою має бути процедура визначення експлуатаційного коефіцієнту завантаження електродвигунів тяго-дутьового обладнання котельних за наявності аеродинамічних характеристик таких нагнітачів. Однією з аеродинамічних характеристик димососів та вентиляторів також є їх енергетичні характеристики. Однак, такі енергетичні характеристики відповідають тільки одному з можливих способів регулювання продуктивності цього обладнання.

Таким чином алгоритм встановлення експлуатаційного ККД електродвигуна будь-якого виду тяго-дутьового обладнання котельних, а також розрахунку середньої потужності, що споживається електродвигуном вентилятора чи димососу, має повністю співпадати з алгоритмом виконання аналогічних розрахунків у випадку відсутності аеродинамічних характеристик таких нагнітачів

Слід додати також що при проведенні розрахунку норм питомої витрати котельної, виникають труднощі з визначенням тривалості роботи основного і допоміжного технологічного обладнання протягом відповідного розрахункового періоду.

Для окремих видів електрообладнання котельних, робота якого безпосередньо пов'язана з функціонуванням котлоагрегатів, тривалість роботи якого протягом минулих, так і наступних періодів може бути визначена з достатньо високою точністю.

Однак для певної частини електричного обладнання котельних, наприклад, для насосів сирої води, а також насосів системи хімоводообробки (ХВО) визначити очікувану тривалість роботи на відповідну перспективу досить складно.

Відомості про використання обладнання котельних, зокрема і про тривалість роботи зазначених насосів за минулі періоди, міститься у відповідних звітних документах. Але інформація, що надається в цих документах, не завжди є достатньо достовірною. До того ж мова йде про необхідність встановлення певної «нормативної» тривалості роботи обладнання на той чи інший розрахунковий період на підставі даних про його використання протягом попередніх періодів. Виходячи з зазначеного, є очевидним, що вирішення цієї задачі потребує застосування відповідних методів прогнозування випадкових величин.

Очевидно, що в процесі розрахунку нормативних витрат електричної енергії насосами сирої води та насосами системи ХВО немає потреби у визначенні тривалості їх роботи з дуже високою точністю, оскільки зазначені види обладнання не є енергоємними і навіть значна похибка у виконаних для них розрахунках не матиме помітного впливу

на загальну величину витрат електроенергії на котельній в цілому. Тому для встановлення тривалості роботи окремих видів електричного обладнання котельних доцільно використовувати достатньо прості та найбільш поширені методи прогнозування, зокрема, методи експертних оцінок або прості методи екстраполяції.

На завершення потрібно також звернути увагу на те, що Порядок розрахунку нормативних витрат електричної енергії підприємствами теплоенергетики фактично не містить жодних методичних рекомендацій щодо проведення контролю виконання встановлених норм питомої витрати електроенергії, зокрема, на котельних. Тобто на підставі цього нормативно-методичного документу досить складно виконувати таку важливу функцію енергетичного менеджменту, як об'єктивний контроль та аналіз ефективності використання електричної енергії в процесах виробництва, транспортування та постачання тепла.

Висновки:

1. Діючий в Україні Порядок розрахунку нормативних витрат електричної енергії на підприємствах теплоенергетики має низку недоліків, неточностей, пов'язаних нечіткістю окремих вихідних та розрахункових величин, невизначеністю методів та способів їх вибору або визначення, наявність яких не дозволяє вважати норми питомої витрати електроенергії, що встановлюються на підставі цього документу, достатньо точними та обґрунтованими.

2. Хоча кожен окремий з недоліків Порядку, що розглядається, здебільшого, не є принциповим, з метою здійснення більш об'єктивного контролю та аналізу енергетичної ефективності підприємств теплоенергетики та їх виробничих підрозділів, зокрема котельних, зазначені недоліки потребують усунення, а сам Порядок - відповідного удосконалення.

Список літератури

1. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П. Яценко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. – К., НАЕР, 2009. – 93с.

2. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М. П., Денисюк С. П.; Відпов. ред. Шидловський А. К. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.

3. . Находов, В. Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів/ В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова // «Промислова електроенергетика та електротехніка». Промелектро : інформ. зб. - 2007. - N 2. - С. 42-50

4. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії, затверджений Наказом Міністерства з питань житло-комунального господарства України №12 від 02.02.2009 року.

АНАЛИЗ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НОРМАТИВНЫХ РАССХОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОИЗВОДСТВО И ТРАНСПОРТИРОВКУ ТЕПЛА

Статья посвящена вопросам усовершенствования существующей системы нормирования удельных расходов электроэнергии. Проанализирован Порядок расчета

нормативных расходов электроэнергии предприятиями теплоэнергетики при производстве, транспортировке и поставке тепловой энергии. Определены основные недостатки приведенной в Порядке методики расчета норм удельного расхода электрической энергии. Обоснована необходимость и определены возможные пути усовершенствования Порядка для дальнейшего осуществления более объективного контроля энергетической эффективности предприятий теплоэнергетики.

Ключевые слова: предприятия теплоэнергетики, котельные, нормы удельного расхода электроэнергии, тяго-дутьевое оборудование.

ANALYSIS AND POSSIBILITY OF IMPROVEMENT OF METHOD FOR CALCULATION OF NORMATIVE POWER CONSUMPTION IN THE PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF HEAT

Article is devoted to the analysis and improvement of the existing in Ukraine system of normalization unit cost of electricity. In particular, the results of the current method of the calculation of the regulatory costs of electrical power by thermal power plant in the production, transportation and supply of heat. The main disadvantages of techniques are determined to establish rules for specific electric power consumption at boiler stations that provide centralized hot water, heating and ventilation of residential and public buildings. The necessity of improving this technique is justified to implement a more objective control of the energy efficiency of thermal power plant.

Keywords: thermal power plant, boiler stations, electric power consumption regulations. smoke exhaust ductwork and pumps in boiler stations.

УДК 62-503.56

Чернявський А.В., к.т.н., доцент, Куцан А.С., магістрант
ОЦІНКА ВАРІАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Чернявский А.В., к.т.н., доцент, Куцан А.С., магистрант
ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Cherniavskiy A.V., PhD of science, Kutsan A.S., undergraduate
ASSESSMENT EMBODIMENT OF THE ENERGY SAVING PROJECTS

У даній статті було запропоновано метод багатокритеріальної оцінки варіантів на основі ентропії для вибору критеріїв, які можливо застосовувати при відборі проектів з енергозбереження, щодо впровадження в сфері житлово-комунального господарства.

Ключові слова: енергозбереження, житлово-комунальне господарство, проекти з енергозбереження, методи відбору проектів, критерії вибору.

В данной статье был предложен метод многокритериальной оценки вариантов на основе энтропии для отбора критериев, которые возможно применять при разработке проектов по энергосбережению и внедрению в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: энергосбережение, жилищно-коммунальное хозяйство, проекты по энергосбережению, методы отбора проектов, критерии выбора.

This paper proposed a method of multicriteria evaluation of options based on the entropy for the selection criteria that may be used in the development of energy saving projects and implementation in the field of housing and communal services.

Keywords: energy, housing and communal services, energy efficiency projects, the methods of project selection, selection criteria.

Вступ

На сьогодні у житлово-комунальному господарстві (ЖКГ) споживається 44% енергетичних ресурсів, що є близько 30% загального споживання палива в Україні. Житловий фонд держави та соціальна сфера споживають 85% енергоресурсів від загального споживання галузю.

Вирішальними проблемами енергозбереження житлово-комунального господарства є:

- законодавча неврегульованість становища ЖКГ як монопольного, відсутність розвинутого приватного сектору надання послуг і впровадження інноваційних технологій, устаткування, обладнання, організаційних форм функціонування галузі;
- невідповідність інвестиційної політики нагальним потребам галузі;
- законодавча невпорядкованість економічного механізму стимулювання енергозбереження;
- недосконала система регулювання сфери житлово-комунальних послуг, зокрема, законодавча неврегульованість форм і методів тарифного

- регулювання;
- відсутність комплексної системи впровадження сучасних методів енергоефективних технологій і технічних засобів енергозбереження;
- недостатня проінформованість населення з питань енергозбереження [1].

Тому виникає потреба в розробці та впровадженні заходів з енергозбереження в ЖКГ.

Завдання

Оцінка доцільності застосування методу на основі ентропії при виборі проектів з енергозбереження в сфері житлово-комнального господарства.

Постановка проблеми

Кожний проект з енергозбереження має свої особливості, різні терміни впровадження, строки окупності, економічний ефект, тощо. Попередньо експертами були визначені критерії відбору заходів з енергозбереження, але також необхідно розуміти пріоритетність цих критеріїв відбору.

Зрозуміло, що для різних заходів склад таких критеріїв відбору може бути специфічним. У деяких літературних джерелах проблему визначення переліку критеріїв, пропонується вирішувати виключно шляхом застосування методів експертного опитування. Однак результати використання таких методів цілком залежать від кваліфікації експертів та від ступеню узгодженості їх думок, що не дозволяє вважати ці результати достатньо об'єктивними та обґрунтованими [2].

Одним з методів, який може бути застосовано для вирішення цієї задачі, є метод визначення вагомості показників ефективності на основі ентропії.

Основні результати дослідження

Поняття ентропії в інформаційному теорію ввів К. Е. Шеннон.

Ентропія розглядається як міра невизначеності випадкової величини. Аспекти застосування ентропії для вибору рішень розглянуті в роботах [3,4]. Ентропію можна використовувати для визначення вагомості показників ефективності.

При визначенні вагомості різнорозмірних показників ефективності (РПЕ), їх необхідно зводити до такого виду, щоб найкращою величиною кожного показника була б найбільша. Таке перетворення може бути здійснено за виразом (1.1) або поділом одиниці на кожне значення перетворювати вектор-стовпця матриці.

$$\overline{x}_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} : \max_i x_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}. \quad (1.1)$$

Нижче наведений перелік заходів з енергозбереження (таблиця 1.1) та критерії відбору. Дані взяті з програми сталого розвитку міста Луцьк для житлового будинку площею 3357 м².

Критерії відбору проектів:

K1 – відповідність пріоритетним напрямкам;

K2 – сучасність запропонованих рішень;

K3 – тривалість реалізації, рік;

K4 – вартість заходу, тис.грн.;

K5 – термін окупності, рік;

K6 – наявність додаткового ефекту (крім економічного), наприклад, екологічний, соціальний, тощо;

К7 – чиста економія, (кВт г)/рік.

Таблиця 1.1 – Проекти, спрямовані на підвищення рівня енергоефективності об'єктів

№ № п/п	Позначення проектів	Назва проекту	Критерії відбору						
			K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
1	A1	Впровадження комерційного обліку споживання теплової енергії на опалення	Так	Так	2	36,6	6,3	Так	37080
2	A2	Встановлення індивідуальних тепло-пунктів (ІТП) та системи керування теплопостачанням	Так	Так	1	50	8,6	Так	37080
3	A3	Промивка і балансування системи опалення	Так	Так	1	24	4,6	Так	46350
4	A4	Встановлення за радіаторних рефлекторів	Так	Так	4	21	7,1	Так	8821
5	A5	Теплоізоляція трубопроводів та запірної арматури системи опалення та ГВП	Так	Так	3	25	4,1	Так	27412
6	A6	Модернізація водопровідних насосних	Так	Так	1	108,2	2	Так	19899
7	A7	Заміна електрообладнання ліфтів	Так	Так	9	640	26,2	Так	18384
8	A8	Впровадження муніципального менеджменту	Так	Так	1	6,6	2,8	Так	21679
9	A9	Термомодернізація житлових і комунальних будівель (заміна вікон, дверей)	Так	Так	2	140,8	10,3	Так	61644
10	A10	Утеплення фасаду будівель	Так	Так	4	501,84	21,2	Так	107046
11	A11	Утеплення даху	Так	Так	1	110,4	11,6	Так	43362
12	A12	Встановлення автоматичних систем керування освітлення	Так	Так	1	21	7,5	Так	15015
13	A13	Встановлення енергозберігаючих ламп на сходових клітинах та коридорах	Так	Так	1	2,25	1,4	Так	8651
14	A14	Інструкції з експлуатації та обслуговування	Так	Так	1	5	0,3	Так	43314
15	A15	Диспетчеризація та автоматизація ЦТП	Так	Так	3	109	3	Так	15516
16	A16	Нова вентиляційна система з теплообмінником	Так	Так	2	221,6	8	Так	54251

На основі вихідних даних будується вихідна матриця, яка потім зводиться в матрицю з нормованими величинами показників ефективності $\bar{P}$. Нормалізацію показників проводимо за формулами (1.2):

$$\begin{aligned}\bar{x}_{ij} &= \left(\frac{x_{ij}}{x_j^*}\right)^2, & \text{коли } x_j^* &= \max; \\ \bar{x}_{ij} &= \left(\frac{x_j^*}{x_{ij}}\right)^3, & \text{коли } x_j^* &= \min;\end{aligned}\quad (1.2)$$

Неважко помітити, що чим більше розходження між значеннями певного показника ефективності, тим більший вплив цей показник надає при виборі найбільш кращого варіанту на основі використання коефіцієнтів вагомості, визначених методом ентропії, і одного з узагальнених критеріїв ефективності.

Вихідна матриця
Критерії відбору

Заходи		K3	K4	K5	K7
	A1	2	37	6	37080
	A2	1	50	9	37080
	A3	1	24	5	46350
	A4	4	21	7	8821
	A5	3	25	4	27412
	A6	1	108	2	19899
	A7	9	640	26	18384
	A8	1	7	3	21679
	A9	2	141	10	61644
	A10	4	502	21	107046
	A11	1	110	12	43362
	A12	1	21	8	15015
	A13	1	2	1	8651
	A14	1	5	0	43314
	A15	3	109	3	15516
A16	2	222	8	54251	

Матриця з нормованими величинами
Критерії відбору

Заходи		K3	K4	K5	K7
	A1	0,1250	0,0002	0,0001	0,1200
	A2	1,0000	0,0001	0,0000	0,1200
	A3	1,0000	0,0008	0,0003	0,1875
	A4	0,0156	0,0012	0,0001	0,0068
	A5	0,0370	0,0007	0,0004	0,0656
	A6	1,0000	0,0000	0,0034	0,0346
	A7	0,0014	0,0000	0,0000	0,0295
	A8	1,0000	0,0396	0,0012	0,0410
	A9	0,1250	0,0000	0,0000	0,3316
	A10	0,0156	0,0000	0,0000	1,0000
	A11	1,0000	0,0000	0,0000	0,1641
	A12	1,0000	0,0012	0,0001	0,0197
	A13	1,0000	1,0000	0,0098	0,0065
	A14	1,0000	0,0911	1,0000	0,1637
	A15	0,0370	0,0000	0,0010	0,0210
	A16	0,1250	0,0000	0,0001	0,2568

Далі проводиться перетворення матриці рішень, в процесі якого визначаються показники, тобто кожен елемент матриці рішень ділиться на суму компонент стовпця, в якому цей елемент знаходиться. У результаті визначається матриця P^* , а також визначається рівень ентропії E_j кожного показника ефективності за формулою (1.3):

$$E_i = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (1.3)$$

де $k = 1 : \ln m$.

Як відомо, показник ентропії змінюється в інтервалі $[0 \dots 1]$, тому маємо:

$$0 \leq E_j \leq 1 \quad (j = \overline{1, n}).$$

Рівень мінливості j -го показника в межах розв'язуваної задачі визначається показником d_j за формулою (1.4)

$$d_j = 1 - E_j \quad (j = \overline{1, n}). \quad (1.4)$$

Матриця P^*

	K3	K4	K5	K7
A1	0,01474	0,00020	0,00011	0,04672
A2	0,11790	0,00008	0,00004	0,04672
A3	0,11790	0,00073	0,00027	0,07300
A4	0,00184	0,00108	0,00007	0,00264
A5	0,00437	0,00064	0,00039	0,02553
A6	0,11790	0,00001	0,00332	0,01345
A7	0,00016	0,00000	0,00000	0,01148
A8	0,11790	0,03490	0,00121	0,01597
A9	0,01474	0,00000	0,00002	0,12912
A10	0,00184	0,00000	0,00000	0,38935
A11	0,11790	0,00001	0,00002	0,06389
A12	0,11790	0,00108	0,00006	0,00766
A13	0,11790	0,88097	0,00968	0,00254
A14	0,11790	0,08028	0,98377	0,06375
A15	0,00437	0,00001	0,00098	0,00818
A16	0,01474	0,00000	0,00005	0,10000

Якщо всі різномірні показники ефективності однаково важливі, інакше кажучи немає суб'єктивних або експертних оцінок їх вагомості, то вагомість РПЕ визначається за формулою [5, с.150]

$$q_j = \frac{\overline{q_j} q_j}{\sum_{j=1}^n \overline{q_j} q_j}, \quad (j = \overline{1, n}). \quad (1.5)$$

Якщо ж відомі суб'єктивні величини вагомості, приписувані експерту (або визначені на основі експертних оцінок) РПЕ з позначенням цих коефіцієнтів вагомості $\overline{q_j}$ ($j = \overline{1, n}$), то значення показників комплексної вагомості визначаються наступним чином:

$$q_j^0 = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad (j = \overline{1, n}).$$

Отримані розрахунки представлені у вигляді таблиці:

Критерії	K_3	K_4	K_5	K_7
Рівень ентропії, E	0,8205	0,1655	0,0375	0,7455
Рівень мінливості, d	0,1795	0,8345	0,9625	0,2545
Вагомість критерію, q	0,0804	0,3740	0,4314	0,1141

Висновки

- Для попереднього відбору критеріїв, які можуть суттєво впливати на рішення експертів, можливо і доцільно застосовувати метод визначення вагомості показників ефективності на основі ентропії.
- Проаналізувавши отриманий результат очевидно, що критерії K_4 та K_5 є більш вагомими при прийнятті рішення, тому експертам в подальшому необхідно приділити їм більшу увагу.
- Поєднання експертних методів та методів статистичного аналізу даних дозволяє здійснювати об'єктивний та обґрунтований вибір у прийнятті управлінських рішень.

Список використаної літератури

1. Галузева програма енергоефективності та енергозбереження у житлово-комунальному господарстві на 2010 - 2014 роки, [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://text.normativ.ua/doc17772.php>
2. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭМ, 1997. – 38 с.
3. Jaynes E.T. Information Theory and Statistical Mechanics // Physical Review. Vol.104. N 4. 1957. pp 620-630
4. Paelink J. Qualitative Multiple Criteria Analysis: on Application to Airport Location // Netherlands Economic Institute: Paper prepared for the Second Tokyo Environmental Conference, August 1976. Rotterdam, 1976. N 7. 24 p.
5. Э.-К.К.Завадскас «Системотехническая оценка технологических решений строительного производства». – Л.: СТРОЙИЗДАТ, 1991. – 256 с.

УДК 621

Сусюк Д. В., студент VI курсу

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», України

Ковальчук А. М., к.т.н., доц.

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», України

**ВПЛИВ ВОДНЕВО-КИСНЕВОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЯКІСТЬ РОБОТИ
УСТАНОВОК, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ**

При газифікації деревини чи вугілля, отримують горючий газ, який можна зберігати та транспортувати. Цей газ легко очистити від таких шкідливих домішок, як сполуки сірки, він може бути використаний не тільки як пальне, але і як хімічна сировина для різноманітних синтезів. Існують два основні методи переробки твердого палива - спалювання і газифікація, що дають різні кінцеві продукти. Процес спалювання палива проводиться з надлишком кисню, а процес газифікації проводиться з недоліком кисню і, отже, з надлишком вуглецю.

У першому випадку виходить димовий газ, в якому весь вуглець палива переходить в діоксид вуглецю. Він містить також діоксид сірки, надлишковий кисень і багато азоту з повітряного дуття. У другому випадку склад газу, одержуваного при газифікації вугілля, надзвичайно різноманітний і залежить від умов проведення процесу газифікації (тиску, температури, концентрації у дуттєвому повітрі кисню). У випадку газифікації твердого палива при нестачі кисню, сірка палива переходить в сірководень. Якщо склад димового газу досить постійний, то складом газів газифікації твердого палива можна різко варіювати.

Димовий газ важко очистити від наявних у ньому оксидів азоту і сірки, так як це пов'язано з великими витратами речовини та енергії. Процеси очищення генераторних газів від сірководню, пилоподібного виносу добре освоєні і проводяться з великою повнотою і відносно економічні, а оксиди азоту в них практично відсутні. Процес очищення генераторних газів необхідний при подальшому використанні цих газів в якості палива для ДВЗ (двигунів внутрішнього згоряння). Через димові викиди з'являються руйнівні кислотні дощі, а в результаті очищення генераторних газів від сірководню з'являється потрібна народному господарству сірка. Так, різна технологія переробки деревини та вугілля приводить в одному випадку до екологічно неприйнятним кінцевими результатами, в іншому - до екологічно чистим.

Для того, щоб підвищити ефективність використання палива і у випадку його спалювання, і у випадку газифікації доцільним являється парове дуття в осередок згоряння. Пара під впливом високих температур розчеплюється на водень і кисень, таким чином підвищуючи калорійність спалюваного палива, знижуючи його витрату, разом з тим і підвищуючи кількість отриманої енергії, так і покращує якість газу, що виробляється при газифікації палива.

Висновок: При спалюванні твердого палива у котлах з метою теплопостачання чи у газогенераторах з метою генерування горючого газу виникає декілька проблем, таких як витрата енергії на хімічні процеси, що відбуваються при горінні, низька якість генерованого газу, наявність негорючих домішок у газі. Ці проблеми можна частково вирішити замінивши подачу повітря на пароповітряне дуття. Проте для визначення параметрів пароповітряної суміші необхідно проводити додаткові дослідження.

Ключові слова: газифікація, парове дуття, проблеми спалювання твердого палива.

УДК 621.3.048.1

Л.Д.Третьякова д.т.н., проф.
Р.А.Романюк, бакалавр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут»

ВПЛИВ ІЗОЛЯЦІЇ НА СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ

В статті представлені новітні способи контролю та визначення ушкодження ізоляції кабелів за допомогою методу імпульсної рефлектометрії та нових приладів, які зможуть якісно і дуже точно визначити місце пробою та локалізувати наслідки виникнення коротких замикань в системах електропостачання.

Ключові слова: ізоляція, контроль, метод імпульсної рефлектометрії, проколювання, системи електропостачання, Syscompact, система електропостачання, коротке замикання.

Вступ. Найпоширенішими причинами ушкодження кабелів є старіння ізоляції, механічні пошкодження, перенапруження, теплові перевантаження, які зумовлено короткими замикання або пошкодження кабельної оболонки. У кабельних лініях з ізоляцією зі зшитого поліетилену окрім основної ізоляції потрібно контролювати стан захисної оболонки кабельної лінії і визначати місця ушкоджень у разі порушення цілісності оболонки [1].

Коротке замикання виникає при з'єднанні двох проводів ланцюга, приєднаних до різних затискачів (наприклад, в ланцюгах постійного струму це "+" і "-") джерела через дуже мале опір, який можна порівняти з опором самих проводів.

Струм при короткому замиканні може перевищити номінальний струм в ланцюзі у багато разів. У таких випадках ланцюг повинна бути розірвана раніше, ніж температура проводів досягне небезпечних значень. Для захисту проводів від перегріву і попередження займання навколишніх предметів у ланцюг включаються апарати захисту, наприклад, плавкі запобіжники).

Причини виникнення коротких замикань

Основною причиною виникнення коротких замикань є порушення ізоляції електрообладнання.

Порушення ізоляції викликаються:

1. Перенапруженнями (особливо в мережах з ізольованими нейтральними),
2. Прямими ударами блискавки,
3. Старінням ізоляції,
4. Механічними пошкодженнями ізоляції, проїздом під лініями негабаритних механізмів,
5. Незадовільним доглядом за обладнанням.

Часто причиною пошкоджень в електричній частині електроустановок є некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу.

Навмисні короткі замикання

При здійсненні спрощених схем з'єднань понижувальних підстанцій використовують спеціальні апарати - короткозамикачі, які створюють навмисні короткі замикання з метою швидких відключень виниклих ушкоджень. Таким чином, поряд з короткими замиканнями випадкового характеру в системах електропостачання мають місце також навмисні короткі замикання, що викликаються дією короткозамикачів.

Наслідки коротких замикань

При виникненні коротких замикань в системі електропостачання її загальний опір зменшується, що призводить до збільшення струмів в її гілках порівняно з струмами нормального режиму, а це викликає зниження напруги окремих точок системи електропостачання, яке особливо велике поблизу місця короткого замикання. Залежно від місця виникнення і тривалості ушкодження його наслідки можуть мати місцевий характер або відбиватися на всій системі електропостачання.

При великій віддаленості короткого замикання величина струму короткого замикання може становити лише незначну частину номінального струму живлять генераторів і виникнення такого короткого замикання сприймається ними як невелике збільшення навантаження. Сильне зниження напруги виходить тільки поблизу місця короткого замикання, в той час як в інших точках системи електропостачання це зниження менш помітно. Отже, при розглянутих умовах небезпечні наслідки короткого замикання проявляються лише в найближчих до місця аварії частинах системи електропостачання.

Струм короткого замикання, будучи навіть малим в порівнянні з номінальним струмом генераторів, зазвичай у багато разів перевищує номінальний струм гілки, де сталося коротке замикання. Тому і при короткочасному протіканні струму короткого замикання він може викликати додатковий нагрів струмоведучих елементів і провідників вище допустимого.

Струми короткого замикання викликають між провідниками великі механічні зусилля, які особливо великі на початку процесу короткого замикання, коли струм досягає максимального значення. При недостатній міцності провідників та їх кріплень можуть мати місце руйнування механічного характеру.

Раптове глибоке зниження напруги при короткому замиканні відбивається на роботі споживачів. У першу чергу це стосується двигунів, тому що навіть при короткочасному зниженні напруги на 30-40% вони можуть зупинитися (відбувається перекидання двигунів). Перекидання двигунів важко відбивається на роботі промислового підприємства, тому що для відновлення нормального виробничого процесу потрібно тривалий час і несподівана зупинка двигунів може викликати брак продукції підприємства.

При малій віддаленості і достатньої тривалості короткого замикання можливе випадання із синхронізму паралельно працюючих станцій, тобто порушення нормальної роботи всієї електричної системи, що є небезпечним наслідком короткого замикання.

Виникаючи при замиканнях на землю, невірноважені системи струмів здатні створити магнітні потоки, достатні для наведення в сусідніх ланцюгах (лініях зв'язку, трубопроводах) значних ЕРС, небезпечних для обслуговуючого персоналу та апаратури цих ланцюгів.

Таким чином, наслідки коротких замикань наступні:

1. Механічні та термічні пошкодження електрообладнання.
2. Займання в електроустановках.

3. Зниження рівня напруги в мережі, що веде до зменшення обертаючого моменту електродвигунів, їх гальмування, зниження продуктивності або навіть до перекидання їх.
4. Випадання із синхронізму окремих генераторів, електростанцій і частин електричної системи та виникнення аварій, включаючи системні аварії.
5. Електромагнітне вплив на лінії зв'язку, комунікації тощо.

Найявні нині методи визначення місць ушкоджень поділяються на дві основні підгрупи:

- дистанційні, які дають змогу визначати відстані від місця виконання вимірювання до безпосереднього місця ушкодження;
- топографічні, які дають можливість вказувати місця ушкодження безпосередньо на трасі.

Дистанційний метод забезпечує зменшення періоду пошуку ушкодження, а топографічний метод уточнює місце розкопок.

Серед топографічних найбільшу популярність отримали акустичний та індукційний методи, а серед дистанційних – петлевий та імпульсний.

Під час використання імпульсного та індукційного методів передбачають роботи зі зниження перехідного опору в місці ушкодження до мінімального значення, що відбувається в проколу кабелів.

Акустичний метод передбачає розповсюдження акустичного розряду до ушкодженого місця та для прослуховування з поверхні землі звуку електричного розряду треба мати наскрізний отвір в кабельній оболонці і високий перехідний опір для отримання іскрового розряду.

Визначення місць пошкодження кабелів повинен починатися з виявлення характеру пошкодження, щоб згодом підібрати відповідні методи і виявити необхідність застосування попереднього "пропалювання", тобто зниження в місці пошкодження перехідного опору до певних значень.

Перед початком вимірювань на кабельній лінії слід обов'язково переконатися, що на комутаційному апараті, яким може бути подана напруга на робоче місце, вивішений плакат "Не включати - працюють люди".

Крім того, з протилежного боку кабелю вивішується плакат безпеки "Стій - висока напруга", оскільки під час вимірювань на жили кабелю буде подаватися висока напруга.

Далі, показником перевіряється відсутність напруги на жилах кабелю, виконується його розрядка за допомогою заземлювача, що накладається на всі 3 жили. Після розрядки заземлювач знімається і можна безпосередньо приступати до виконання вимірювань.

Характер пошкодження на кабелях, що працюють на напрузі до 1 кВ, виявляється за допомогою приладів ТТ-1, МС-0,5 (0,8) та інших, коли відбувається вимірювання опору ізоляції всіх жил між собою і щодо землі. При визначенні цілісності жил, заземлювач повинен встановлюватися на одному з кінців кабелю.

Усі роботи з технічного обслуговування електроустановок, проведення в них перемикачів, виконання будівельних, монтажних, налагоджувальних, ремонтних робіт, випробувань і вимірювань повинні проводитися відповідно до міжгалузевих правил з охорони праці при експлуатації електроустановок, а також у відповідності з цілим рядом інших правил і інструкцій.

Найпоширеним способом визначення місць ушкоджень у силових кабельних ліній систем електропостачання є метод імпульсної рефлектометрії.

Порядок робіт під час використання, наприклад, сучасного рефлектометра РЕЙС-105M1 [2] є такий:

1. Відбувається зондування кабелю імпульсами напруги.
2. Прийом приладом імпульсів, відбитих від місця ушкодження за рахунок неоднорідностей хвильового опору.
3. Визначення відстані до ушкодження через розрахунок тривалості затримки відбитого імпульсу щодо точки встановлення вимірювального зонду. На графічному індикаторі рефлектометра відображується рефлектограма лінії – розподіл відбитих сигналів як реакція лінії на імпульс зонду.

Метод імпульсної рефлектометрії має низку переваг

1. Наочність. За рефлектограмою кабельної лінії можна:
 - виявити всі неоднорідності кабельної лінії: початок кабельної лінії, муфти, кабельні вставки, відгалуження, кінець лінії, а також місце аварії;
 - визначити взаємне розташування елементів кабельної лінії та місця пробую ізоляції або оболонки;
 - визначити відстань до місця ушкодження.
2. Високою точністю визначення відстані до місця ушкодження з цифровим відображенням вимірюваного значення. Похибка вимірювання відстані у сучасних рефлектометрів становить (0,2 ... 2) %. У результатах вимірювання відстані автоматично враховується встановлений коефіцієнт укорочення.
3. Відносною простотою та зручністю застосування. Під час вимірювань використовують тільки один прилад – імпульсний рефлектометр без додаткового устаткування. Підключення до кабельної лінії здійснюють тільки з одного боку.
4. Можливістю визначення ушкоджень різного типу: коротке замикання, обрив, зниження опору ізоляції.

Метод імпульсної рефлектометрії неефективно використовувати у разі, коли опір у місці ушкодження суттєво більший (у 10 ... 20 разів), ніж хвильовий опір лінії. У цьому випадку відображення від місця ушкодження має малу амплітуду і його складно виявити за рефлектограмою на тлі перешкод.

Нині поширення набувають способи, які дають можливість визначити відстань до місця ушкодження без негативного впливу на ізоляцію великих струмів, як це відбувається під час застосування способів з пропалюванням. До них можна віднести установки Syscompact і SHIRLA (BAUR (Австрія) та СВА і УПЗ (Харківенергоприлад (Україна) [3]. Точне визначення місця ушкодження на трасі кабельної лінії відбувається за допомогою переносних приладів, таких як генератори звукових частот TG600, TG20 / 50, ГЗЧ-2500 і локації П-900 і UL-30 в комплекті з індукційними котушками.

Висновок. Заходи за контролем стану ізоляції і виявлення місць ушкодження є необхідними під час експлуатації діючих систем електропостачання. Розроблено сучасне устаткування і контролюючі прилади, які дають змогу суттєво покращити безпеку виконання робіт.

Список літератури

1. Крижов Г.П. Основні принципи побудови схем, компоновочних рішень і організації ремонтно-профілактичних робіт/ Г.П. Крижов, Т.Є. Удод // Новини енергетики. – 2014. – № 4. – С. 31–43.
2. <http://ukrbukva.net/print:page,1,4883-Vidy-povrezhdeniyy-kabel-nyh-liniiy-kratkaya-harakteristika-metodov-ih-obnaruzheniya.html>
3. <http://www.baur.ru/>
4. Правила улаштування електроустановок. Тлумачний посібник з вивчення та роз'яснення. К.: КВІЦ, 2008. – 224 с.

L. Tretyakova Dr. Eng. Sc., Assoc. Prof

R. Romaniuk, Bachelor Degree

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

**INSULATION IMPACT ON THE ELECTRICITY AND METHODS FOR
DETERMINATION OF DAMAGE**

The article presents new ways to monitor and measure damage to cable insulation using the method of pulse reflectometry and new devices that can efficiently and accurately determine the location breakdown and localize consequences of occurrence of short circuits in power systems.

Keywords: isolation, control, method of impulse reflectometry, piercing, power supply system, Syscompact, power system, circuit korotre.

References

1. Kryzhov GP Basic principles of the schemes komponovochnyh making and organization of repair and maintenance / GP Kryzhov, TE // News hoopoe energy. - 2014. - № 4. - P. 31-43.
2. [Electronic resource]. – Access mode: <http://ukrbukva.net/print:page,1,4883-Vidy-povrezhdeniyy-kabel-nyh-liniiy-kratkaya-harakteristika-metodov-ih-obnaruzheniya.html>
3. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.baur.ru/>
4. Rules for Electrical Installation. Explanatory Guide to the study and clarification. К. : KVITS, 2008. - 224 p.
УДК 621.3.048.1

Л.Д. Третьякова, д-р техн. наук, проф..

Р.А. Романюк, бакалавр

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**ВЛИЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ НА СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И СПОСОБЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА**

В статье представлены новейшие способы контроля и определения повреждения изоляции кабеля с помощью метода импульсной рефлектометрии и новых приборов, которые смогут качественно и очень точно определить место пробоя и локализовать последствия возникновения коротких замыканий в системах электроснабжения.

Ключевые слова: изоляция, контроль, метод импульсной рефлектометрии, прокалывание, системы электроснабжения, Syscompact, система электроснабжения, коротке замыкание.

Ершенгорен Н.Е., студ.,
Денисюк С.П., д.т.н., проф.

Оцінка стану системи згідно концепції SGMM та її використання

Було розглянуто переваги застосування технології Smart Grid(SG) в Україні. Розглянуто Smart Grid Maturety Model(SGMM), як інструмент для визначення ступенів виконання технології SG, так як рекомендації що до її розвитку. Описано переваги використання моделі SGMM.

Ключові слова: Smart Grid, Smart Grid Maturety Model, інтелектуальна мережа, якість електропостачання.

Оценка состояния системы согласно концепции SGMM и ее использования

Были рассмотрены преимущества применения технологии Smart Grid (SG) в Украине. Рассмотрены Smart Grid Maturety Model (SGMM), как инструмент для определения степени выполнения технологии SG, так как рекомендации что к ее развитию. Описаны преимущества использования модели SGMM.

Ключевые слова: Smart Grid, Smart Grid Maturety Model, интеллектуальная сеть, качество электроснабжения.

Assessment the state of system according to the concept of SGMM and its use

Advantages of application of the Smart Grid (SG) technology in Ukraine have been considered. Was considered a Smart Grid Maturety Model (SGMM) as the tool for definition of extent of performance of the SG technology and as recommendations to it development. Advantages of use of the SGMM model are described.

Keywords: Smart Grid, Smart Grid Maturety Model, smart grid, quality of power supply.

Вступ. В останнє десятиліття в значній мірі під впливом принципів функціонування мережі Internet народилася нова концепція розвитку мереж електропостачання, що отримала назву «Smart Grid». [21-23]. Перспектива практичної реалізації концепції Smart Grid з'явилася внаслідок досягнень альтернативної енергетики та силової електроніки, прогресу в розробці енергоємних накопичувачів енергії; початку широкомасштабного промислового виробництва електромобілів, розвитку теорії та технології управління складними енергосистемами [1, 2, 4, 15, 17-19,24].

Різновиди Smart Grid - систем електропостачання: Smart House, Smart Building, Smart Enterprise, Smart City, Smart Country і т.д. будуються на загальних принципах, докорінно відрізняються від п'яти принципів побудови існуючих в даний час СЕ: розподілена асинхронна система електропостачання з двонаправленими потоками електроенергії та з можливістю підключення джерел електроенергії за принципом «plug and play» в будь-який момент часу; інтелектуальне управління СЕ з використанням спеціальних програм, вимірювальних приладів і комунікаційної інфраструктури; можливість роботи в автономному від основної промислової мережі режимі, в тому числі, при 100% споживанні енергії від альтернативних джерел; зменшення втрат електроенергії при її генерації, транспортуванні та споживанні; високий рівень якості електроенергії в СЕ, її стабільність і надійність; відповідність СЕ екологічним вимогам.

У цій статті описано Переваги використання моделі SGMM, інструмент, допомогою можна покращити якість електропостачання, а також адаптуватися до НОВИХ вимог, що виникають при практичній реалізації концепції Smart Grid.

Завдання та мета дослідження. В Україні показник втрат електроенергії дорівнює 15%, але в розвинених країнах Європи цей показник сягає лише 6% і домогтися таких показників на українській території може допомогти використання інтелектуальних мереж Smart Grid.

По експертним оцінкам модернізація мереж сприятливо позначиться на економічному розвитку України та дозволить розширити ціновий діапазон на послуги для споживачів, знизити або уникнути операційних витрат на електромережу, підвищити рівень енергозбереження завдяки кращому доступу енергії з поновлюваних джерел до електромережі.

Крім цього технологія «smart grid» захищає від несанкціонованого відбору електроенергії і сприяє більш тривалій роботі обладнання, за рахунок розумної організації електромережі.

Але виникають проблеми при модернізації згідно концепції SG. Зокрема ці проблеми полягають у розробленні повністю нового апарату регулювання юридичних та економічних відносин між постачальниками та споживачами електричної енергії, створенні енергетичних ринків, нових моделей обліку та тарифікації наданих послуг. Виникає необхідність модернізації існуючих та розроблення принципово нових пристроїв та установок на всіх рівнях "інтелектуалізації" енергетичної мережі. Галузь автомобілебудування може бути істотно змінена за рахунок розроблення екологічно чистих видів транспорту – електромобілів (згідно з поширеною нині ідеєю V2G – Vehicle to Grid), які дозволяють знизити рівень забруднення довкілля.

Отже, метою даної статті є огляд моделі яка дозволить полегшити впровадження концепції Smart Grid, оцінку стану системи для розуміння стадії розвитку, та загальне бачення кінцевої системи, у яку мережа повинна перетворитися завдяки Smart Grid.

SGMM модель. Модель зрілості інтелектуальної мережі (SGMM) є інструментом управління, який енергопідприємства можуть використовувати з користю для планування їх просування інтелектуальної мережі, розташувати в пріоритетному порядку свої варіанти і виміряти свій прогрес, на шляху до реалізації інтелектуальної мережі. SGMM був заснований енергопідприємствами для енергопідприємств, коли Global Intelligent Utility Network Coalition, об'єднання з 11 енергопідприємств з інтелектуальної мережею, побачила потребу в даному інструменті для галузі. Модель описує вісім областей, які містять логічно згруповані інкрементні характеристики інтелектуальної мережі і можливостей, які представляють основні елементи стратегії інтелектуальної мережі, організації, впровадження та роботи. Утиліти використовують SGMM, щоб оцінити їх поточний стан впровадження інтелектуальної мережі, визначити їх цілі для майбутнього держав, планування і процеси впровадження. Оскільки все більше енергопідприємств у всьому світі використовує цей інструмент, базовий досвід SGMM зростає, SGMM стає все більш і більш цінним ресурсом для допомоги енергопідприємству в перетворення галузі в інтелектуальну мережу.

SGMM складається з шести рівнів зрілості. Рівні зрілості представляють різні ступені, описані в рамках можливостей організації і характеристик, прогресу організації в напрямку досягнення свого бачення SG з погляду автоматизації, ефективності, надійності, економії енергії та витрат, інтеграція альтернативних джерел енергії, покращення взаємодії зі споживачем, і доступ до нових бізнес-можливостям і ринкам.

Підприємство може встановити поточний рівень зрілості, заповнивши SGMM Compass (бланк питань, на які компанії відповідають з метою отримання результатів згідно моделі SGMM) і отримати його оцінку. Повторні оцінки можуть бути отримані, щоб відстежити просування до встановлених цілей.

Оцінка SGMM надає організації оцінку зрілості для кожного з восьми доменів моделі. Домени це логічні групи пов'язаних с SG можливостями і характеристиками:

1. Стратегії, Управління та регулювання (SMR)
2. Організація і структура (OS)
3. Сітка операції (GO)
4. Робота і управління активами (WAM)
5. Технологія (TECH)
6. Замовник (CUST)
7. Інтеграція вартісного ланцюжка (VCI)
8. Соціальна та екологічна (SE)

Рівні зрілості представляють очікувані характеристики для кожного домена в ієрархічних групах. Кожен рівень ґрунтується на наступному, так організація повинна досягти рівня 1 в домені з метою досягнення рівня 2 в тому ж домені, і так далі. Для того, щоб досягти рівня в домені, організація повинна продемонструвати, що в ньому достатньою мірою реалізовані очікувані характеристики, визначені для цього рівня в цій області домена. У той час як організація отримає певну оцінку рівня для кожного домена, та організація може мати деякі характеристики, пов'язаними з більш високими рівнями зрілості.

Рівень 0 являє собою рівень зрілості, який передувє вживаються початковим крокам організацією для впровадження технології SG. Рівень 0 не визначений характеристиками, а скоріше є рівнем за замовчуванням для організації, яка не достатньо реалізувала очікувані характеристики, щоб досягти Рівня 1 для даного домена.

Організації, які оцінені в Рівень 0 в домені, могли не ретельно розглянути перетворення SG або його можливий вплив на організацію та його клієнтів. Організація ще могла не розробити бачення, стратегію або економічну модель для змін пов'язаних з реалізацією або операціями SG. Оцінка рівня 0 в домені, однак, не означає, що є повна відсутність SG-орієнтованої діяльності в цьому домені.

Ініціювання (Рівень 1) передає собою поняття про те, що організація робить перші кроки реалізації в домені. Організації, що досягають рівня 1 для домену, вирішили переміститися до прийняття SG і роблять початкові кроки в цьому напрямку.

- Організація ідентифікувала показники продуктивності в домені, який повинні поліпшити реалізацію SG.

- Організація може мати у розташуванні програми для відстеження та вимірювання показників продуктивності.

- Розробляється початкова мотивація і бачення модернізації мережі або можливо вже існує.

- Варіанти модернізації мережі вивчаються і оцінюються, що може включати в себе проведення маломасштабних, пробних експериментів.

- У розробці можуть бути економічні моделі та стратегії реалізацій SG.

Дозволяючий рівень використовується для рівня 2, тому що фокус цього рівня знаходиться на реалізації опцій, які дозволять організації досягти і витримати модернізацію мережі.

- Існують економічні моделі і стратегії, і з'являються інтегровані стратегії модернізації.

- З'являється додаткова підтримка управління; ця підтримка включає в себе зобов'язання щодо виділення ресурсів.

- Вивчаються внутрішні і зовнішні залежності, і встановлюються відносини.

- Проводяться один або більше пілотів або доказ правильності концепції проектів, які оцінюють вплив потенційних змін.

- Пілоти і проекти, швидше за все, будуть розділені, ніж інтегровані у функціональних блоках.

- Безпека, відмовостійкість і вимоги функціональної сумісності серед критеріїв оцінки пілотів і проектів.

Інтегрування використовується для рівня 3, тому що розгортання SG на цьому рівні інтегрується по всій організації.

- Існує прихильність всієї організації до інтегрованої мережевої стратегії модернізації і планом.

- Проекти модернізації мережі, які є в стадії реалізації, інтегровані по всій організації.

- Продуктивність помітно поліпшується, і наочність в інтегрованих операціях організацій та зовнішніх залежностях зростає. Наприклад, измеримое поліпшення показує продуктивність в галузі безпеки, відмовостійкості та вимог функціональної сумісності.

Оптимізація використовується для рівня 4, тому що реалізація SG в даному домені настроюється і використовується, щоб далі збільшувати організаційну продуктивність.

- Управління та операційні системи покладаються і повною мірою користуються, підвищеної видимістю оптимізації та інтегруванням управління в масштабах підприємства.

- Починають з'являтися функції, такі як прогнозування проблем та автоматизованого виправлення їх у реальному часі.

- Є збільшене спільне користування інформацією і співпрацю і в організації та з її зовнішніми зацікавленими сторонами, включаючи її клієнтів.

- Безпека, відмовостійкість і вимоги функціональної сумісності розрізняють залежно поза організаційних кордонів.

Новаторство використовується для рівня 5, тому що організації на вищому рівні в даному домені привносять щось нове і вдосконалюють стан режимів роботи.

- Організації забезпечують галузі інновації і можуть бути активно залучені в розробку стандартів SG і кращих практик, приймаючи на себе провідну роль в галузевих консорціумах та підприємствах державно-приватного партнерства.

- Організації співпрацюють з іншими зацікавленими сторонами мережі, щоб оптимізувати повну роботу мережі і ступінь справності.

- З'являються функції, такі як все більш і більш інтегровані операції, нові спільні стратегії, широке зовнішнє спільне користування інформацією (наприклад, спільне використання даних про справність мережі), і провідна роль у відповідях всього співтовариства на питання безпеки.

- Організаційні стратегії і бачення вирівняні з інтересами національними, регіональними та місцевими інтересами.

Усі характеристики відносно доменів та рівнів приведені у такому інструменті як SGMM Matrix (другий інструмент який використовується SGMM).

Висновок. Використання SGMM прийнято у більшості країн свіду и вже веде їх до впевненого та вдалого впровадження технології SG. SGMM відображає широке галузеве бачення інтелектуальної мережі, і це дає енергопідприємствам інструмент і для

стратегічного і для тактичного використання, щоб вести, виміряти і оцінити корисність перетворення інтелектуальної мережі.

Так як SGMM є інструментом що постійно розвивається, ця модель може послужити не тільки для оцінки готовності мережі, але й для бачення подальшого її розвитку. Ця модель з набором своїх інструментів може послужити початком, стати базою на основі якої можна почати модернізацію згідно технології SG в Україні.

Бачення та розуміння моделі SGMM може дозволити:

- створення спільного бачення для шляху інтелектуальної мережі;
- зв'язок бачення інтелектуальної мережі, і внутрішнього і зовнішнього;
- використання як стратегічної основи для оцінки бізнес аспектів інтелектуальної мережі та інвестиційних цілей;
- план щодо технологічної, регулюючої, і організаційної готовності;
- контрольні показники і досвід інших енергопідприємств.
- керівництво з розробки певної дорожньої карти інтелектуальної мережі або проекту;
- оцінка і пріоритетність поточних можливостей інтелектуальної мережі та проекти;
- використання як структури прийняття рішень для інвестицій в інтелектуальну мережу;
- оцінка потреб у ресурсах, щоб перейти від одного рівня інтелектуальної мережі до іншого;
- вимірювання прогресу інтелектуальної мережі з використання ключових показників ефективності.

УДК 620

Кравцов В.С., студент VI курсу
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», України
Калінчик В.П., к.т.н., доц.
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», України

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів, а згодом і автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи, сформувалися як підклас автоматизованих систем управління технологічними. Для цих систем характерно використання потужних мікропроцесорних пристроїв на нижньому рівні системи - рівні польових приладів обліку.

Проблеми роботи автоматизованих систем і використання облікових даних:

- Відсутність в системах функції контролю достовірності даних і визначення резервних вимірювань;
- Вкрай спрощені методи визначення показників в комерційному обліку в разі розбіжності точок обліку і точок поставки електроенергії;
- Можливість появи грубих помилок вимірювань;
- Відсутність єдиної методології при плануванні та оцінці фактичних значень облікових показників, в т.ч. технічних втрат. Відсутність точних результатів метрологічного аналізу фактичних значень облікових показників;
- Низький рівень математичного моделювання процесів розподілу електричної енергії на основі даних систем обліку електроенергії в процесі побудови розрахунків за її втрати

Висновок: Існуючі проблеми на етапі інтенсивного розвитку і впровадження автоматизованих систем вимагають розробки моделі аналізу електричних режимів на тимчасових (облікових) інтервалах оптового ринку, яка б дозволила суб'єктам вирішувати завдання моніторингу, діагностики, резервування вимірювального каналу електричної енергії, розрахунку замісної облікової інформації; більш точного визначення втрат електричної енергії як для цілей верифікації комерційної облікової інформації, так і для побудови обґрунтованих взаємовідносин.

Ключові слова: автоматизовані системи обліку електричної енергії, технологічні проблеми, проблеми розрахунку і оптимізації.

УДК 621.3

В.І. Василенко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ТЕХНОЦЕНОЛОГІЧНОЇ ПІДХІД У ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ З ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

В статті розглянуто основні елементи стимулюючого регулювання RAB-регулювання. Представлено ценологічний підхід до моделювання прогнозних значень електроспоживання.

Розглянуто екологічні, технічні та енергетичні критерії оптимальності енергетичної системи. Представлена загальна математична модель енергетичної системи.

Ключові слова: RAB-регулювання, техноценоз, технічна енергетична система.

В статье рассмотрены основные элементы стимулирующего регулирования RAB-регулирование. Представлен ценологический подход к моделированию прогнозных значений электропотребления.

Рассмотрены экологические, технические и энергетические критерии оптимальности энергетической системы. Представлена общая математическая модель энергетической системы.

Ключевые слова: RAB-регулирования, техноценоз, техническая энергетическая система.

In the article the basic elements of incentive regulation RAB-regulation. Presented tsenologycal approach to modeling predictive values of power consumption.

Identified areas of energy efficiency is considered ecological, technical and energy optimality criteria grid. Submitted general mathematical model of the energy system.

Keywords: RAB-regulation tehnotsenoz, technical energy system.

В енергетиці, яка характеризується капіталоємністю, складністю технологічних процесів виробництва, передачі, розподілу та реалізації електричної і теплової енергії, високими вимогами якості та ефективності енергопостачання, на сьогодні постала гостра необхідність системного підходу щодо вирішення актуальних задач проектування, будівництва та експлуатації енергетичних систем [1].

Основною метою сучасного і майбутнього етапу розвитку світового паливно-енергетичного комплексу і його національних частин є збереження сталого розвитку світової економіки за допомогою забезпечення глобальної та регіональної енергетичної безпеки, що виражається в повному задоволенні її потреб в економічно ефективних і екологічно «чистих» енергетичних ресурсах, доступність яких постійно погіршується через не відновлюваний характер відтворення багатьох їх видів, зростання цін на їх видобуток і транспорт, негативного впливу «брудних» енергетичних ресурсів на екологічні та соціальні системи та ін. Сьогодні проводиться переоцінка ролі багатьох сучасних енергетичних технологій виробництва, транспорту, передачі та споживання енергії, особливо електричної енергії як універсального, економічного та екологічно ефективного ресурсу, який, найбільшою мірою, відповідає сучасному інформаційному і майбутньому універсальному укладу життя людства, внаслідок її абсолютної ділимості, миттєвої передачі від виробника до будь-якого споживача, широкого спектру застосування, автоматизації виробничого процесу і прийнятної вартості отримання [2].

Фактори, які визначають доцільність кардинальних перетворень в електроенергетиці,

наступні [3]:

- поява і розвиток нових технологій, пристроїв і матеріалів (у тому числі в інших галузях), які застосовуються у сфері електроенергетичного виробництва, та, в першу чергу, наростаючі темпи і масштаби розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій;
- розвиток та впровадження технології Smart Grid;
- інтенсивне зростання кількості малих генеруючих (у першу чергу, нетрадиційних та відновлюваних) джерел енергії в світі;
- загальна тенденція до підвищення рівня автоматизації процесів;
- загрозливий рівень зносу обладнання;
- зниження загального рівня надійності електропостачання;
- високий рівень втрат при перетворенні, передачі та розподілі електроенергії;
- необхідність зниження негативного впливу на навколишнє середовище;
- необхідність підвищення рівня енергоефективності та енергозбереження.

Середній час експлуатації розподільчих мереж електроенергетичного сектору складає понад 40 років, досягаючи 60-85% рівня зносу. При цьому, споживання електричної енергії усіма категоріями споживачів зростає із року в рік, проте енергопостачальні компанії не мають необхідних ресурсів, щоб забезпечувати безперебійне, якісне та безпечне електропостачання для споживачів електричної енергії.

Стан мереж та енергетичного обладнання, необхідність в додатковій потужності для споживачів електричної енергії вимагають значних інвестицій, які можуть бути залучені лише за умови впровадження стимулюючого регулювання – загальноприйнятого у міжнародній практиці інструменту, що забезпечує можливість реконструкції мереж та розвиток енергетичної інфраструктури.

Досвід розвинених країн свідчить про високу ефективність стимулюючого регулювання [4]. Наприклад, Великобританії вдалося у 2 рази скоротити витрати розподільчих компаній та тарифи на передачу електроенергії за 15 років. У Румунії знос активів зменшився з 75% до 48% протягом 2004-2011 років.

Стимулююче регулювання (RAB-регулювання) – це система тарифоутворення на основі довгострокового регулювання тарифів, спрямованого на залучення інвестицій для будівництва та модернізації інфраструктури електричних мереж та стимулювання ефективності витрат електророзподільних компаній.

Стимулююче регулювання передбачає встановлення величини необхідного доходу в залежності від досягнення встановлених показників надійності електропостачання та якості обслуговування споживачів, а також мотивує регульовані компанії до зниження витрат.

Основні елементи стимулюючого регулювання:

- 1) переоцінка активів з метою встановлення регуляторної бази активів для розрахунку регуляторної амортизації та прибутку;
- 2) встановлення норми прибутку на рівні, достатньому для залучення необхідного обсягу інвестицій;
- 3) покриття обґрунтованих операційних витрат;
- 4) встановлення довгострокових параметрів регулювання (цілевих показників якості та надійності).

Головними вигодами впровадження стимулюючого регулювання для енергопередавальних та енергопостачальних компаній є зменшення втручання регулятора в операційну діяльність, збереження вигод (досягнутої економії) внаслідок

підвищення ефективності діяльності в розпорядженні компанії і, головне, забезпечення необхідного обсягу фінансування інвестиційних програм шляхом залучення акціонерного та позикового капіталу. Для споживачів електричної енергії та економіки України в цілому впровадження стимулюючого регулювання дозволить забезпечити створення привабливого інвестиційного клімату для залучення приватних інвестицій, підвищення якості та надійності електропостачання та підвищення ефективності операційної діяльності енергкомпаній шляхом зниження неефективних операційних витрат та повернення споживачам частини досягнутої вигоди (економії) у вигляді відповідного зниження тарифів [5].

Для переходу на тарифоутворення за допомогою RAB-регулювання, з метою стримування зростання тарифів стане вельми актуальним якісне управління активами.

Застосування техноценологічного підходу може допомогти в управлінні бізнес-процесами прогнозування енергоспоживання, втрат енергії, технічного обслуговування і ремонтів.

Термін «техноценоз» і ценологічний підхід до дослідження складних технічних систем запропоновано Кудріним Б.І. [6], де техноценоз визначається як спільнота всіх виробів, що включає всі популяції, обмежене в просторі та часі. Кудрін Б.І. запропонував використовувати модель *H*-розподілу для математичного опису видового і рангового розподілу техноценоз. Дана теорія припускає існування ідеального розподілу елементів ценоза.

Ценологічна теорія знайшла широке застосування в енергетиці для прогнозування електроспоживання. Сучасний великий інфраструктурний об'єкт (підприємство, район, місто, регіон) являє собою техноценоз – сукупність технічних виробів, який самоеволюціонує, взаємопов'язаний слабкими зв'язками особливої природи. Техноценозами не можна керувати такими самими методами, якими керуються технічні вироби (якими б складними і великими вони не були), окремі підрозділи і людські колективи. До техноценозів, повною мірою, не можна застосувати методи макроекономічного планування та прогнозування, які засновані на привнесенні в техноценоз зовнішніх цілей і обмежень без обліку його внутрішніх закономірностей розвитку, які повинні здійснюватися особливими методами [7]. Для опису техноценоз використовуються гіперболічні *H*-розподіли. Причому теоретично в даному розподілі відсутня математичне очікування і дисперсія дорівнює нескінченності.

В якості основного методу вирішення завдань оптимального управління електроспоживанням техноценозу виступає ранговий аналіз, який дозволяє в процесі енергозбереження задіяти системний рівень оперативного і структурного управління, який раніше не використовувався. При цьому в реальному масштабі часу здійснюються процедури формування бази даних по електроспоживанню, виявлення аномальних об'єктів, прогнозування та нормування. Це дає можливість техноценоз витягати з процесу енергозбереження додаткові конкурентні переваги і ресурси економії [8].

Ключовими поняттями ценологічної теорії можна назвати: ценоз, сімейство виробів (обладнання), елемент-особина, вид, каста. Технічний вид – основне поняття класифікації, що служить для вираження відносини між технічними класами при розбитті їх на сімейства і рід. Це структурна одиниця в систематиці виробів: вироби двох різних видів відрізняються кількісної і обов'язково якісної характеристиками; вироби одного виду виготовляють по одній проектно-конструкторській документації. До загальних ознак належать: деяка задана чисельність; тип організації; здатність в процесі роботи і відтворення зберігати якісну визначеність; дискретність; цілісність [9].

Розглянемо методологію, яку необхідно застосовувати в процесі управління

техноценозом. До теперішнього часу на прикладі тисяч вибірок з різних областей людської діяльності показано, що техноценози мають яскраво виражені специфічні властивостями, які, насамперед, полягають у наступному:

- взаємопов'язаність – окремі об'єкти техноценозу статистично значимо пов'язані в єдину систему, однак тип зв'язків у даному випадку особливий – це, так звані, «слабкі» зв'язки, які не зводяться до законів «Ньютона – Ома-Кирхгофа – Гука»;
- негаусовість – статистичні вибірки параметрів об'єктів мають ципфові властивості (залежність середнього і дисперсії від обсягу вибірки суттєва), тобто не виконується закон великих чисел, який говорить, що середнє статистичне значення має сходитися за ймовірністю до математичного сподівання. Це говорить про те, що, перш ніж приступати до управління інфраструктурним об'єктом, треба з'ясувати, а чи є він техноценозом і, як наслідок, взагалі чи можна до нього застосовувати техноценологічну методологію.

Техноценозом можна лише оптимально управляти, причому етап проектування також підпадає під один із циклів управління. Треба розуміти, що в цьому сенсі запропонована концепція не заперечує інші методи управління, а лише доповнює їх.

Суть оптимального управління техноценозом, в значній мірі, зводиться до управління процесом споживання ресурсів з метою отримання максимального позитивного ефекту при мінімальних витратах на всебічне забезпечення. Ресурс – це втягнутий в технологічний процес матеріальний засіб (первинний елемент технічної реальності), що є енергетичним або речовим вихідним продуктом для виробництва технічних виробів (безпосередньо або опосередковано через надання послуг) [7].

Електроспоживання для багатьох підприємств є визначальним (лімітуючим) ресурсом виробництва. Завдання аналізу електроспоживання в часі та його структури стає невіддільною від результату моделювання – прогнозних значень електроспоживання. Проблему прогнозу можна звести до проблеми аналізу динаміки ряду, використовуючи технічний аналіз. Ценологічний підхід до моделювання полягає в тому, що електроспоживання окремого підприємства розглядається не ізольовано, а співвідноситься з іншими. Враховуючи, що величина електроспоживання неперервна, дослідження проводиться в ранговій формі: кожному підприємству присвоюється ранг r – ціле число в порядку убутання досліджуваного параметра річного електроспоживання особин, W_{i1} . Ранг $r = 1$ приписується особини з найбільшим електроспоживанням W_1 .

Електроспоживання об'єкта $W(x)$ у якості основи для побудови рангового параметричного H -розподілу визначається, як:

$$W(x) = \frac{W_1}{x^\beta}, \quad (1)$$

де, β – показник, який визначає ступінь крутизни кривої розподілу; $W_1 = W_{max}(1)$ – константа, за яку приймається максимальне значення найбільш крупного споживача.

Параметри H -розподілу характеризують ценоз, якісно відображають зв'язки між особинами всередині ценозу та говорять о схожості їх або розбіжності. Параметри (1) залежать від технічних, інформаційних, соціальних факторів, які визначають положення ценозу на часовій траєкторії розвитку його структури [6].

Сенс оптимізації в техноценозі, як правило, зводиться до мінімізації саме функціональних параметрів (тобто – ресурсозбереження) до значень, що забезпечують нормальний процес функціонування об'єктів з урахуванням сучасного рівня технічних виробів і технологічних процесів в техноценозі. Можливі два варіанти обмежень, коли в якості нижньої межі розглядається рівень розвитку самого техноценозу або в нинішніх

умовах, або після майбутньої модернізації, а можливий і більш прогресивний варіант, коли розглядається світовий рівень технічних досягнень.

Основу енергозбереження становить планомірна реалізація широкого комплексу технічних і технологічних заходів, яким повинна передувати оптимізація електроспоживання (оптимальне управління електроспоживанням) інфраструктури на системному рівні. Її метою є впорядкування електроспоживання об'єктами інфраструктури, економія спрямованих на оплату за спожиту електроенергію коштів, отримана за рахунок організаційних заходів, а також створення науково обґрунтованих передумов для проведення цілеспрямованих поглиблених енергетичних обстежень з подальшою реалізацією технічних і технологічних заходів з енергозбереження [8].

При описанні енергетичних процесів в енергетичній системі будемо використовувати наступні визначення.

Технічна енергетична система (ТЕС) – сукупність обладнання і підприємств, що взаємодіють один з одним для виробництва, споживання або перетворення, зберігання, транспортування або обробки енергопродукту.

Енергопродукт – готовий товар, який використовується, головним чином, для виробництва механічної роботи.

Природні ресурси використовуються як входи до ТЕС, тобто сукупність обладнання і підприємств, основними виходами яких є продукти і послуги, але які також виробляють побічні продукти і викиди. Природні ресурси у вигляді інших енергоносіїв, таких як сонячне випромінювання, енергія припливів, геотермальна енергія, вітер і тепло, також використовуються для прямого перетворення в механічну, теплову або електричну енергію.

Продукти, які є виходами технічної енергетичної системи, є входами в інші технічні енергетичні системи або використовуються для надання послуг. В кінці терміну їх експлуатації вони повторно використовуються всередині техносфери або надходять назад у природне середовище як викиди. Таким чином, входами в техносферу є природні ресурси, а виходами послуги, що надаються суспільству, викиди та експлуатаційні впливи [10].

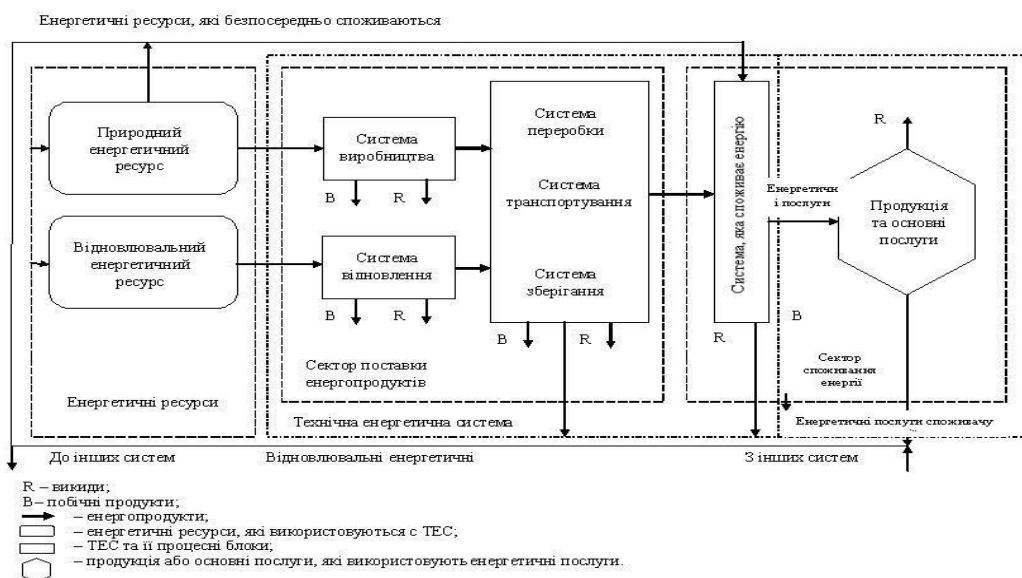


Рис.1 – Загальна модель технічної енергетичної системи [11]

При оптимізації енергетичної системи враховується система обмежень у формі відповідних рівнянь і нерівностей, які задають можливий діапазон зміни параметрів системи. Точкою дотику всіх систем є кінцевий продукт/послуга споживачеві, який повинен бути наданий на необхідному рівні комфорту (доступність, надійність, якість і т.д.).

В якості критеріїв оптимальності, які ми будемо використовувати при розробці та оптимізації математичної моделі енергетичної системи прийемо розглянуті вище критерії, а саме:

1. Екологічні. Проблема енергозбереження тісно пов'язана з екологічною, оскільки видобуток, переробка та споживання енергоресурсів практично завжди супроводжуються забрудненням навколишнього середовища. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто при раціональному підборі видів палива за рахунок впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, використання вторинних ресурсів [12].

Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E = E_B \times E_{AB}, \quad (2)$$

де E_B та E_{AB} – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно зі співвідношенням:

$$E_B = 1/E_{\text{ш}}, \quad (3)$$

Ще одна умова впровадження енергозберігаючих заходів, яка впливає на екологічність – скорочення споживання енергоресурсів, що має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

2. Технічні. До системи технічних критеріїв належать показники якості та надійності енергетичної системи [13]. В якості критерію надійності приймаємо енергетичний баланс фрагмента електричної мережі:

$$\sum_U \sum_t P_{\text{ПС}} = \sum_U \sum_t (P_{\text{КВ}} + \Delta P), t = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де, $P_{\text{ПС}}$ – активна потужність, яка поступає в мережу; $P_{\text{КВ}}$ – корисний відпуск та ΔP – втрати потужності в мережах в кожен момент часу t на всіх класах напруги U .

Критерієм якості електропостачання приймаємо вірогідність попадання напруги на затискачах найбільш віддаленого споживача в нормований інтервал:

$$P(0,95U_{\text{ном}} \leq U \leq 1,05U_{\text{ном}}), U = U_a, U_b, U_c, \quad (5)$$

3. Енергетичні. зазвичай відносять ті, що дозволяють визначити обсяги можливої економії палива і енергії, масштабність реалізації енергозберігаючих заходів, а також характеризувати рівень їх ефективності. Це можуть бути питомі витрати енергетичних ресурсів (палива, тепла та електричної енергії) на виробництво продукції, коефіцієнти корисного використання енергоресурсів, показники втрат енергоресурсів, енергоємність основних виробничих фондів, сировина та матеріали тощо.

При вирішенні задачі ефективності критерії можуть переходити в обмеження, та навпаки, обмеження можуть ставати критеріями.

Загальну математичну модель енергетичної системи можна представити у вигляді системи рівнянь, які пов'язують показники виробничого процесу, вхідні та вихідні параметри з іншими параметрами та обмеженнями:

1. Рівняння зв'язку. Описують технологічний процес системи та показують залежність вихідних параметрів системи від інших керованих параметрів стану:

$$B_i(W_i); \forall i \in n, \quad (6)$$

де B_i – енергетичні ресурси, які поступають на вхід системи: природні та відновлювальні (рис. 1); W_i – енергія, яка споживається споживачами (енергія на виході з системи).

2. Рівняння обмежень. Ці рівняння показують допустимі границі зміни вхідних та вихідних параметрів системи.

$$W_{i,\min} \leq W_i \leq W_{i,\max}, \quad (7)$$

3. Рівняння ефективності (цільова функція). В якості цільової функції візьмемо вартісну функцію – вартість використаних енергетичних ресурсів, ця умова відповідає максимуму рентабельності енергетичної системи:

$$F = \sum_{i=1}^n b_i B_i(W_i) \Rightarrow \min, \quad (8)$$

де b_i – вартість палива [14].

Розроблена математична модель є основою для багатоваріантного аналізу, дослідження, моделювання та оптимізації. Для вирішення поставлених задач можна застосовувати основні методи оптимізації електричної мережі, що враховують динаміку її розвитку і засновані на ідеях динамічного програмування, а саме метод проектування градієнта, метод поконтурної оптимізації, метод віток і границь, застосування динамічного програмування для мережевих оптимізаційних задач, градієнтні методи пошуку оптимальних вихідних станів, а також основні положення системного аналізу, теорії графів, теорії ймовірностей і теорії надійності.

Отже, на сучасному етапі розвитку для енергетики України проблеми екологічної безпеки та надійності енергопостачання являють вкрай актуальними. Вирішення цих питань потребує комплексного впровадження ряду заходів, а також вирішення задач з оптимізації енергетичної ефективності енергопостачання з врахуванням обмежень.

Запропонована математична модель енергетичної системи разом із застосуванням техноценологічного підходу та вищевказаних методів оптимізації дозволить вирішити питання підвищення енергетичної ефективності енергетичної системи, екологічної безпеки та надійності енергопостачання.

Список літератури:

1. Поспелов Г.Е., Керного В.В. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. «Вышэйш. школа», Минск, 1977. – 320 с ил.
2. И.О. Волкова, В.Р. Огороков, Р.В. Огороков, Б.Б. Кобец. Концепция интеллектуальных энергосистем и возможности ее реализации в российской электроэнергетике. Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса», Москва, 2011. – 65 с.

3. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
4. Гатагова С.В. RAB-регулирование тарифов на электроэнергию. Значение для народного хозяйства. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tmy.mwport.ru/files/2011-3-econ-09.pdf>.
5. Київобленерго. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=3>.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений. 2-изд. М.:Интермет Инжиниринг, 2006. – 272 с.
7. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
8. Гнатюк В.И. Прогнозирование электропотребления на основе GZ-анализа. Энергобезопасность и энергосбережение №1 – 2009. С. 21 – 28.
9. Лесниченко А.Ю. Об устойчивости структуры установленного оборудования в распределительном сетевом комплексе России. Энергоэксперт №3 – 2010. С. 52 – 55.
10. ДСТУ ISO 13600-2001 Системи енергетичні технічні. Основні положення (ISO 13600:1997, IDT).
11. ДСТУ ISO 13601-2001. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту (ISO 13601:1998, IDT).
12. 4. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
13. Дерзский В.Г., Скиба В.Ф. Экспертно-моделирующая компьютерная система экспресс-энергоаудита электрических сетей облэнерго [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.energyexpert.com.ua/>.
14. Веников, В.Г. Журавлев, Г.А. Филипова. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов. Энергоиздат. – Москва, 1981. – 464 с., ил.

УДК 621.311.003.13

Находов В.Ф., Іванько Д.О., Мазасва Т.В.

АНАЛІЗ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ НОРМАТИВНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ВИРОБНИЦТВО І ТРАНСПОРТУВАННЯ ТЕПЛА

Стаття присвячена питанням вдосконалення існуючої системи нормування питомих витрат електроенергії. Проаналізовано Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні теплової енергії. Визначено основні недоліки наведеної у Порядку методики розрахунку норм питомої витрати електричної енергії. Обґрунтована необхідність та визначено можливі шляхи удосконалення Порядку для подальшого здійснення більш об'єктивного контролю енергетичної ефективності підприємств теплоенергетики.

Ключові слова: підприємства теплоенергетики, котельні, нормативні витрати електроенергії, тяго-дугтєове обладнання.

Вступ

На даний час економіка України досягла критичного рівня залежності від зарубіжних поставок енергоресурсів. При цьому енергоємність вітчизняної продукції залишається досить високою, у порівнянні з розвинутими країнами[1]. Тому, з кожним роком, все гостріше в нашій країні постає проблема енергозбереження та ефективного використання ПЕР [2].

Однією з першочергових задач, що виникає при вирішенні питань у сфері енергозбереження, є систематичний контроль та аналіз ефективності використання палива та енергії на відповідних об'єктах. На сьогоднішній день в Україні методологічною основою контролю та аналізу ефективності використання ПЕР є система нормування питомих витрат палива та енергії на виробництво продукції, виконання робіт чи надання послуг, яка застосовується протягом багатьох десятиліть, починаючи ще з часів колишнього СРСР. Розробка підприємствами усіх форм власності норм питомої витрати паливно-енергетичних ресурсів на одиницю продукції, що виробляється, передбачається вимогами статті 20 Закону України «Про енергозбереження» та здійснюється згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 15.07.1997 року № 786 «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» (зі змінами та доповненнями, внесеними Постановою Кабміну № 841 від 03.08.2011 р.), а також Наказу Державного комітету України з енергозбереження від 22.10.2002 р. № 112 «Основні методичні положення з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві».

Однак, проаналізувавши діючі в нашій державі методики нормування питомих витрат електроенергії можна стверджувати, що більшість з них мають низку суттєвих недоліків, які не дозволяють достатньо об'єктивно оцінювати рівень ефективності використання електричної енергії у виробничій сфері [3].

Проте, є й такі методики на підставі яких, можна встановити достатньо обґрунтовані та прогресивні норми. Одним з прикладів такої методики є Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики

при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії (далі Порядок), затверджений Наказом Міністерства з питань житло-комунального господарства України №12 від 02.02.2009 року [4].

Цей Порядок визначає основні методичні положення розрахунку нормативних витрат електроенергії на потреби підприємств теплоенергетики для надання послуг централізованого постачання гарячої води, опалення і вентиляції житлових і громадських будівель. Однак і в цій методиці є певні неточності, нечіткості деяких вихідних та розрахункових величин, що потребують детального розгляду та пошуку шляхів їх вирішення.

Метою даної роботи є детальний аналіз Порядку розрахунку нормативних витрат електроенергії, визначення основних напрямків та пропозицій щодо його удосконалення, яке дасть змогу встановлювати більш точні та обґрунтовані норми її питомої витрати і, відповідно, здійснювати більш об'єктивний контроль енергетичної ефективності підприємств теплоенергетики та їх виробничих підрозділів, зокрема, котельних.

Матеріали і результати дослідження.

Порядком передбачено визначення нормативних витрат електричної енергії основним та допоміжним обладнанням котельних, зокрема, таким як дуттьові вентилятори, димососи, насоси різного призначення, контрольно-вимірювальні прилади і автоматика, системи освітлення тощо.

Хоча розрахунки норм питомих витрат електричної енергії за Порядком достатньо прості, в процесі їх практичного виконання виникають численні питання, відповіді на які не можна знайти у методиці, що розглядається.

Першим і найбільш очевидним недоліком Порядку є те, що в процесі розрахунку практично всіх показників, зокрема, середньої продуктивності тяго-дутьового та насосного обладнання котельних, середньої електричної потужності, що споживається цим обладнанням тощо, виникає потреба у виборі числових значень багатьох нормативно-довідкових даних, які за своєю природою є нечіткими величинами. Такими величинами, зокрема, є коефіцієнт надлишку повітря в димових газах та топці котлоагрегатів, температура димових газів та холодного повітря, тиск, що створюють нагнітачі різного призначення, коефіцієнт підживлення теплової мережі тощо. І це далеко не повний їх перелік. Зазвичай зазначені нормативні величини наводяться у Порядку та іншій довідковій літературі у вигляді досить широкого діапазону їх значень які не завжди відповідають конкретним виробничим умовам.

Таким чином процес прийняття рішення щодо вибору певного числового значення більшості довідкових величин з достатньо широкого діапазону їх нормативних значень значною мірою має суб'єктивний характер. Очевидно, що такий, достатньо довільний вибір числових значень нормативно-довідкових величин може суттєво впливати на результати подальших розрахунків нормативних витрат електричної енергії обладнанням котельних.

А отже числові значення норм питомої витрати електроенергії що встановлюються на підставі таких розрахунків для котельних, також можуть коливатись в досить широких межах, що не дозволяє вважати їх достатньо обґрунтованими.

Слід зазначити, що таку невизначеність вихідних даних можна суттєво зменшити, шляхом застосування аеродинамічних та гідравлічних характеристик обладнання для знаходження числових значень багатьох необхідних величин. Проте, спосіб використання таких характеристик також потребує додаткових пояснень, які в нормативному документі, що розглядається відсутні.

Такі пояснення є необхідними, зокрема, в процесі знаходження на

аеродинамічних характеристиках тяго-дутьового обладнання робочої точки, для якої необхідно визначати робочий тиск та експлуатаційний ККД нагнітача. На будь-якій аеродинамічній характеристиці наведено декілька робочих характеристик нагнітача, які відповідають різним способам регулювання його продуктивності. Наприклад, на рисунку 1 таких характеристик чотири.

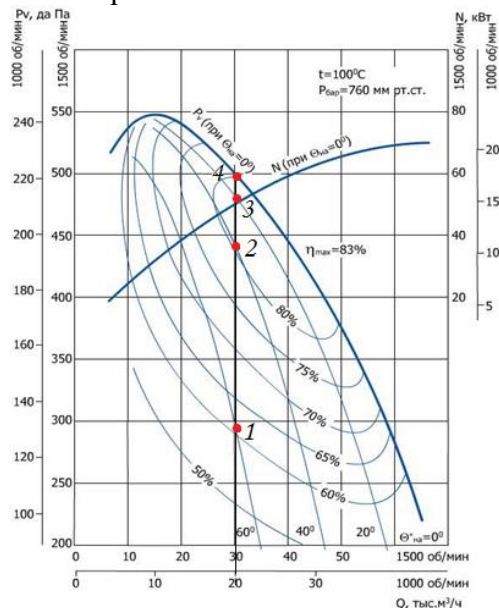


Рисунок 1 – Аеродинамічна характеристика димососу ДН-12,5.

Отже, в залежності від величини розрахункової продуктивності димососа чи вентилятора можна вибрати від однієї до чотирьох можливих робочих точок.

Питання вибору робочої точки на аеродинамічних характеристиках нагнітачів можна вирішити, виходячи з необхідності забезпечення якомога більш високого рівня ефективності використання електричної енергії димососами та вентиляторами, які досить часто є одними з основних її споживачів на котельних.

На підставі результатів, отриманих при виконанні численних розрахунків, для різних типів тяго-дутьового обладнання, можна стверджувати, що при визначенні нормативних витрат електроенергії вентиляторів та димососів котельних робочу точку на їх аеродинамічних характеристиках (і, відповідно, спосіб регулювання їх продуктивності) слід вибирати на перетині вертикальної лінії, що відповідає розрахунковій продуктивності нагнітача, та першої з можливих при такій продуктивності («найнижчої») його робочої характеристики.

Функціонування тяго-дутьового обладнання у вибраній таким чином робочій точці відповідає найбільш ефективному режиму використання ним електричної енергії.

Крім того, існує ще одна серйозна проблема, що виникає при застосуванні аеродинамічних характеристик нагнітачів у процесі розрахунку їх нормативних витрат електричної енергії. Мова йде про те, що фактичні (експлуатаційні) умови роботи димососів та вентиляторів, зокрема температура димових газів та «холодного» повітря, а також барометричний тиск у відповідній місцевості, можуть суттєво відрізнятись від паспортних умов, для яких були побудовані аеродинамічні характеристики. Отже, перш ніж використовувати «паспортні» характеристики тяго-дутьового обладнання, їх потрібно привести до фактичних умов експлуатації цих нагнітачів, тобто відповідним чином скоригувати. Порядок, що розглядається, не містить жодних методичних

рекомендацій щодо такого коригування.

Слід зазначити, що на підставі аеродинамічних характеристик, існує можливість визначення не тільки необхідних значень робочого тиску та експлуатаційного ККД нагнітача, але й безпосередньо електричної потужності, що споживається ним при тій чи іншій продуктивності та при відповідному способі її регулювання. Адже на характеристиках представлена також залежність споживаної електричної потужності димососів та вентиляторів від їх продуктивності, яка являє собою одну з енергетичних характеристик такого обладнання. Зазначена залежність на аеродинамічних характеристиках наводиться для одного з способів регулювання продуктивності нагнітачів, якому відповідає кут повороту лопаток їх направляючого апарату, що дорівнює 0° .

Для того, щоб коректно застосовувати такі енергетичні характеристики тяго-дутьового обладнання для розрахунку нормативних витрат електроенергії на котельних, перш за все, потрібно з'ясувати, якій саме потужності відповідають ці характеристики. Адже в інтернет-джерелах, у яких можуть бути знайдені необхідні аеродинамічні характеристики вентиляторів та димососів, відсутні відомості щодо того, відповідають наведені енергетичні характеристики потужності на валу самого нагнітача чи потужності, що споживається його електродвигуном.

Ще одне принципове питання виникає при обчисленні середньої споживаної потужності нагнітачів. З метою виконання розрахунків для тяго-дутьового обладнання Порядком передбачається застосування наступної залежності:

$$P = \frac{k \cdot L \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_m} \quad (1)$$

Сумніви викликає наявність у ній коефіцієнта запасу. Можна припустити, що введення до формули 1 такого коефіцієнту має на меті передбачення можливості відхилення реальних умов роботи обладнання від розрахункових. Однак врахування такої можливості (і, відповідно, застосування коефіцієнтів запасу) головним чином є потрібним для вибору необхідної встановленої потужності електродвигуна того чи іншого виду обладнання, і аж ніяк не для розрахунку середньої потужності, що ним споживається.

Відповіді на вище перераховані питання можна отримати, виконавши низку розрахунків електричної потужності тяго-дутьового обладнання, та порівнявши отримані результати з даними, одержаними за відповідними енергетичними характеристиками таких нагнітачів.

На підставі численних розрахунків, виконаних для різних типів нагнітачів можна зробити висновок, що представлена на аеродинамічних характеристиках тяго-дутьового обладнання характеристика потужності являє собою залежність електричної потужності, що споживається на валу нагнітача, від його продуктивності.

Можна стверджувати також, що при розрахунку середньої споживаної потужності вентиляторів та димососів використання у формулі 1 коефіцієнта запасу k є некоректним. До того ж, застосування такого коефіцієнта є недоцільним з точки зору необхідності визначення саме *нормативних* витрат електроенергії. Адже, врахування цього коефіцієнта збільшує розрахункову величину середньої потужності тяго-дутьового обладнання котельних на 10...20% у порівнянні з дійсною середньою потужністю, що споживатиметься цим обладнанням у відповідному режимі його роботи.

Крім того, виконані розрахунки дозволяють стверджувати, що при розрахунку середньої потужності, що споживається електродвигуном димососів та вентиляторів, в умовах відсутності їх аеродинамічних характеристик необхідно в наведених у Порядку залежностях додатково враховувати експлуатаційний ККД електродвигуна та механічної передачі.

Крім наведених вище складнощів, які виникають в процесі виконання за Порядком відповідних розрахунків, слід звернути увагу ще на одну проблему, що виникає саме при визначенні ККД асинхронного електродвигуна.

Для розрахунку середньої потужності, що споживається електродвигуном будь-якого відцентрового нагнітача, використовується єдина загальна формула:

$$P = \frac{L \cdot H}{\eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_m} \quad (2)$$

де L та H – продуктивність та тиск нагнітача; η_e, η_n, η_m – ККД відповідно асинхронного електродвигуна, самого нагнітача і механічної передачі.

Згідно Порядку величина ККД асинхронного двигуна визначається за наведеною в цьому документі спеціальною таблицею в залежності від завантаження електродвигуна за потужністю, яке розраховується за формулою:

$$k_z = \frac{P}{P_{ном}} \quad (3)$$

де $P_{ном}$ і P – відповідно номінальна потужність електродвигуна та середня потужність, що споживається ним протягом того чи іншого періоду.

Однак у зазначеному методичному документі не міститься жодних пояснень щодо способу розрахунку коефіцієнта завантаження за потужністю електродвигуна нагнітачів (димососів, вентиляторів або насосів).

Якщо розглядати співвідношення $P/P_{ном}$, яке за Порядком є вихідною величиною для визначення експлуатаційного ККД електродвигуна будь-якого нагнітача, саме як коефіцієнт завантаження за потужністю цього обладнання (тобто, системи електродвигун – робоча машина в цілому), то виникає ситуація, яку можна назвати «замкненим колом».

Якщо ж сприймати зазначене співвідношення $P/P_{ном}$, що використовується в таблиці, наведених в розділі 3 Порядку, як коефіцієнт завантаження електричного двигуна окремо, то в цьому випадку фізичний зміст величини P є цілком зрозумілим. Це середня електрична потужність, що споживається самим нагнітачем при його роботі з розрахунковою продуктивністю. Очевидно, що тільки при такому розумінні складових формули для розрахунку коефіцієнта завантаження електродвигуна є практично можливим визначення його експлуатаційного ККД за наведеною в Порядку таблицею.

Таким чином для тяго-дутьового обладнання котельних у випадку відсутності його аеродинамічних характеристик перш за все, необхідно обчислити величину середньої електричної потужності (P), що споживається самим нагнітачем при його розрахунковій продуктивності. Після цього одержане значення потужності (P) має бути використане для визначення коефіцієнта завантаження електродвигуна за формулою 3.

Знаючи числове значення цього коефіцієнту, за таблицею, наведеною в розділі 3 Порядку можна визначити величину експлуатаційного ККД електродвигуна нагнітача,

за необхідності здійснюючи лінійну інтерполяцію його дискретних значень.

За результатами виконаних таким чином розрахунків середня потужність, що споживається електродвигуном вентилятора чи димососу, може бути визначена шляхом ділення раніше розрахованої середньої споживаної потужності самого нагнітача (P) на добуток знайденого за наведеною у Порядку таблицею експлуатаційного ККД електродвигуна та ККД механічної передачі, який також приймається згідно Порядку.

Що ж стосується насосного обладнання котельних, слід зазначити, що у випадку відсутності їх гідравлічних характеристик неможливо визначити експлуатаційний коефіцієнт завантаження електродвигуна і, відповідно, прийняти обґрунтоване значення його експлуатаційного ККД за наведеною в Порядку таблицею.

З іншого боку, у випадку наявності гідравлічних характеристик насосів величину середньої електричної потужності (P), що споживається такими нагнітачами при їх розрахунковій продуктивності, можна визначати безпосередньо за енергетичними характеристиками, які є однією з залежностей, що входять до складу гідравлічних характеристик будь-якого насосу.

Дещо складнішою має бути процедура визначення експлуатаційного коефіцієнту завантаження електродвигунів тяго-дутьового обладнання котельних за наявності аеродинамічних характеристик таких нагнітачів. Однією з аеродинамічних характеристик димососів та вентиляторів також є їх енергетичні характеристики. Однак, такі енергетичні характеристики відповідають тільки одному з можливих способів регулювання продуктивності цього обладнання.

Таким чином алгоритм встановлення експлуатаційного ККД електродвигуна будь-якого виду тяго-дутьового обладнання котельних, а також розрахунку середньої потужності, що споживається електродвигуном вентилятора чи димососу, має повністю співпадати з алгоритмом виконання аналогічних розрахунків у випадку відсутності аеродинамічних характеристик таких нагнітачів

Слід додати також що при проведенні розрахунку норм питомої витрати котельної, виникають труднощі з визначенням тривалості роботи основного і допоміжного технологічного обладнання протягом відповідного розрахункового періоду.

Для окремих видів електрообладнання котельних, робота якого безпосередньо пов'язана з функціонуванням котлоагрегатів, тривалість роботи якого протягом минулих, так і наступних періодів може бути визначена з достатньо високою точністю.

Однак для певної частини електричного обладнання котельних, наприклад, для насосів сирої води, а також насосів системи хімоводообробки (ХВО) визначити очікувану тривалість роботи на відповідну перспективу досить складно.

Відомості про використання обладнання котельних, зокрема і про тривалість роботи зазначених насосів за минулі періоди, міститься у відповідних звітних документах. Але інформація, що надається в цих документах, не завжди є достатньо достовірною. До того ж мова йде про необхідність встановлення певної «нормативної» тривалості роботи обладнання на той чи інший розрахунковий період на підставі даних про його використання протягом попередніх періодів. Виходячи з зазначеного, є очевидним, що вирішення цієї задачі потребує застосування відповідних методів прогнозування випадкових величин.

Очевидно, що в процесі розрахунку нормативних витрат електричної енергії насосами сирої води та насосами системи ХВО немає потреби у визначенні тривалості їх роботи з дуже високою точністю, оскільки зазначені види обладнання не є енергоємними і навіть значна похибка у виконаних для них розрахунках не матиме помітного впливу

на загальну величину витрат електроенергії на котельній в цілому. Тому для встановлення тривалості роботи окремих видів електричного обладнання котельних доцільно використовувати достатньо прості та найбільш поширені методи прогнозування, зокрема, методи експертних оцінок або прості методи екстраполяції.

На завершення потрібно також звернути увагу на те, що Порядок розрахунку нормативних витрат електричної енергії підприємствами теплоенергетики фактично не містить жодних методичних рекомендацій щодо проведення контролю виконання встановлених норм питомої витрати електроенергії, зокрема, на котельних. Тобто на підставі цього нормативно-методичного документу досить складно виконувати таку важливу функцію енергетичного менеджменту, як об'єктивний контроль та аналіз ефективності використання електричної енергії в процесах виробництва, транспортування та постачання тепла.

Висновки:

1. Діючий в Україні Порядок розрахунку нормативних витрат електричної енергії на підприємствах теплоенергетики має низку недоліків, неточностей, пов'язаних нечіткістю окремих вихідних та розрахункових величин, невизначеністю методів та способів їх вибору або визначення, наявність яких не дозволяє вважати норми питомої витрати електроенергії, що встановлюються на підставі цього документу, достатньо точними та обґрунтованими.

2. Хоча кожен окремий з недоліків Порядку, що розглядається, здебільшого, не є принциповим, з метою здійснення більш об'єктивного контролю та аналізу енергетичної ефективності підприємств теплоенергетики та їх виробничих підрозділів, зокрема котельних, зазначені недоліки потребують усунення, а сам Порядок - відповідного удосконалення.

Список літератури

1. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П. Яценко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. – К., НАЕР, 2009. – 93с.

2. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М. П., Денисюк С. П.; Відпов. ред. Шидловський А. К. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.

3. . Находов, В. Ф. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів/ В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова // «Промислова електроенергетика та електротехніка». Промелектро : інформ. зб. - 2007. - N 2. - С. 42-50

4. Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії, затверджений Наказом Міністерства з питань житло-комунального господарства України №12 від 02.02.2009 року.

АНАЛИЗ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НОРМАТИВНЫХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОИЗВОДСТВО И ТРАНСПОРТИРОВКУ ТЕПЛА

Статья посвящена вопросам усовершенствования существующей системы нормирования удельных расходов электроэнергии. Проанализирован Порядок расчета нормативных расходов электроэнергии предприятиями теплоэнергетики при

производстве, транспортировке и поставке тепловой энергии. Определены основные недостатки приведенной в Порядке методики расчета норм удельного расхода электрической энергии. Обоснована необходимость и определены возможные пути усовершенствования Порядка для дальнейшего осуществления более объективного контроля энергетической эффективности предприятий теплоэнергетики.

Ключевые слова: предприятия теплоэнергетики, котельные, нормы удельного расхода электроэнергии, тяго-дутьевое оборудование.

ANALYSIS AND POSSIBILITY OF IMPROVEMENT OF METHOD FOR CALCULATION OF NORMATIVE POWER CONSUMPTION IN THE PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF HEAT

Article is devoted to the analysis and improvement of the existing in Ukraine system of normalization unit cost of electricity. In particular, the results of the current method of the calculation of the regulatory costs of electrical power by thermal power plant in the production, transportation and supply of heat. The main disadvantages of techniques are determined to establish rules for specific electric power consumption at boiler stations that provide centralized hot water, heating and ventilation of residential and public buildings. The necessity of improving this technique is justified to implement a more objective control of the energy efficiency of thermal power plant.

Keywords: thermal power plant, boiler stations, electric power consumption regulations. smoke exhaust ductwork and pumps in boiler stations.

РОЗДІЛ С
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕКОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ

УДК : 536.248.1

ОЧЕРЕТНЮК Р.В., ГАВРИШ А.С.

**ТЕПЛООБМІН І ГІДРОДИНАМІКА ПОТОКУ З НАДКРИТИЧНИМИ
ПАРАМЕТРАМИ ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ ТА НЕРІВНОМІРНОМУ
ОБІГРІВІ**

ОЧЕРЕТНЮК Р.В., ГАВРИШ А.С.

**ТЕПЛООБМЕН И ГИДРОДИНАМИКА ПОТОКА СО
СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ И
НЕРАВНОМЕРНОМ ОБОГРЕВЕ**

OCHERETNIUK R.V. GAVRISH A.S.

**HEATTRANSFER AND HYDRODYNAMICS OF SUPERCRITICAL
PARAMETERS FLOW AT STATE AND UNEVEN HEATED**

Анотація.

Побудована дослідна модель тепловиділяючої збірки. Сформована розрахункова сітка. Проведено моделювання потоків при стаціонарному та нерівномірному обігріві. Отримані графіки температури і швидкості.

Аннотация.

Построена исследовательская модель тепловыделяющей сборки. Сформирована расчетная сетка. Проведено моделирование потоков при стационарном и неравномерном обогреве. Получены графики температуры и скорости.

Annotation.

Research model heated assemblies was constructed. Estimated net was build. The simulation of flows in stationary and non-uniform heating was make. Temperature and speed graphics were receive.

Ключові слова.

Тепловиділяюча збірка, стаціонарний обігрів, нестационарний обігрів, швидкість, температура, розрахункова сітка.

Ключевые слова.

Тепловыделяющая сборка, стационарный обогрев, нестационарный обогрев, скорость, температура, расчетная сетка.

Key words.

Heat-generating assemblies, stationary heating, uneven heated, speed, temperature, estimated net.

ВСТУП

У світі проведено велику кількість досліджень гідродинаміки і теплообміну при русі рідини надкритичного тиску в трубах і каналах. Проте до цих пір немає чіткого розуміння процесів тепломасопереносу в потоці теплоносія при різкій зміні його фізичних властивостей [1]. Різка зміна фізичних властивостей теплоносія призводить до великої кількості режимів теплообміну. Одним з таких важливих чинників є геометрія каналів тепловиділяючої збірки і режим нагріву.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ:

Побудувати достовірну модель, правильно підібрати до неї розрахункову сітку. Проаналізувати отримані характеристики у випадку стаціонарного нагріву і у випадку

коли нагрів задається розрахунковим рівнянням.

1. ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТА ЗАДАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СІТКИ І ПОЧАТКОВИХ ПАРАМЕТРІВ

У даному експерименті розглянуто процеси гідродинаміки і теплообміну при плинні теплоносія в шестигранній семистрижневій тепловиділяючій збірці (ТВЗ) при перебігу теплоносія надкритичних параметрів, виконані у програмі SolidWorks FlowSimulation. На Рис. 1. 1 показана схема досліджуваного об'єкта в декартовій системі координат, де вісь Z спрямована уздовж осі каналу збірки, вісь Y проходить через центральний стрижень і знаходиться посередині всіх стрижнів, а вісь X перпендикулярна до Y. Початок системи координат знаходиться в точці 0. Також важливим фактором для збірки є побудова додаткових площин для отримання графіків і перерізів [2].

Побудовані площини: 1-1 – яка проходить через 3 стрижня і не є паралельною до направляючих координат. 2-2 – проходить між двох стрижнів в зоні вузького каналу. 3-3 – перпендикулярна до вісі 2-2.

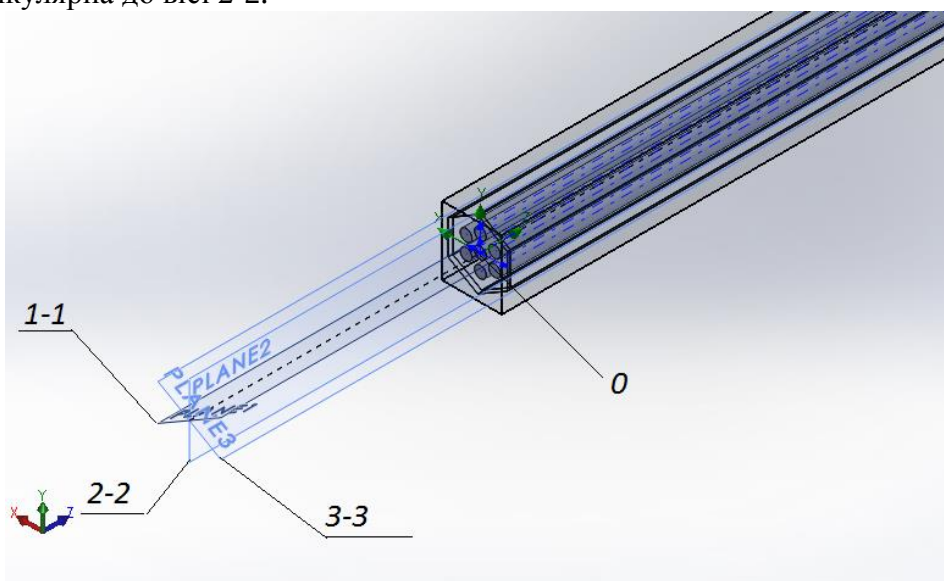


Рис 1.1 Геометрична модель і початок відліку системи координат

На Рис. 1.2 представлено основному розрахункову сітку даної моделі ТВЗ. Сітка виконана з мінімальним кроком в 0.0015м. Це було зумовлено малою відстанню кроку збірки. Тобто, при більшому кроку дані експерименту не відповідала б дійсності, а при меншому – задача розрахунку займала більше часу і уповільнювала дослідження.

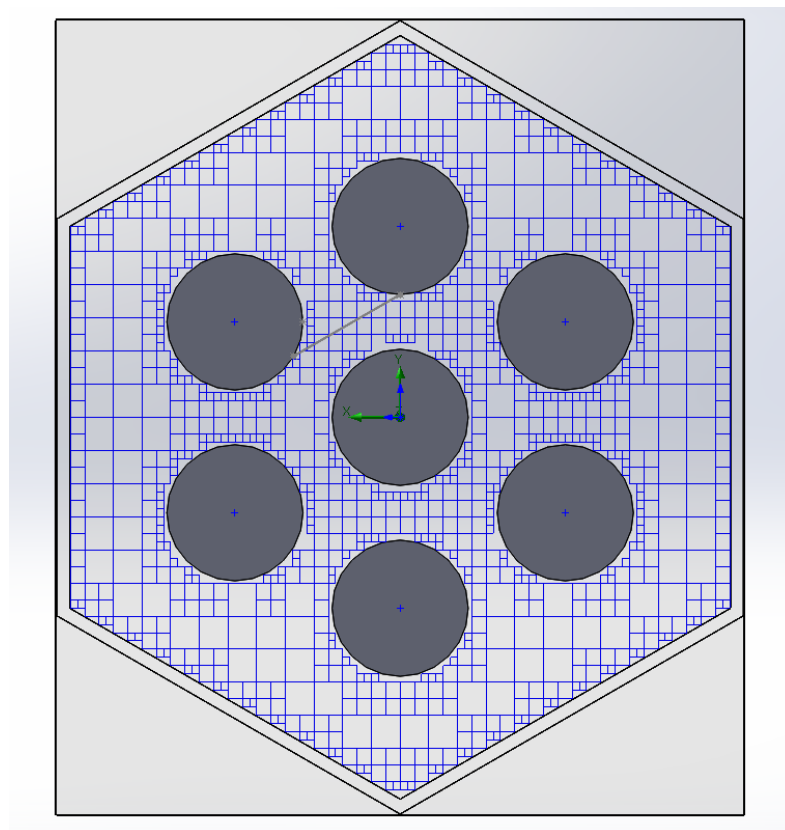


Рис.1.2 Початкова сітка

Підготовка розрахункової моделі таким чином дозволяє проводити дослідження параметрів теплообміну і гідродинаміки з бажаною точністю і дає достовірні результати.

2. ТЕПЛОВІ І ГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ПОТОЦІ З НАДКРИТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ

Було проведено експерименти з показаній вище шестигранній тепловиділяючій збірці використовуючи наявні розрахункові можливості програми SolidWorks FlowSimulation. Чисельне дослідження процесів гідродинаміки і теплообміну в збірці проводилося на основі математичної моделі гідродинаміки і теплообміну, наведеною в [3]. Розрахунки проводилися при наступних значеннях параметрів: швидкість $u_0=0,5$ м/с, температура $T_r=290$ °С, тепловий потік $q=400000$ Вт/м², тиск $p=25$ МПа.

На Рис.2.1 зображеного графік температури в 4х основних перерізах по довжині, між тепловиділяючим елементом і зовнішньою стінкою. По графіку видно, що спостерігається збільшення температури поблизу ТВЕ і з подальшим падінням характеристики при русі до стінки. Отримані дані корелюються з результатами отриманими в роботі [4].

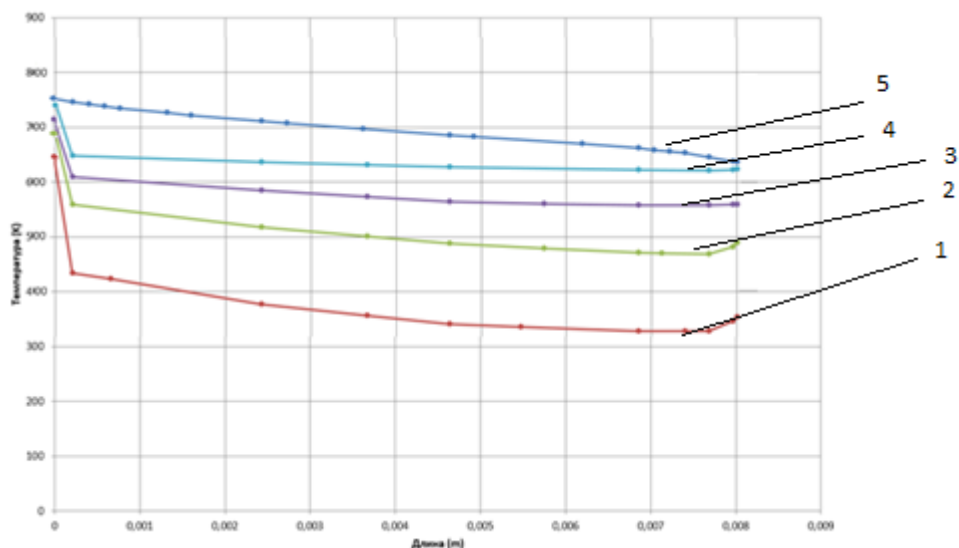


Рис 2.1 Температура в перерізі 2-2 в 4х точках від початку координат: 1- 1 метр, 2 -2 м, 3- 3 метра, 4- 4 метра.

На Рис. 2.2 приведений графік швидкості потоку в перерізі 1-1, між тепловиділяючими елементами. Профіль швидкості має рівномірний характер з максимумом в середині, що пов'язано з рівномірними розподілом між двома ТВЕ. В порівнянні з даними роботи [4] отриманий нами графік має більш рівномірний характер. Це пов'язано з більш простими алгоритмами обрахунку в симуючій програмі FlowSimulation.

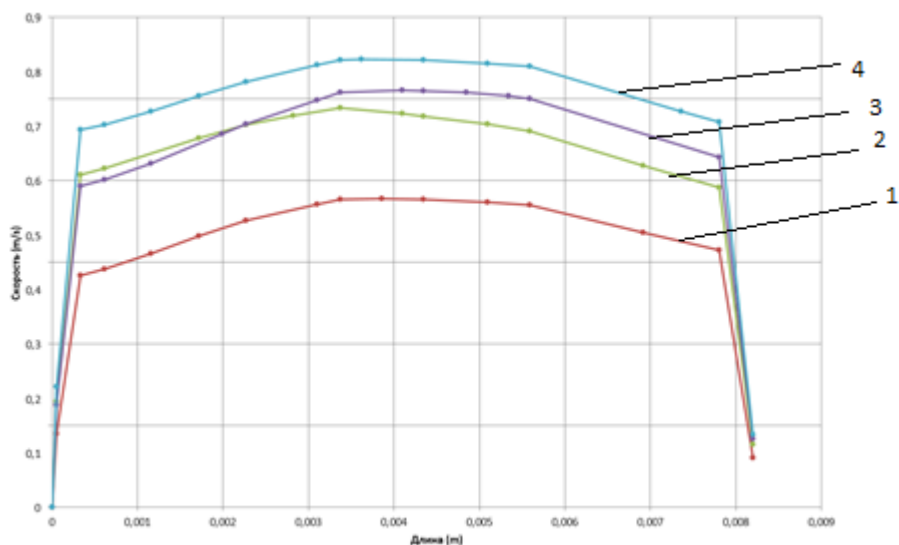


Рис 2.2 Графік швидкостей в перерізі 1-1

На Рис. 2.3 показано Розподіл температури по довжині ТВЗ в переріз 2-2. Перехід до надкритичної зони відбувається на відстані 1,2-1,3 м від входу в ТВЗ. Ці дані корелюються з отриманий в роботі [4]. Причини хвилюватого характеру графіку в зоні 1,3-4,5 м пов'язаний з малими можливостями наявний розрахункових програм по обчисленні теплоносія з надкритичними параметрами.

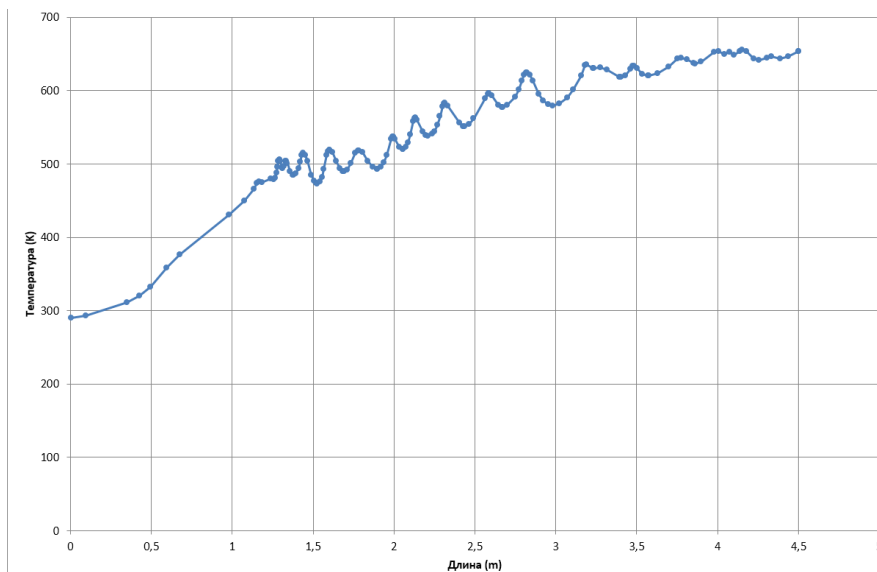


Рис 2.3 Розподіл швидкості по довжині в площині 2-2

3. ТЕПЛООБМІН І ГІДРОДИНАМІКА ПОТОКУ З НАДКРИТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ НЕРІВНОМІРНОМУ ОБІГРІВІ

Значення теплового потоку при моделюванні нерівномірною теплового навантаження задавалося наступним виразом:

$$q = q_{nom} (-0.1019x^4 + 0.754x^3 - 1.7988x^2 + 1.6886x + 0.3975) \quad (1.1)$$

Поліном у виразі (1.1) був отриманий шляхом апроксимації профілю теплового потоку, отриманого експериментальним шляхом [5] і застосований для моделі, виконаній в SolidWorks у вигляді заданої залежності, для питомої поверхневої теплової потужності, зображеної на Рис 3.1 .

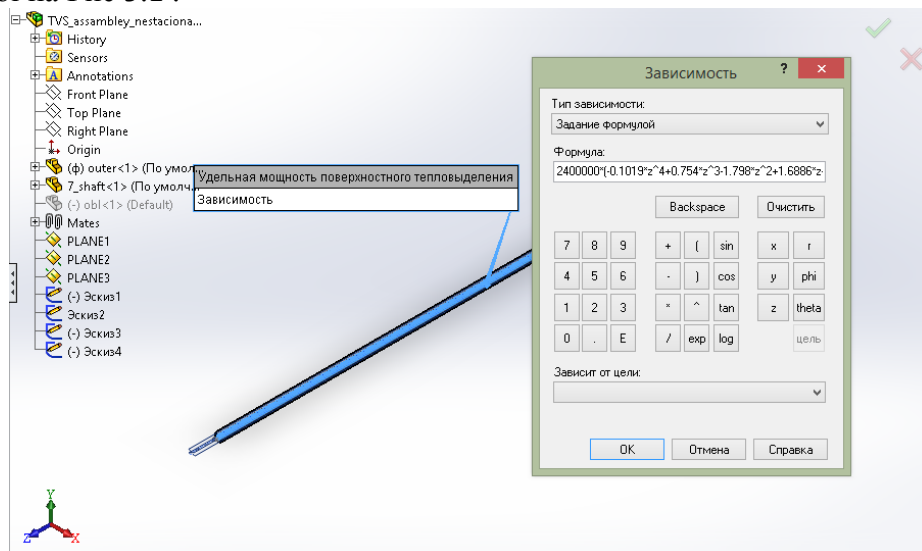


Рис 3.1 Задання параметрів теплового потоку у вигляді формули

На Рис. 3.2 представлено профіль розподілу швидкості для перетину (1-1) в чотирьох розрізах по довжині шестигранною тепловиділяючої збірки. Швидкість течії при русі потоку теплоносія уздовж збірки зростає на ділянці при рівномірному і нерівномірному обігріві. При цьому, порівнюючи дані з параграфом 2 значення швидкості при

нерівномірному обігріві вище, ніж при рівномірному обігріві на одних і тих же відстанях від входу. Профіль швидкості між двома тепловиділяючими елементами зберігається симетричним.

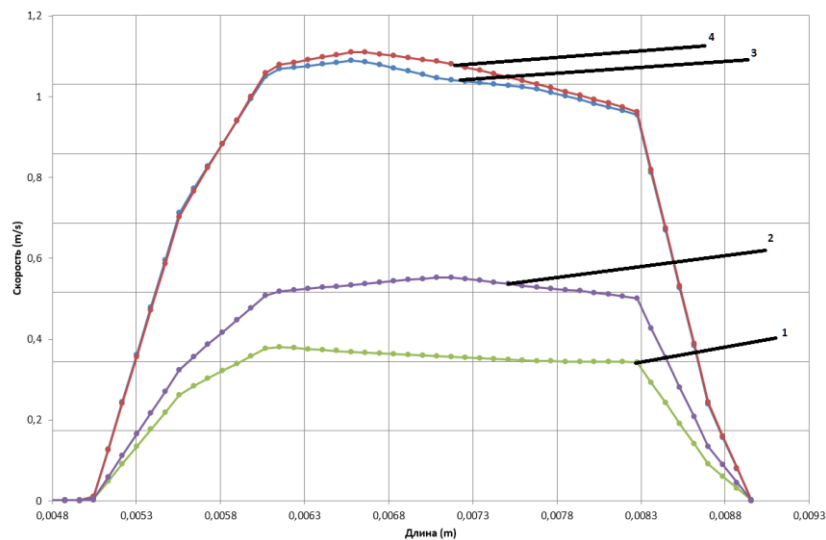


Рис 3.2

Незалежно від способу обігріву поверхні в міру просування по тепловиділяючі збірки швидкість потоку збільшується, але при цьому при нерівномірному обігріві прискорення більше, ніж при рівномірному, що викликано більш інтенсивним нагріванням. Так як розглянута ділянка знаходиться між двома тепловиділяючими елементами, то спостерігається симетричний профіль швидкості і максимум знаходиться в центрі у всіх розрізах незалежно від способу обігріву поверхні.

На рис. 3.3 представлені профілі температур в площині 1-1 досліджуваної області. Для цього перерізу характерно симетричний розподіл температури незалежно від способу обігріву, з невеликим відхиленням пов'язаним з похибкою моделювання.

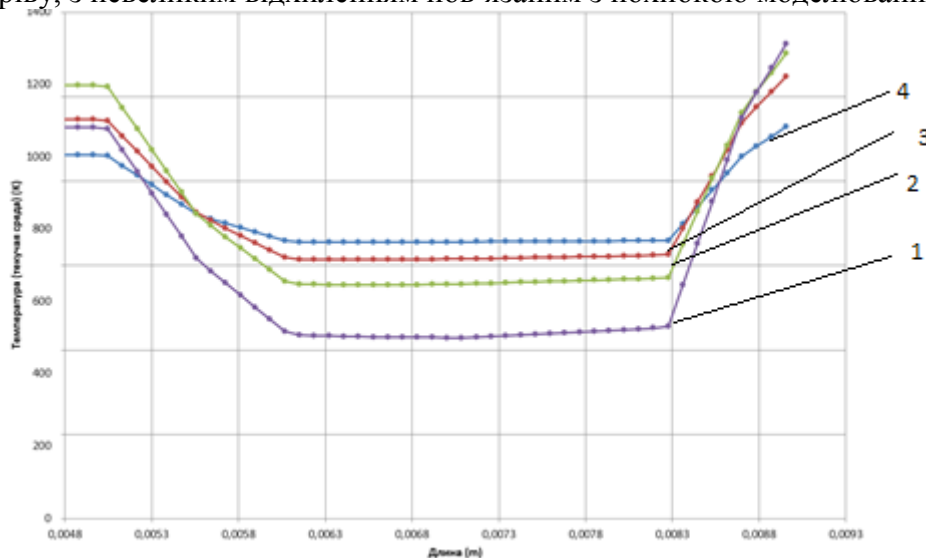


Рис 3.3 Розподіл швидкості в 4х перерізах в площині 1-1

На рис. 3.4 показано перехід до НКП теплоносія, який відбувається в центрі збірки між обігрівуються елементів, а потім поширюється до необігрівальної стрижня. На відстані 1,15 м від входу температура досягає значення надкритичних

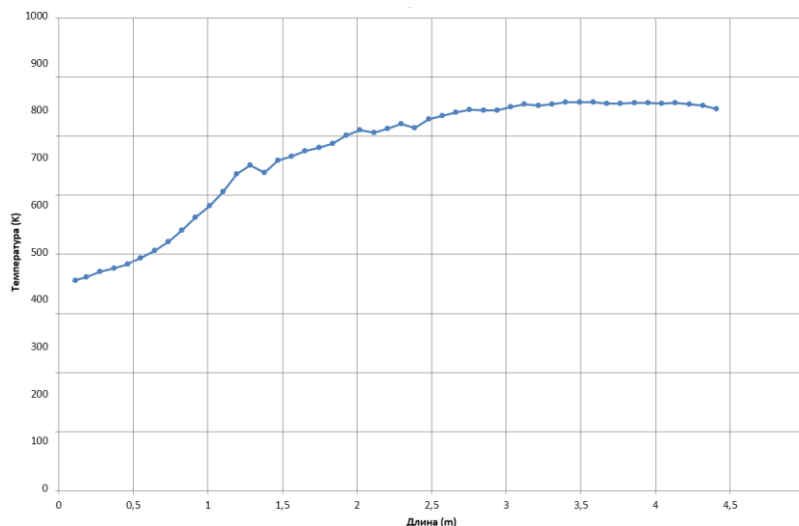


Рис 3.4 - Розподіл температури по довжині тепловиділяючого елемента в перерізі 2-2

ВИСНОВКИ

Використовуючи програмні засоби SolidWorks була побудована модель тепловиділяючої збірки. Задана і побудована розрахункова сітка з кроком 0.0015 м, що є достатньою точністю для розрахунку задач схожого характеру.

Були розглянуті 2 випадки нагрівання потоку з надкритичним тиском: при стаціонарному та нерівномірному режимі. В результаті були отримані графіки температури і швидкості при протіканні теплоносія в розглянутій збірці. Порівнюючи отримані дані при стаціонарному і нерівномірному режимі можна сказати про те, що в 2-гому випадку характеристики мають вищі значення ніж при стаціонарному режимі нагрівання.

Всі отримані результати корелюються з раніше відомими результатами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Орнатский А.П. Парогенераторы сверхкритического давления / А.П. Орнатский и др. – Киев : Высшая школа, 1980. – 238 с.
2. Очеретнюк Р.В. Про особливості дослідження критичних параметрів енергетичних установок / XIV Всеукраїнський конкурс «Молодь – енергетиці України 2014». –К:НТУУ «КПІ», 2014.–20 С.
3. Гавриш А.С. Очеретнюк Р.В Спосіб моделювання двофазних потоків і карти режимів. / Енергетика.Екологія.Людина. –К.НТУУ «КПІ».2014. – С. 37-46.
4. Ягов П.В. Программа ТЕМПА–СК: Моделирование теплогидравлических процессов в активной зоне ВВЭР-СКД/ П.В. Ягов, А.Н Чуркин // Материалы международного семинара «Вода и пар сверхкритических параметров в атомной энергетике: проблемы и решения» – М.: ФГУП НИКИЭТ, 2008. – С.27-29.
5. Безруков Ю.А. Исследование кризиса теплообмена применительно к реальным аксиальным профилям тепловыделения. / Ю.А. Безруков, В.И. Астахов, А.М. Трушин, А.С. Богданов, С.А. Логвинов, А.В. Селезнев // Труды

III научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» . – Подольск, 26–30 мая 2003г . – т.1. – С.67–71.

Затвердженого протоколом засідання кафедри ТПТ №10 від 15 квітня 2015 року.

УДК 697.1

Яценко О.І., Мотрич С.С.

Науковий керівник: к.т.н., ас. Суходуб І.О.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО
КОРПУСУ №7 НТУУ «КПІ»
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ УЧЕБНОГО
КОРПУСА №7 НТУУ «КПИ»
ANALYSIS OF HEATING SYSTEM EFFICIENCY IN EDUCATIONAL BUILDING №7
NTUU «KPI»

АНОТАЦІЯ: Проведено дослідження підходів до оцінки ефективності роботи системи опалення будівлі: складання температурних карт та тепловізійне обстеження. Проаналізовано вплив різних факторів на внутрішню температуру в приміщеннях будівлі.

АННОТАЦИЯ: Проведено исследование подходов по оценке эффективности работы системы отопления здания: составление температурных карт и тепловизионное обследование. Проанализировано влияние различных факторов на внутреннюю температуру в помещениях здания.

ABSTRACT: Building heating system efficiency assessment approaches (thermal mapping and thermal imaging) are studied. Influence of various factors on the building internal temperature is analyzed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: система опалення, температурна карта, тепловізійне обстеження, енергоефективність.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система отопления, температурная карта, тепловизионное обследование, энергоэффективность.

KEY WORDS: heating system, thermal map, thermal imaging, energy efficiency.

Вступ

Одним з основних санітарно-гігієнічних показників, що впливають на рівень працездатності людини, є температурні умови комфортності. У зв'язку з нераціональним використанням енергії та значними втратами теплоти через огорожувальні конструкції будівель ці умови часто не дотримуються. Тому виникає необхідність оцінки теплового стану будівлі. Головною метою цієї роботи є опис результатів використання двох підходів до оцінки ефективності роботи системи опалення: складання температурних карт та тепловізійного обстеження.

Питання визначення та підвищення рівня енергоефективності будівель вищих навчальних закладів висвітлюються в роботах Дешка В.І., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М., Перекреста А. Л. та ін. Зокрема, в роботі [1] проводиться структурний аналіз енергоспоживання закладів освіти, визначення факторів, які впливають на енергоспоживання, для проведення класифікації об'єктів. В статті [2] аналізуються особливості системи опалення для різних будівель закладу освіти на основі енергетичних показників, проводиться оцінка їх класу енергоефективності та складання енергетичного паспорту. Розрахунки енергетичної ефективності будівлі навчального закладу, визначення економічних та екологічних показників впровадження різних енергозберігаючих заходів може бути також проведено за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення ENSI [3].

Мета та завдання

Головною метою цієї роботи є опис результатів використання двох підходів до

оцінки ефективності роботи системи опалення: складання температурних карт та тепловізного обстеження. Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання: здійснене вимірювання температур внутрішніх стін і приладів опалення у учбових та адміністративних приміщеннях корпусу №7; проведене тепловізне обстеження південного та північного фасаду будівлі “А-1” та проаналізовано вплив сонячної радіації на температуру зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Опис об’єкту дослідження

Об’єктом енергетичного обстеження є навчальний корпус № 7 НТУУ “КПІ”.

Корпус №7 НТУУ “КПІ” почав будуватися у 1981 році і на сьогоднішній день складається з таких частин (рис. 1): будова “А-1” (головна) – має учбове призначення та складається з цокольного та семи поверхів, збудована у 1981 р.; будова “А-2” – має учбово-лабораторне призначення та складається з одного поверху, збудована у 1981 р.; будова “Б” – має учбово-лабораторне призначення та складається з трьох поверхів, збудована у 1982 р.; будова “В” – ДК “КПІ”, складається з трьох поверхів, збудована у 1984 р.

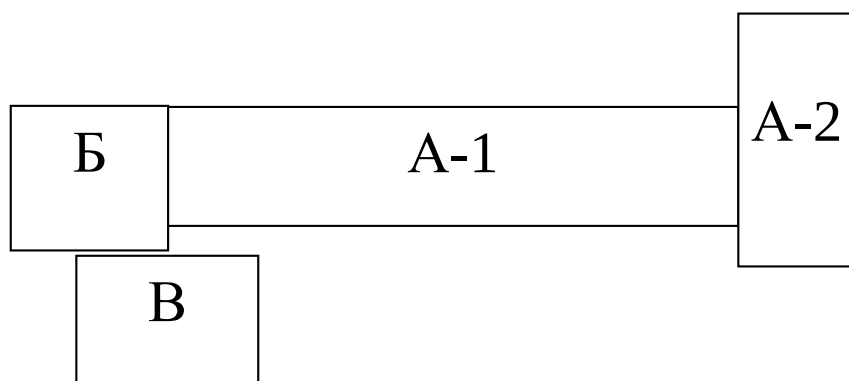


Рисунок 1 – Схематичне представлення корпусу №7

Корпус №7 має в основному учбове призначення. У будівлі знаходяться адміністративні приміщення, аудиторії для навчання, науково-дослідні лабораторії, комп’ютерний клуб, буфети, технічні підсобні приміщення. Режим роботи: з восьмої ранку до двадцять другої години вечора кожного дня крім суботи та неділі. У суботу корпус працює до третьої години дня. Загальна кількість працюючих – приблизно 1000 чоловік викладацького персоналу і 10000 студентів.

Об’єктом споживаються такі енергоносії: електрична енергія, теплова енергія та холодна вода. Найбільша доля грошових витрат припадає на теплову енергію – 75% (рис. 2).

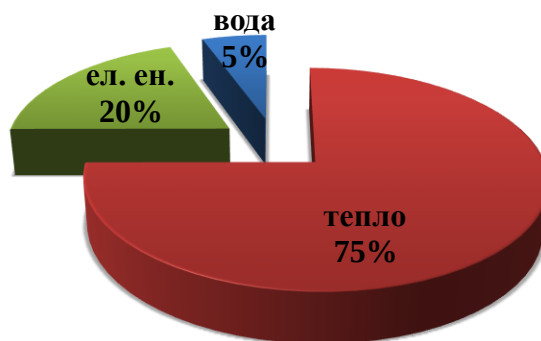


Рисунок 2 – Доля грошових витрат на енергію (2014 рік)

В якості заходів з енергозбереження за попередні роки в корпусі №7 була проведена модернізація тепlopункту з встановленням приладів обліку теплової енергії та заміна невеликої частини дерев'яних вікон на нові енергоефективні вікна: переважно на п'ятому та шостому поверхах, а також в потокових аудиторіях будови "Б".

Теплопостачання корпусу здійснюється від двох введів тепломережі. Перший ввід, що знаходиться у центральному тепловому пункті (ЦТП) в зоні "Б" будівлі, здійснюється від 1 району, магістраль №6. Від вводу живляться зони "А-1", "Б", ДК "КПП" та будівля їдальні, що з'єднана з корпусом №7. Другий ввід, що знаходиться у тепловому пункті в зоні "А-2", здійснюється від 4 району, магістраль №1. Від цього вводу живиться зона "А-2" корпусу.

Система опалення має 84 опалювальних стояка. У якості нагрівальних приладів використані радіатори типу М140А-О. Нагрівальні прилади та всі неізольовані трубопроводи пофарбовані масляною фарбою. Ізоляція трубопроводів у ЦТП у багатьох місцях у поганому стані. Система опалення будівлі двотрубна з верхньою розводкою.

Складання температурної карти

Енергетичне обстеження будівлі було проведене 1 грудня 2014 року з 10:00 до 16:00 години. В цей час температура зовнішнього повітря була -8°C , а погодні умови – сонячні.

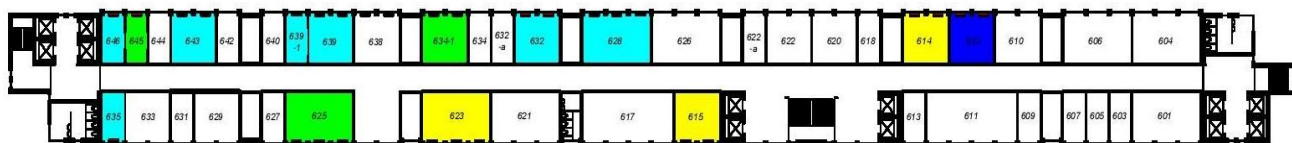
Для зняття температурної карти використовувався метод виміру температури за допомогою безконтактного приладу (інфрачервоного пірометра) марки ST-8839.

Інфрачервоний пірометр ST-8839 здатен вимірювати температури в діапазоні $-50^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$. Точність вимірювання 1,5% ($-20^{\circ}\text{C} \div 200^{\circ}\text{C}$). Дані про температуру отримуються майже миттєво при націлюванні лазера на поверхню [4]. Внутрішня температура приміщення обрахована як усереднене значення температур усіх внутрішніх огорожувальних конструкцій (внутрішніх стін, стелі, підлоги).

Для побудови температурної карти використаний загальний план шостого та сьомого поверхів навчального корпусу №7 НТУУ "КПІ". На кресленні плану приміщень схематично зазначене розташування опалювальних приладів.

На температурній карті (рис. 3, 4) інформація нанесена у вигляді кольорових температурних зон відповідно до рекомендованої температури внутрішнього повітря у даній будівлі – 18°C за допомогою такого кольорового коду: синій – коли температура в приміщенні менше 14°C ; блакитний – $14^{\circ}\text{C} \div 17^{\circ}\text{C}$; зелений – $17^{\circ}\text{C} \div 19^{\circ}\text{C}$; жовтий – $19^{\circ}\text{C} \div 22^{\circ}\text{C}$; червоний – більше 22°C [5].

Пн



Пд

Рисунок 3 – Температурна карта п'ятого поверху корпусу №7

Пн



Пд

Рисунок 4 – Температурна карта шостого поверху корпусу №7

Аналізуючи отримані температурні карти шостого та сьомого поверхів, необхідно зазначити, що орієнтація та погодні умови, а саме умови хмарності, значним чином впливають на внутрішню температуру приміщень. Тобто, в приміщеннях, що розташовані на південній стороні зафіксована температура нормативна або навіть вища за рекомендовану за рахунок значного впливу сонячної радіації, в той час як в багатьох приміщеннях, що розташовані на північній стороні, температурні умови комфортності не виконуються.

Не менш суттєво впливали на результати вимірювань такі чинники як: присутність студентів в аудиторіях, працююча комп'ютерна техніка, наявність додаткових автономних опалювальних приладів.

За результатами проведених вимірювань було визначено, що середня температура поверхонь опалювальних приладів в приміщеннях будівлі становить 39°C.

Було досліджено розподіл температур внутрішнього повітря на сходових клітинах по поверхах будівлі за рахунок системи опалення з верхньою розводкою (рис. 5). За графіком на рис. 5 можна помітити тенденцію до зменшення температури внутрішнього повітря відповідно до зниження поверху. На нульовому поверсі внутрішня температура вища через те, що вимірювання її проводилося поблизу працюючої теплової завіси.

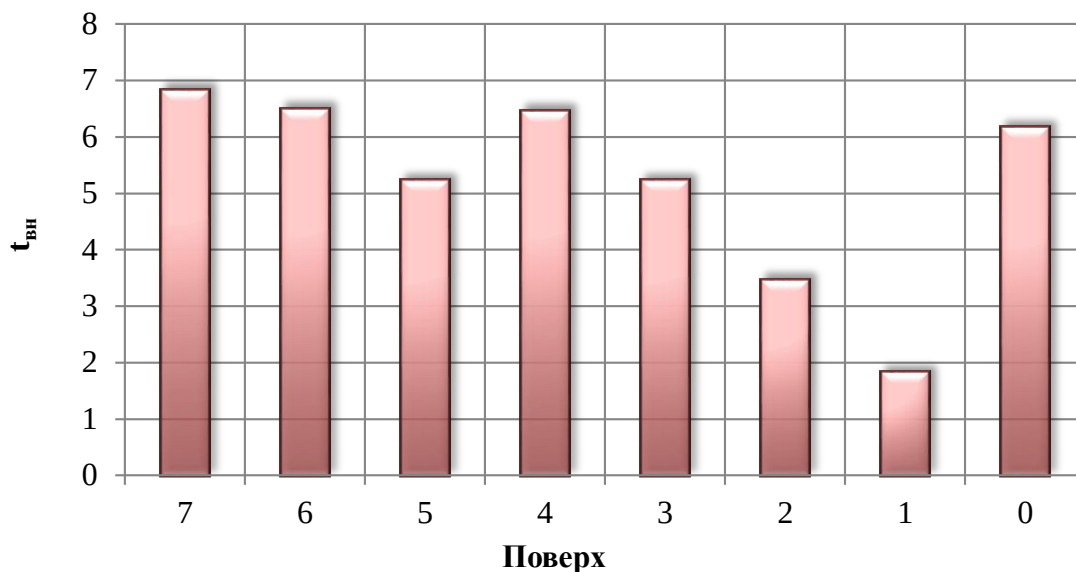


Рисунок 5 – Графік залежності внутрішньої температури сходових клітин відповідно до поверхів корпусу

Тепловізійне обстеження

Тепловізійне обстеження будівлі проводилося в той самий час, що і збір даних для температурної карти.

Для зняття термограм використовувався професійний тепловізор Fluke Ti100. Це універсальний прилад для безконтактного вимірювання температури в діапазоні від -20°C до $+250^{\circ}\text{C}$ та візуалізації її розподілу на поверхні об'єкта. Спектральний діапазон вимірювання даного приладу 7,5-14мкм. Похибка вимірювання температури $\pm 2\%$. Особливістю роботи Fluke Ti100 є автоматичне фокусування, що забезпечує високу чіткість зображень [6].

В ході дослідження було знято та проаналізовано термограми північної та південної сторін будівлі з метою виявлення ділянок огорожувальних конструкцій з підвищеними тепловтратами. Отримані термограми зображені на рис. 6 та 7.

Для візуалізації температурного поля об'єкта праворуч від термограм розташована палітра кольорів. Порівнюючи колір в певних точках теплового зображення з кольором розташованої праворуч температурної шкали, можна легко, з порівняно високою точністю, визначити температуру досліджуваного об'єкта в цій точці [7]. На рис. 6 та 7 видно, що термограма північної сторони будівлі має температурну шкалу $-25^{\circ}\text{C} \div 6^{\circ}\text{C}$, в той час термограма південної сторони має температурну шкалу $-12^{\circ}\text{C} \div 24^{\circ}\text{C}$. Така різниця температур свідчить про значний вплив сонячної радіації на температуру поверхні будівлі. Тобто, частина фасаду, яка орієнтована на південну сторону світу (рис. 7) нагрілася та має значно вищу температуру ніж та частина, що орієнтована на північну сторону світу (рис. 6).

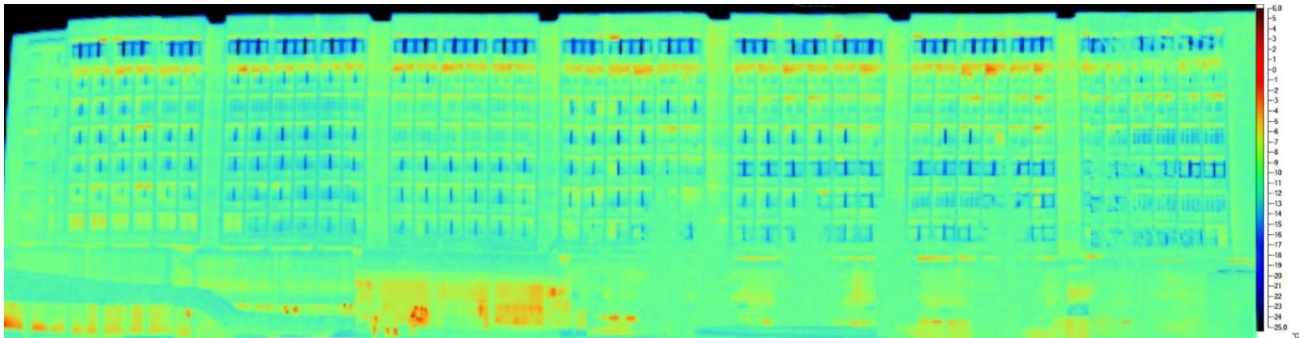


Рисунок 6 – Термограма північної сторони корпусу №7

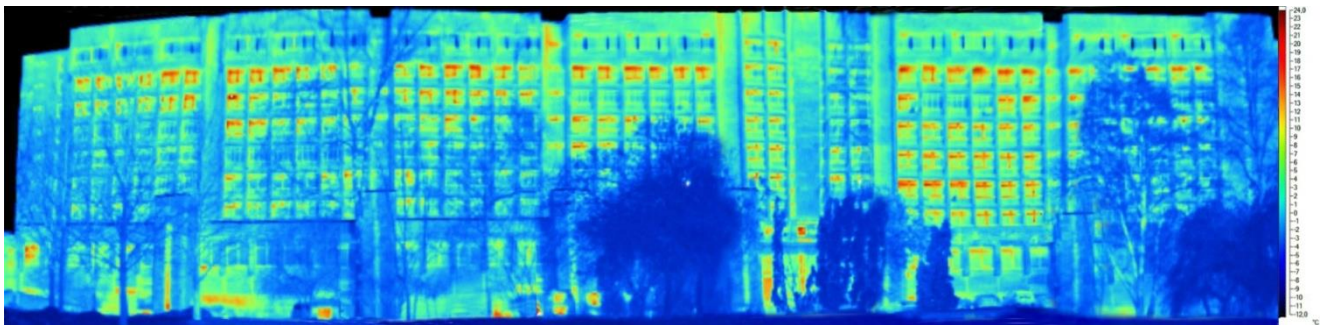


Рисунок 7 – Термограма південної сторони корпусу №7

Необхідно зазначити, що на вищих поверхах температура поверхонь огорожувальних конструкцій вища. Така тенденція прослідковується через те, що система опалення будівлі з верхньою розводкою.

Висновки

Проаналізувавши результати проведеного енергетичного обстеження корпусу №7 НТУУ “КПІ”, важливо зазначити, що нормативні температурні умови комфортності в

приміщеннях будівлі не завжди дотримуються. Це відбувається через неефективну роботу системи опалення, низьку температуру подачі теплоносія з ТЕЦ та значні втрати теплоти через огорожувальні конструкції. Тому існує необхідність повної термомодернізації будівлі, починаючи з заміни всіх вікон на енергоефективні та утеплення огорожувальних конструкцій, і закінчуючи впровадженням пофасадного регулювання системи опалення або встановленням терморегуляторів на прилади опалення та різного роду організаційними заходами з енергозбереження.

Список використаної літератури

1. Дешко В. І. Структурний аналіз енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти / В. І. Дешко, О. М. Шевченко // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2011. - № 6. - С. 139-147. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/NVKPI_2011_6_23.pdf
2. Перекрест А. Л. Оценка эффективности функционирования систем отопления учебных зданий / А. Л. Перекрест // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. - 2014. - Вип. 2. - С. 48-55. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/emezs_2014_2_8.pdf
3. Шовкалюк М. М. Аналіз енергетичних і матеріальних показників і балансів навчального закладу з розробкою енергозберігаючих заходів / М. М. Шовкалюк, І. Ю. Білоус // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2014. - № 5. - С. 108-115. - Режим доступу: <http://ecoj.dea.gov.ua/wp-content/uploads/2014/08/shovkalyk.pdf>
4. Бесконтактный инфракрасный термометр (пирометр) DT-8839/ST-8839 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arsmt.com.ua/pirometr-DT-8839.php>. - Назва з екрану
5. Енергозбереження будівель і споруд. Ефективність роботи системи опалення: метод. вказівки до викон. лабор. робіт з дисципліни для студ. спец. “Енергетичний менеджмент” / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк, О. М. Галілейська, К. В. Іщенко – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 40 с.
6. Тепловизор общего назначения Ti100 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fluke.com/fluke/ruru/termografiq/ti100.htm?pid=73895>. - Назва з екрану
7. Вавилов В.П. Тепловизионная диагностика в энергетике / Вавилов В.П., Александров А.Н.; Прилож. журн. «Энергетик». - М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2003. - 82 с.

УДК 697.9

Кузьмина Ю.С.

Науковий керівник: к.т.н., ас. Суходуб І.О.

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З
ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЄЮ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ З РІЗНИМИ ТИПАМИ СИСТЕМ
ОПАЛЕННЯ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С
ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ЗДАНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СИСТЕМ
ОТОПЛЕНИЯ

HEAT RECOVERY VENTILATION SYSTEM TECHNICAL AND ECONOMIC
ANALYSIS FOR BUILDINGS WITH DIFFERENT HEATING SYSTEMS

Анотація: В статті проведений техніко-економічний аналіз систем вентиляції з теплоутилізацією вітчизняного виробництва для житлових та громадських будівель з централізованим, електричним чи автономним опаленням, проаналізовані терміни окупності для згаданих систем в залежності від режиму роботи.

Аннотация: В статье проведен технико-экономический анализ систем вентиляции с теплоутилизацией отечественного производства для жилых и общественных зданий с централизованным, электрическим или автономным отоплением, проанализированы сроки окупаемости для упомянутых систем в зависимости от режима работы.

Abstract: Heat recovery ventilation systems technical and economic analysis for residential and public buildings with centralized, electrical and gas heating system is given, payback periods for above mentioned systems are analyzed depending on operating mode.

Ключові слова: система вентиляції, утилізація, енергозбереження, система опалення, режим роботи, техніко-економічний аналіз, термін окупності

Ключевые слова: система вентиляции, утилизация, энергосбережение, система отопления, режим работы, технико-экономический анализ, срок окупаемости

Key words: ventilation, heat recovery, energy saving, heating, operation mode, technical and economic analysis, payback period

Вступ

При проектуванні систем вентиляції житлових та громадських будинків особлива увага приділяється умовам мікроклімату для оптимального теплового і функціонального стану людини. Вони повинні забезпечувати комфортне перебування людини в приміщенні шляхом видалення відпрацьованого повітря і подачі свіжого. Доцільність використання різних систем вентиляції, вибір схем утилізації теплоти (холоду) повинні бути обґрунтовані техніко-економічним розрахунком з урахуванням коливання зовнішньої температури, кількості годин роботи даної системи і виду системи опалення. Системи вентиляції з теплоутилізацією є економічними та ефективними порівняно з традиційними способами (привітрювання та механічна припливна або витяжна вентиляція), що пояснюється наступними особливостями: відносно низька собівартість встановлення, високий коефіцієнт ефективності теплоутилізації, безпечне і доступне керування.

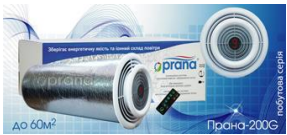
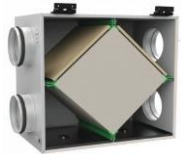
Питаннями техніко-економічного обґрунтування застосування систем вентиляції з теплоутилізацією займаються Іванов О.П., Ватін М.І., Смотракова М.В., Дешко В.І., Самарін О.Д. та ін. В статті [1] були наведені терміни окупності рекуперативних та регенеративних теплоутилізаторів в залежності від виду системи опалення та ефективності теплоутилізатора, при цьому число годин роботи приймається як 8, 12 або 24 години. В роботі [2] розглянуті припливно-витяжні установки з роторним рекуператором та залежність їх ефективності від конструктивного виконання. Дослідження методів осереднення метеоданих для проведення техніко-економічних розрахунків та залежності показників ефективності систем вентиляції від стратегії боротьби з утворенням інею були проведені в роботі Дешка В.І. та ін. [3]. Згідно даних [4] потенціал економії теплової енергії може сягати 12% від загального теплоспоживання типової будівлі середньої школи. Розрахунок економії від впровадження системи вентиляції з теплоутилізацією може проводитися з врахуванням зменшення капітальних затрат на систему опалення, зміну середньої температури опалювального сезону в залежності від режиму роботи вентиляції та дійсних процесів тепломасообміну у приміщенні [5]. Для систем утилізації з проміжним теплоносієм у роботі [6] проводиться оптимізація сукупних дисконтованих затрат в залежності від ефективності утилізації та горизонту прогнозування. Для кліматичних умов України та установок вітчизняного виробництва розрахунок техніко-економічних показників не проводився.

Завдання та мета дослідження

Метою статті є проведення техніко-економічного аналізу систем вентиляції з рекуперативними теплообмінниками в залежності від типу системи опалення, числа годин використання вентиляції за добу для фізичних та юридичних осіб з використанням тарифів станом на 01.04.2015 р.

Відповідно до поставленої мети були розглянуті три системи вентиляції з рекуперативними теплообмінниками вітчизняних виробників – «Прана», «Тефо» та «Вентс» [3, 4, 5]. Їх паспортні дані та вартість наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані

Марка системи вентиляції з рекуперативним теплообмінником	Прана 200 G(1) 	Тефо 4(2) 	Вентс ПР – 150(3) 
Об'ємна витрата повітря, V , м ³ /год	135	130	130
Коефіцієнт явної ефективності, η_t	0,74	0,725	0,75
Потужність, N , кВт	0,032	0,052	0,030
Ціна, грн	5500	10160	9059

Техніко-економічні показники

Для систем вентиляції з теплоутилізацією величину економії теплової енергії протягом опалювального періоду (кВт·год) розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{в.оп.пер.}} = e \frac{V}{3600} \prod_{i=1}^n \gamma_{\text{в}} \cdot c_p \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн},i}) \cdot \gamma_t \cdot \gamma_i \quad (1)$$

де $\gamma_{\text{в}}$ - густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$, c_p - ізобарна теплоємність повітря, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$, $t_{\text{вн}}$ - температура внутрішнього повітря, приймалася рівною 20°C , $t_{\text{зовн},i}$ - температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$, t_i - число годин стояння відповідної температури зовнішнього повітря.

Число годин стояння температури зовнішнього повітря у даних розрахунках взяте для міста Києва з стандартів по будівельній кліматології [6]. Для опалювального періоду розрахунок обмежувався середньодобовою температурою зовнішнього повітря $+8^\circ\text{C}$ та нижче.

Економія теплової енергії при цілодобовому використанні вказаних систем вентиляції наведена на рис. 1. Номер установки наведений в табл. 1. Відмінність у величині економії для різних виробників не перевищує 6% та пов'язана з різними значеннями витрат повітря та коефіцієнтів ефективності.

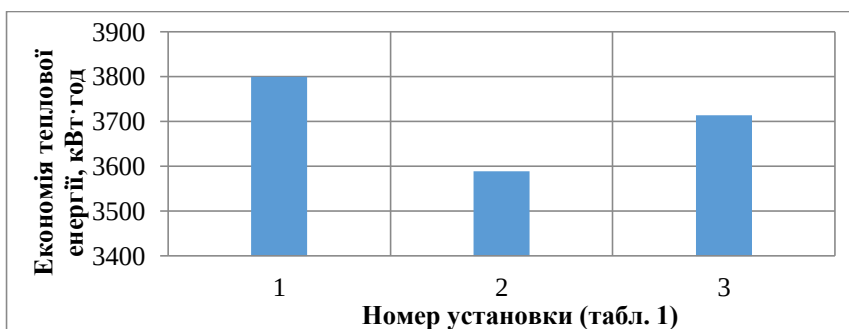


Рисунок 1 – Економія теплової енергії за опалювальний період для різних виробників

Економія грошових коштів знаходиться в залежності від призначення будівлі (житлова чи громадська), типу системи опалення (централізована, електрична або автономна з використанням газового котла) та режиму роботи системи вентиляції за добу з врахуванням затрат електричної енергії на привод вентиляторів:

$$E_{\text{ел}} = Q_{\text{в.оп.пер.}} \cdot \gamma_{\text{ел}} \cdot \frac{t_{\text{роб}}^{\text{доб}}}{24} - N_{\text{ел}} \cdot \gamma_{\text{роб.оп.пер.}} \cdot \gamma_{\text{ел}}, \quad (2)$$

$$E_{\text{тепл}} = \frac{Q_{\text{в.оп.пер.}}}{1,163 \cdot 10^3} \cdot \gamma_{\text{тепл}} \cdot \frac{t_{\text{роб}}^{\text{доб}}}{24} - N_{\text{ел}} \cdot \gamma_{\text{роб.оп.пер.}} \cdot \gamma_{\text{ел}}, \quad (3)$$

$$E_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{в.оп.пер.}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{котл}}} \cdot \frac{1}{1,163 \cdot 10^3} \cdot \gamma_{\text{газ}} \cdot \frac{t_{\text{роб}}^{\text{доб}}}{24} - N_{\text{ел}} \cdot \gamma_{\text{роб.оп.пер.}} \cdot \gamma_{\text{ел}}, \quad (4)$$

де $E_{\text{ел}}$, $E_{\text{тепл}}$, $E_{\text{газ}}$ – економія грошових коштів для будівель з електричним, централізованим та газовим опаленням, $\text{грн.}/\text{оп.сез.}$; $Q_{\text{р}}^{\text{н}}$ – робоча нижча теплота згоряння природного газу, приймалася рівною $8000 \text{ ккал}/\text{м}^3$, $t_{\text{роб}}^{\text{доб}}$ – число годин роботи системи вентиляції за добу, $t_{\text{роб.оп.пер.}}$ – число годин роботи системи вентиляції за

опалювальний період, $h_{\text{котл}}$ – коефіцієнт корисної дії газового котла, приймався рівним 0,9, $N_{\text{ел}}$ – електрична потужність системи вентиляції (табл. 1). Тарифи на електричну ($T_{\text{ел}}$), теплову ($T_{\text{тепл}}$) енергію та газ ($T_{\text{газ}}$) приймалися для фізичних та юридичних осіб згідно даних ПАТ «Київенерго» та ПАТ «Київгаз» станом на 01.04.2015 [7, 8, 9] (табл. 2).

Таблиця 2 – Тарифи на енергоносії

	Тариф на електроенергію, грн/кВт·год	Тариф на теплову енергію, грн/Гкал	Тариф на газ, грн/м ³
Для юридичних осіб (громадські будівлі)	1,66	1631,68	9,67
Для фізичних осіб (житлові будівлі)	0,63	657,24	3,60

Розрахунок простого терміну окупності проводився в залежності від типу системи опалення та числа годин використання системи вентиляції з теплоутилізатором за добу для громадських та житлових будинків (рис. 2 – 4).

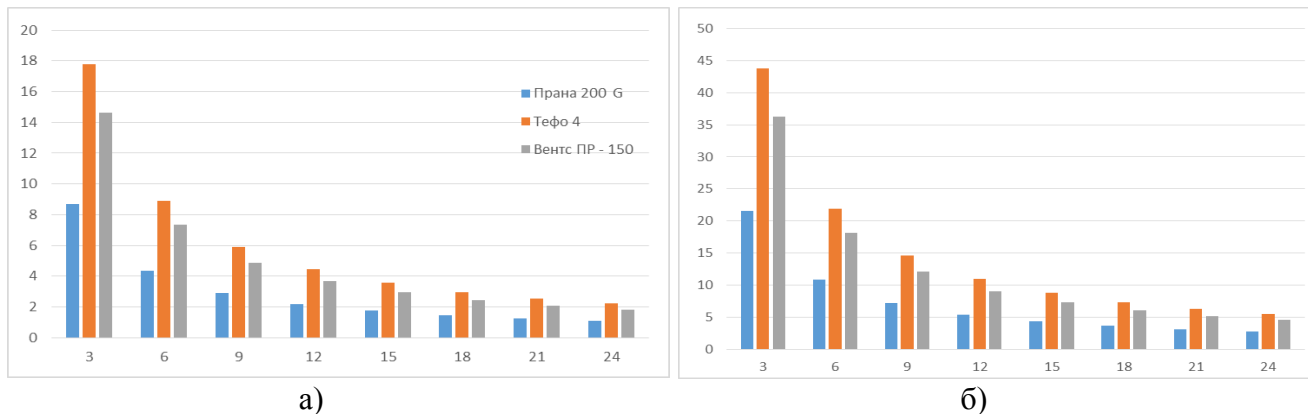


Рисунок 2 – Залежність терміну окупності від числа годин використання систем вентиляції для громадських (а) та житлових (б) будівель з централізованим опаленням

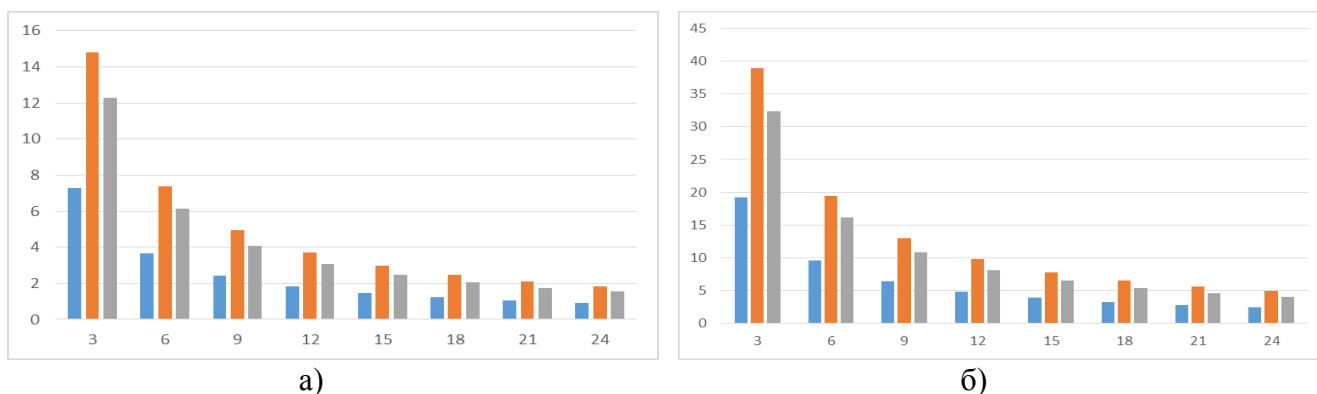


Рисунок 3 – Залежність терміну окупності від числа годин використання систем вентиляції для громадських (а) та житлових (б) будівель з електричним опаленням

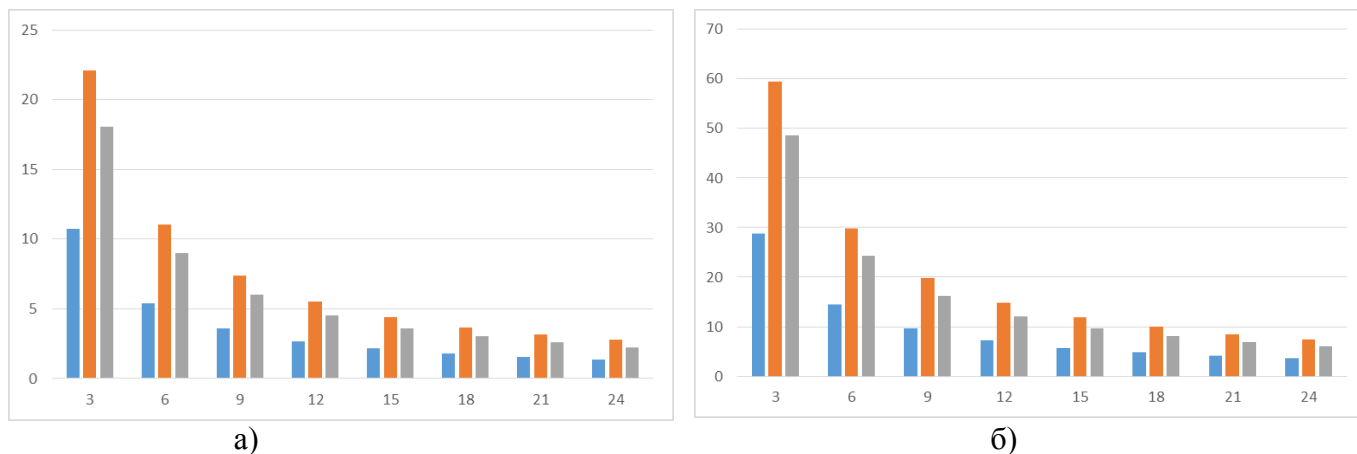


Рисунок 4 – Залежність терміну окупності від числа годин використання систем вентиляції для громадських (а) та житлових (б) будівель з газовим опаленням

Також була проаналізована залежність термінів окупності для різних моделей Прана для громадських будівель з централізованим, електричним та індивідуальним газовим опаленням. Вихідні дані для розрахунків наведені у табл. 3 (при 16-годинному використанні системи вентиляції).

Таблиця 3 – Паспортні дані вентиляційних установок

Номер установки	Модель	Об'ємна витрата повітря, V , м ³ /год	Коефіцієнт явної ефективності, η_i	Потужність, N , кВт	Ціна, грн
1	Прана-150	125	0,83	0,032	5200
2	Прана-200 G	135	0,74	0,032	5500
3	Прана-200 C	235	0,67	0,054	6600
4	Прана-340 A	540	0,66	0,11	9900
5	Прана-250	650	0,63	0,09	9200
6	Прана-340 S	1100	0,63	0,31	11950

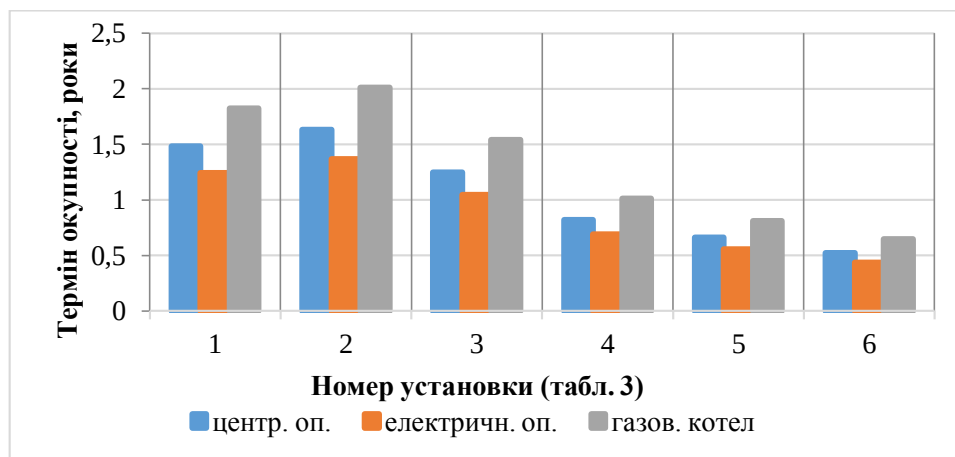


Рисунок 5 – Терміни окупності систем вентиляції з теплоутилізацією в залежності від моделі та типу системи опалення

Отримані результати (рис. 5) показують, що при використанні систем вентиляції з більшою витратою повітря їх термін окупності зменшується. Це пов'язано з більшим зростанням економії енергії та грошових коштів у порівнянні зі збільшенням цін. Аналогічно з попередніми результатами терміни окупності для газового котла – найбільші, для електричного опалення – найменші.

Висновки

При аналізі даних по термінах окупності на рис. 2 – 4 впливає, що у зв'язку зі значною відмінністю тарифів для громадських та житлових будівель відмінність у термінах окупності може сягати 2,5 – 2,6 разів в залежності від типу системи опалення. Найбільші показники економії енергії та грошових коштів та найнижчі терміни окупності спостерігаються при цілодобовому використанні систем вентиляції з теплоутилізацією. Виходячи з заданих тарифів на енергоносії, найменші терміни окупності будуть для будівель з електричним опаленням, найбільші – з автономним газовим котлом. Також можна підкреслити, що терміни окупності змінюються пропорційно числу годин використання систем вентиляції за добу.

При проведенні техніко-економічного аналізу систем вентиляції з теплоутилізатором трьох вітчизняних виробників можемо підвести підсумки, що терміни окупності даних систем вентиляції для будівель з електричним і тепловим опаленням склали в середньому 2 – 4 роки, для випадків невеликого числа годин роботи вентиляції – близько 10 – 20 років. Для будівель з газовим опаленням термін окупності складає в середньому 4 – 6 років і 10 – 25 років для малих значень годин використання даних систем вентиляції з рекуперативними теплообмінниками. У зв'язку з більшим зростанням економії енергії у порівнянні зі зростанням цін при збільшенні продуктивності установки, терміни окупності при цьому зменшується. В подальшому планується розвиток підходів техніко-економічних розрахунків у комплексі з ефектом на проектування та вартість систем опалення та кондиціювання.

Перелік використаних джерел

1. Иванов О.П. Анализ сроков окупаемости пластинчатого и роторного теплоутилизаторов / О.П. Иванов, С.А. Тихомиров // Холодильная техника и кондиционирование. – 2007. – №1. – с. 6. – Режим доступа: <http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/file/article/7689.pdf>
2. Ватин Н.И. Техничко-экономическое обоснование применения систем вентиляции с роторной рекуперацией тепла / Ватин Н.И., Смотрякова М.В. – С.-П.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2003. – 75 с.
3. Дешко В.І. Техніко-економічні показники роботи системи вентиляції з мембранним рекуперативним теплообмінником в кліматичних умовах м. Києва / В.І. Дешко, І.О. Суходуб, С.О. Нагорна // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. - 2012. - №16 — с. 20 - 26.
4. Самарин О. Д. Оптимизация комплекса энергосберегающих технических решений и теплотехнической безопасности при проектировании зданий: автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук: специальность 05.23.03 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» / О. Д. Самарин. – Москва, 2012 г. - 38 с.

5. Самарин О. Д., Обоснование применения утилизации теплоты вытяжного воздуха с учетом ее влияния на систему теплоснабжения / О.Д.Самарин, Ю.В. Ильинский // Вестник МГСУ. – 2011. - №7 - с. 118-123.
6. Самарин О. Д. Техничко-економическая оптимизация утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования / Самарин О. Д. // Журнал «С.О.К.». – 2006. - №1. - Режим доступа: <http://www.s-o-k.ru/articles/tehnikoekonomicheskaya-optimizaciya-utilizacii-teploty-vytyazhnogo-vozduha-v-sistemah-ventilyacii-i-kondicionirovaniya>
7. Вентс ПР - 150 [Электронный ресурс]: Принадлежности для систем вентиляции – Пластинчатые рекуператоры – Вентс ПР – 150 - Режим доступа: <http://vents.ua>
8. Прана 200 G [Электронный ресурс]: Модельный ряд, бытовая модель рекуператор Прана200 G - Режим доступа: <http://prana.org.ua>
9. Воздушные рекуператоры ТеФо [Электронный ресурс]: Технические характеристики рекуператоров ТеФо - Режим доступа: <http://www.ths.com.ua/equipment/energy-saving%20equipment/tefo.htm>
10. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП - 2.01.01-82 Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций, ч [Таблица]: нормативно-технический материал. – 1989 – 43 с.
11. Тарифи на електроенергію [Електронний ресурс]: Тарифи на електричну енергію для населення - Режим доступа: <http://kyivenergo.ua>
12. Тарифи на теплоенергію [Електронний ресурс]: Тарифи на гарячу воду та опалення - Режим доступа: <http://kyivenergo.ua>
13. Київгаз [Електронний ресурс]: Ціни та тарифи на газ - Режим доступа: <http://www.kyivgaz.ua>

УДК : 536.248.1

ГАЛЬЧЕНКО І.В., ЗАТИРКА Н.О., ГАВРИШ А.С.

**ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОКЕРАМІКИ В ТЕПЛООБМІННИХ
УСТАНОВКАХ**

ГАЛЬЧЕНКО И.В., ЗАТИРКА Н.О., ГАВРИШ А.С.

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОКЕРАМИКИ В
ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТАНОВКАХ**

GALCHENKO I.V., ZATIRKA N.O., GAVRISH A.S.

**ABOUT USING SURFACTANTS AND PERSPECTIVE OF USING
NANOCERAMICS IN THE HEAT EXCHANGE EQUIPMENT**

Анотація. Використання поверхнево-активних речовин (ПАР) в теплообмінних апаратах супроводжується ростом коефіцієнтів тепловіддачі та теплових потоків. На підставі проведених досліджень були отримані результати для різних типів поверхнево-активних речовин. Були розглянуті особливості використання ПАР та нанокераміки, яка значно покращує режим краплинної конденсації.

Аннотация. Использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) в теплообменных аппаратах сопровождается ростом коэффициентов теплоотдачи и тепловых потоков. На основании проведенных опытов были получены результаты для разных типов ПАВ. Были рассмотрены особенности использования ПАВ и нанокерамики, которая значительно улучшает режим капельной конденсации.

Annotation. The usage of surfactants in the heat exchangers accompanied by increased heat transfer coefficients and heat flows. Based on the results of the experiments have been obtained results for different types of surfactants. Were considered features of using of surfactants and nanoceramics, which greatly improves the regime of drop condensation.

Ключові слова. Поверхнево-активні речовини, нанокераміка, захисні покриття.

Ключевые слова. Поверхностно-активные вещества, нанокерамика, защитные покрытия.

Key words. Surfactants, nanoceramics, protection coatings.

ВСТУП

На сьогодні процес конденсації широко застосовується в багатьох теплоенергетичних процесах. Конденсація, як правило, відбувається в спеціальних теплообмінниках - конденсаторах. Наукові досягнення прагнуть поліпшити ефективність і підвищити економічність теплообмінного устаткування.

Для того, щоб створити якісно нові системи, які мають малі масо-габаритні характеристики та підвищують ефективність дії теплообмінного обладнання, необхідно досліджувати фазові перетворення. Для цього необхідно підтримувати краплинну конденсацію в теплообмінних апаратах, наприклад з використанням поверхнево-активних речовин (ПАР) - ліофобізаторів, молекули яких асиметрично побудовані з полярних і неполярних груп. Нанесений на теплообмінну поверхню гідрофобізатор

забезпечує її незмочуваність і відповідно якісну краплинну конденсацію, при якій значення коефіцієнтів тепловіддачі значно перевищують значення коефіцієнтів тепловіддачі, одержаних при плівковій конденсації.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проаналізувати вплив різного роду поверхнево-активних речовин при використанні їх на теплообмінних поверхнях.

1 ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ПРОЦЕС КОНДЕНСАЦІЇ

Дослідження краплинної конденсації проводяться на кафедрі теоретичної і промислової теплотехніки теплоенергетичного факультету НТУУ «КПІ» протягом багатьох років. Були проведені дослідження для теплообмінного апарату типу «труба в трубі», пластинчатого теплообмінника та кожухотрубного. У якості гідрофобізатора використовувалися речовини типу Гідроефект-Нанопротек. Якісна картина краплинної конденсації була отримана на всій теплообмінній поверхні (див. рисунок 1).

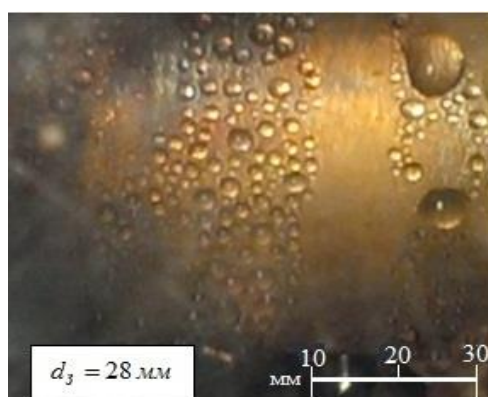


Рисунок 1 – Краплинна конденсація на теплообмінній поверхні теплообмінника типу «труба в трубі»

В результаті проведення дослідів було визначено коефіцієнти тепловіддачі, теплові потоки та щільності теплових потоків. В таблиці 1 показані отримані результати при використанні речовини «Нанопротек Антикорузіон».

Таблиця 1 – Узагальнення даних експериментального дослідження для поверхні обробленою речовиною «Нанопротек Антикорузіон»

Температурний напір, $\Delta t, ^\circ C$	2,13	0,6	0,3
Щільність теплового потоку з боку охолоджуючої води, $q_v, \frac{кВт}{м^2}$	94,1	74,9	70,8
Щільність теплового потоку з боку пари, що конденсується, $q_n, \frac{кВт}{м^2}$	94,7	75,6	71,6
Середня щільність теплового потоку, $q_{cp}, \frac{кВт}{м^2}$	94,4	75,25	71,2
Коефіцієнт тепловіддачі з боку охолоджуючої води, $\alpha_v, \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	3015	4045	4602,5
Коефіцієнт тепловіддачі з боку пари, що конденсується, $\alpha_n, \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	54884	97500	120667
Теоретичний коефіцієнт тепловіддачі з боку пари, $\alpha_{Nu}, \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	2075	2127	3165
Теоретична щільність теплового потоку з боку пари, $q_{Nu}, \frac{кВт}{м^2}$	53,3	15,3	9,2

Також був проведений порівняльний аналіз та узагальнення результатів, які були отримані при нанесенні різних ПАР. Усі відомі речовини типу Гідрофлект-Нанопротек забезпечили режим стійкої краплинної конденсації. Відповідно був збільшений коефіцієнт тепловіддачі і щільність теплового потоку при сталому температурному напорі.

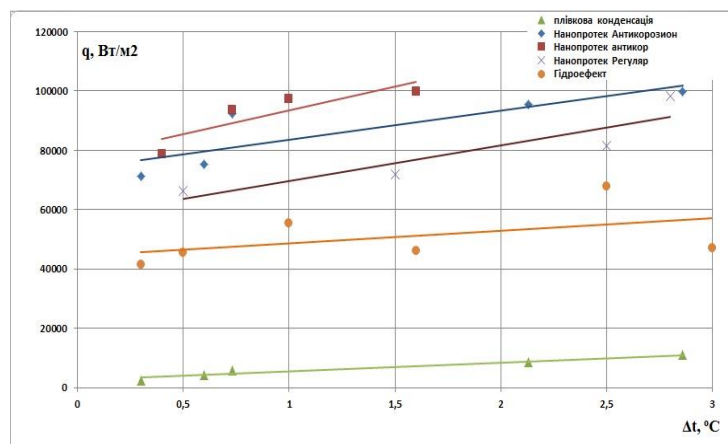


Рисунок 2 – Залежність щільності теплового потоку від температурного напору “пара-стінка” при використанні різних поверхнево-активних речовин

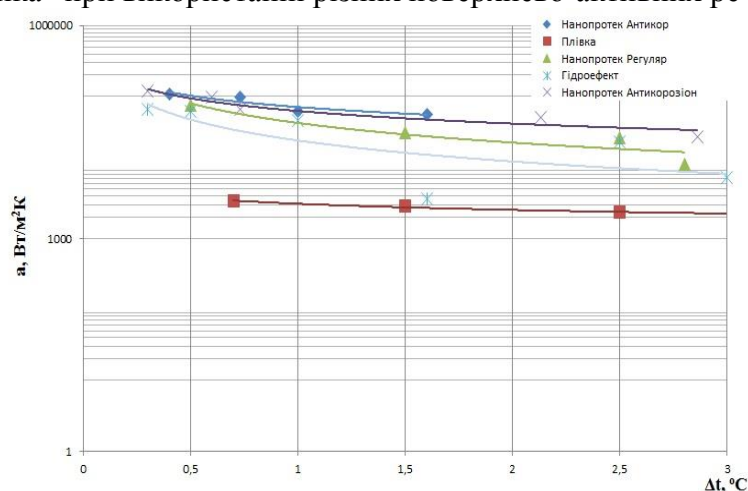


Рисунок 3 - Залежність коефіцієнта тепловіддачі від температурного напору “пара-стінка” при використанні різних поверхнево-активних речовин

З графіків (рис. 2 і 3) добре видно, що існує розбіжність отриманих даних для різних типів гідрофобізаторів. В першу чергу це викликано силами, які діють на молекулярному рівні на межі розділу фаз стінка – рідина – пара.

2 ПРО НАНОКЕРАМІКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

Нанокераміка – керамічний наноструктурований компактний матеріал, виконаний на основі оксидів, карбідів, нітридів та інших неорганічних зв'язків, які складаються із кристалів розміром до 100 нм.

Як правило, нанокераміку отримують із нанорозмірних порошків методом формування і спікання. Так як через високе внутрішнє тертя нанопорошки важче ущільнюються, для їх формування часто використовують імпульсне або гідростатичне

пресування, різні методи лиття. Однією із важливих проблем при отриманні нанокераміки є інтенсивний ріст зерна при спіканні в звичайних умовах. Для вирішення цієї проблеми в початковий порошок вводять добавки, які кріпляться на границях зерен та сповільнюють їх злипання.

Нанокераміка може бути різних типів:

1. Алюмооксидна кераміка, отримана на основі Al_2O_3 . Може використовуватись в ізоляторах електронно-оптичних перетворювачів, керамічних підложках, міцна алюмооксидна бронекамера різних геометричних форм;

2. Нітридна кераміка, отримана на основі AlN . Область використання: термоелектричні модулі, силові напівпровідникові пристрої;

3. Карбідна кераміка, отримана на основі SiC и B_4C . Майбутні сфери використання – керамічні пластини для бронеспорядження та бронезахисту різної військової техніки.

4. Цирконієва кераміка, отримана на основі ZrO_2 . Даний тип кераміки призначений для серійного виробництва ізносо-, корозійно- та хімічностійкої поверхні.

Переваги використання нанокерамічних поверхонь:

- керамічні поверхні не піддаються швидкій дії корозії;
- в силу хімічної нейтральності не взаємодіє з лугами та кислотами;
- мають довготривалу дію;
- можуть бути використані в широкому діапазоні температур (від $-273^{\circ}C$ до $+800^{\circ}C$);
- не гублять своїх властивостей при значеннях тиску до 40 МПа.

ВИСНОВКИ

В сучасних умовах для інтенсифікації теплообміну необхідно використовувати поверхнево-активні речовини. Речовини, які не належать до лінійки Гідроефект-Нанопротек вимиваються під дією парового потоку. В зв'язку з цим теплообмін погіршується. Було встановлено, що ліофобізація поверхні теплообміну за допомогою речовин типу Гідроефект-Нанопротек уповільнює корозію зменшуючи її швидкість в 1,5 – 2 рази в порівнянні зі швидкістю на тій самій проте не обробленій теплообмінній поверхні. Також було встановлено, що після простою в два роки та поновлення в роботі на теплообмінній поверхні забезпечувався краплинний режим конденсації водяної пари, щоправда інтенсивність процесу знизилась майже на 40%.

Наступним кроком для інтенсифікації теплообміну є використання нанокераміки. Даний тип речовин наноситься на теплообмінну поверхню та закріплюється на ній за рахунок міцних хімічних зв'язків. Оброблена поверхня має тонкий шар твердої та стійкої до різних ушкоджень плівки, яка відштовхує різного роду забруднення та сприяє підвищенню ефективності використання теплообмінного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат, 1979. - 416с.
2. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок / Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., и др. Екатеринбург: УГТУ, 1996. 298с.
3. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. 144с.

4. Бродов Ю.М. Перспективные разработки по повышению эффективности и надежности кожухотрубных теплообменных аппаратов паротурбинных установок //Теплоэнергетика. №1. 1998. С.25-59.
5. Kullberg G., Kendall H., Chem. Eng. Prog., 56, №1. 1960.
6. V-я Международная научно-практическая конференция “Нанотехнологии – производству 2008” // Национальная ассоциация наноиндустрии. 25-27 ноября 2008, г.Фрязино Моск. обл., Россия. 2008.
7. J. Kim and M. Kaviani. Purging of dropwise condensate by electrowetting // Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109-2125. Journal of applied physics 101, 103520 2007.
8. Yu-Ting Wu, Chun-Xin Yang, Xiu-Gan Yuan Drop distributions and numerical simulation of dropwise condensation heat transfer // International Journal of Heat and Mass Transfer, V. 44, Is. 23, December 2001, pp. 4455-4464.

УДК 69.059

Щербакова Ю.Є., студент
Дешко В.І., проф., д.т.н.**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАЦІОНАЛЬНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗГІДНО З ДСТУ Б EN ISO 13790 ТА ДІЮЧИХ
УКРАЇНСЬКИХ СТАНДАРТІВ**

Анотація. У даній статті розглядаються основні відмінності методів розрахунку енергоспоживання будівель відповідно до різних стандартів. Наведено схематичне оцінювання різних факторів впливу на загальне енергоспоживання будівель.

Ключові слова: енергоспоживання, національна методика, діючі українські стандарти.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СОГЛАСНО С ДСТУ EN ISO 13790 И
ДЕЙСТВУЮЩИХ УКРАИНСКИХ СТАНДАРТОВ**

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные различия методов расчета энергопотребления зданий согласно разных стандартов. Наведено схематическое оценивание разных факторов влияния на общее энергопотребление зданий.

Ключевые слова: энергопотребление, национальная методика, действующие украинские стандарты.

**COMPARITIVE ANALYSIS OF NATIONAL CALCULATION METHOD OF
ENERGY CONSUMPTION DUE TO DSTU EN ISO 13790 AND EXISTING
UKRAINIAN STANDARDS**

Abstract. This paper shows main differences of calculation methods of buldings energy consumption due to different standarts. It has been shown scheme evaluation of different influence factors on general energy consumption of the buildings.

Main articles: energy consumption, nathional methodic , existing ukrainian standarts.

Вступ

Вирішення питань раціонального використання енергетичних ресурсів за умов значного підвищення тарифів на енергоносії та їхнього подальшого зростання набули загальнодержавного значення. На теплопостачання будівель витрачається більше 40% паливно-енергетичних ресурсів, тому основним напрямком держаної програми з енергозбереження є зменшення споживання ПЕР. У зв'язку з цим були прийняті законодавчі акти, направлені на енергозбереження і ефективне використання енергії, а також відбувається поступове приведення українських стандартів до європейських.

Мета дослідження

Метою роботи є порівняльний аналіз методів розрахунку енергоспоживання і виявлення найбільш вагомих факторів впливу.

Результати дослідження

Для проведення даного дослідження, в якості моделі, було обрано будівлю навчального закладу. З метою виявлення енергоспоживання будівлі були проведені розрахунки на основі європейських та українських стандартів. Методики різні за рівнем складності та ступенем деталізації, європейський підхід потребує задання більшої

кількості вхідних параметрів. Після проведення розрахунків було встановлено, що загальна відмінність в значенні енергопотреб на опалення при використанні національного методу енергоспоживання складає 3,9%. Але після детального розгляду впливу ключових складових на кінцевий результат, були встановлені суттєві відмінності в методах розрахунку та значеннях основних величин тепловтрат та теплонадходжень.

Основним чинником, що визначає втрати тепла в приміщенні і, як наслідок, споживання енергії на опалення, є опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі – стін, перекриттів, покриттів, вікон, дверей. На його основі визначається коефіцієнт теплопередачі для двох методик. Ключовою відмінністю значення даного коефіцієнту в національній методиці являється його приведення до загальної площі огорожувальних конструкцій, а не до 1 м². На рисунку 1.1 та 1.2 приведений порівняльний аналіз коефіцієнта теплопередачі трансмісією для окремих огорожувальних конструкцій в логарифмічному вигляді.

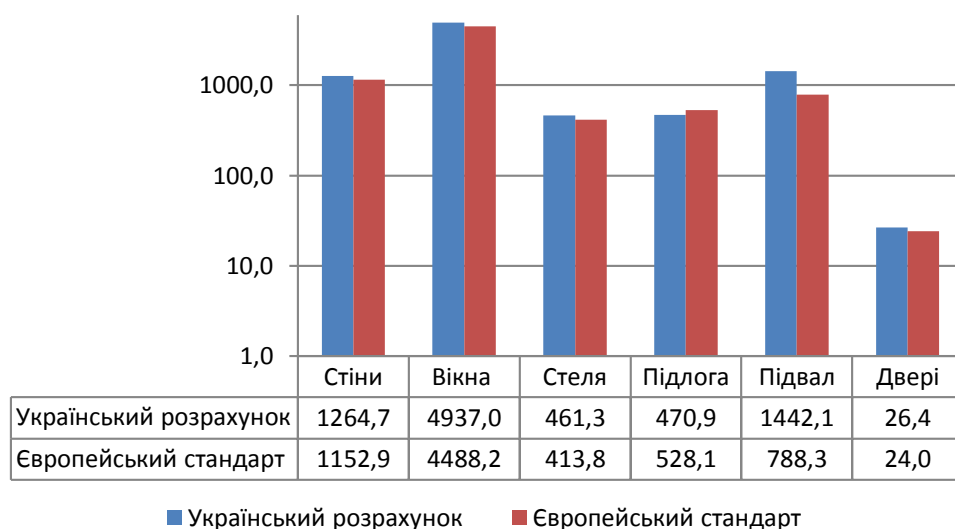


Рисунок 1.1 - Порівняльна характеристика коефіцієнта теплопередачі трансмісією Вт/К для різних методів розрахунку енергоспоживання

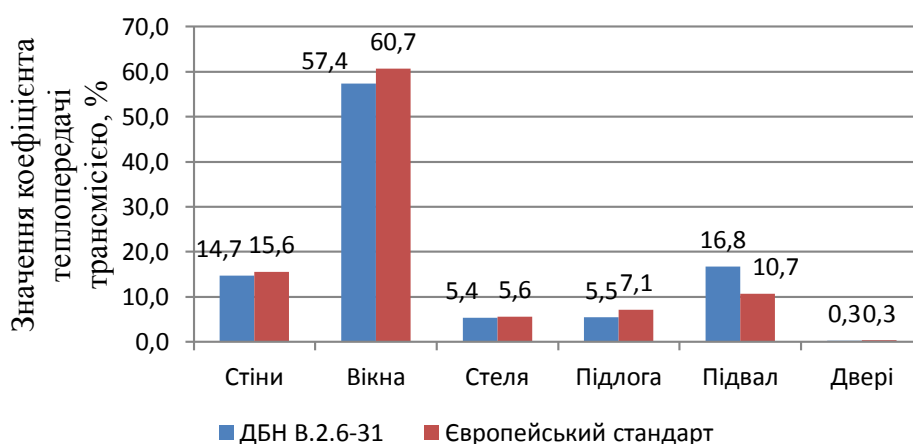


Рисунок 1.2 - Порівняльна характеристика коефіцієнта теплопередачі трансмісією для різних методів розрахунку енергоспоживання, % від загального значення для будівлі

Одним із ключових факторів впливу на сумарне значення енергопотребі на опалення являється вибір температури зовнішнього середовища. Відмінність полягає в загальному підході до розрахунку всіх основних параметрів. В українських стандартах розрахунок виконується для загального опалювального періоду, а національний стандарт встановлює як розрахунковий інтервал один місяць для розрахунку енергопотребі та енергоспоживання при опаленні та охолодженні. Тому використовуючи національну методику, для відповідної кліматичної зони обирається середньомісячна температура, використовуючи українські стандарти потрібно брати середньорічну температуру за опалювальний період. На рисунку 1.3 приведено залежність сумарного значення енергопотребі на опалення від температури.

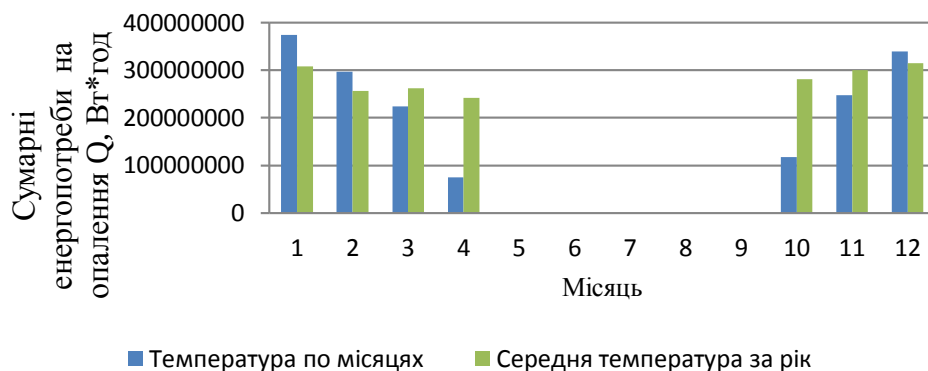


Рисунок 1.3 – Залежність сумарного значення енергопотребі на опалення від методу вибору температури

Вагомий вплив на загальне значення енергоспоживання складають загальні сонячні теплонадходження. Основними відмінностями при методиці розрахунку даної величини являється те, що в національній методиці сонячні теплонадходження розраховуються длі вікон, стін та стелі, а відповідно до українських стандартів теплонадходження враховуються лише через вікна. Порівняльний аналіз сонячних теплонадходжень приведено на рисунку 1.4 та 1.5. Іншим вагомим фактором впливу є наявність в національній методиці додаткового теплового потоку внаслідок теплової радіації до атмосфери. Вплив даної величини на загальні сумарні теплонадходження приведено на рисунку 1.6.

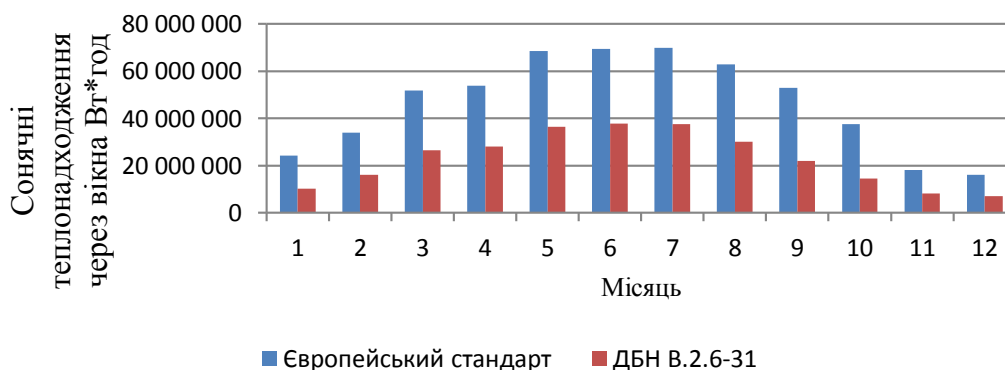


Рисунок 1.4 – Порівняння сонячних теплонадходжень через вікна для різних методів розрахунку енергоспоживання

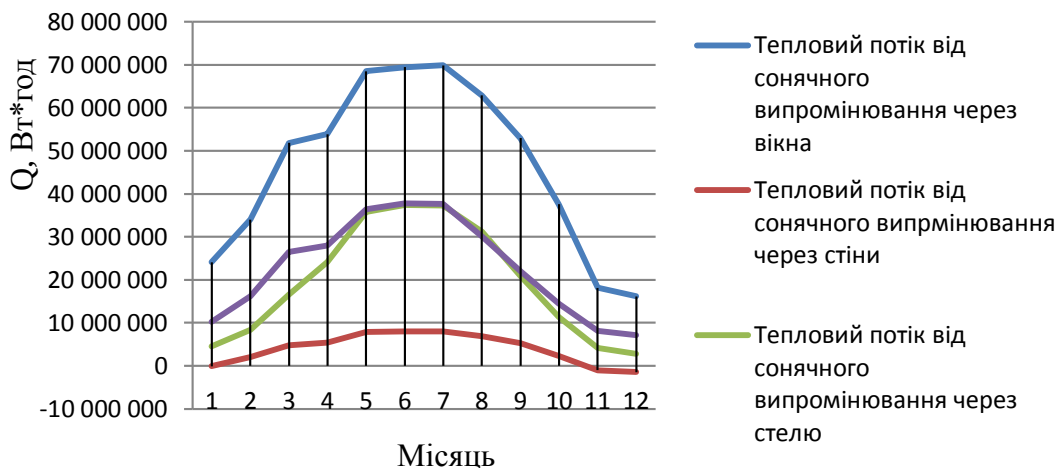


Рисунок 1.5 – Порівняння сонячних теплонадходжень для всіх огорожуючих конструкцій

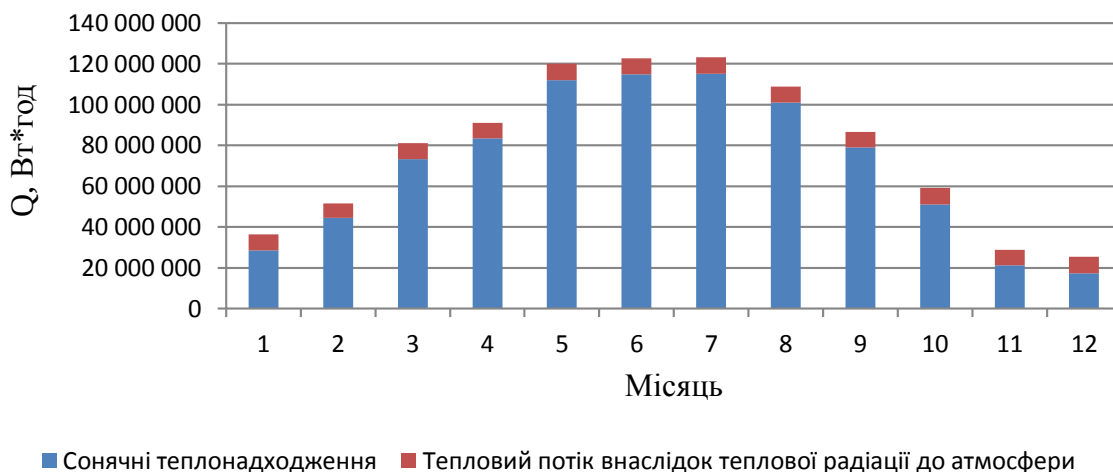


Рисунок 1.6 – Порівняння загальних сонячних теплонадходжень до теплового потоку внаслідок теплової радіації до атмосфери

При загальному порівнянні різних методів розрахунку енергоспоживання будівлі було встановлено, що найбільша відмінність проміжних результатів виникає при розрахунку тепловтрат через вентиляцію, на це впливає наявність ряду додаткових коефіцієнтів в методиці згідно українського стандарту. Основним показником, який впливає на відмінність результатів є підхід до визначення опалювального об'єму будівлі, в національній методиці на відміну від українських стандартів при розрахунку об'єму враховують опалювальні підвали та горища. Загальне порівняння тепловтрат приведені на рисунку 1.7

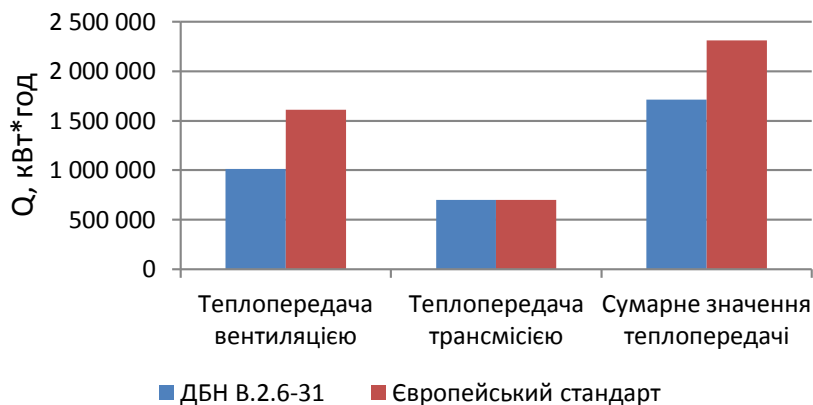


Рисунок 1.7 – Порівняння тепловтрат вентиляцією та трансмісією

Висновок

Після виконання даної роботи було встановлено, що при використанні різних методик визначення енергопотреб на опалення будівлі відмінність в розрахунках складає 3,9%. Основною відмінністю є підхід до визначення сонячних теплонадходжень та визначення тепловтрат через вентиляцію. Загалом національна методика враховує більшу кількість факторів впливу на енергоспоживання будівлі та дозволяє виконати помісячний розрахунок, що дає коректні результати в цілому за рік. Виявлення відмінностей в розрахунках та можливих закономірностей, які впливають на загальне енергоспоживання, потребує проведення додаткової серії розрахунків на моделях будинків з різними характеристиками та призначенням. Розроблена методика розрахунків може бути використана для подальших досліджень в даному напрямку.

Література

1. Г.Г. Фаренюк, Є.С.Колесник, В.І. Дешко (2013). ДСТУ-Н Б А.2.2-XXX:201X. Енергетична ефективність будівель. Національний метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні. [Проект]. Київ: НТУУ «КПІ». ст. 148-154.
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2006. – [Чинні від 2007–04–01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. – (Державні будівельні норми України)

УДК 621.472

Сачук В.О., студент
Ленькин О.В., к.т.н., доцент**АНАЛІЗ АКТИВНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ
ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ**

В статті показано основні види геліосистем для забезпечення потреб теплової енергії житлового приватного будинку, проаналізовано діючі активні системи на основі сонячних колекторів, та змодельовано комбіновану систему для оптимізації енерговитрат теплової енергії у зимовий та літній періоди.

**АНАЛИЗ АКТИВНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ
КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ
ПОМЕЩЕНИЙ**

В статье показано основные виды гелиосистем для обеспечения потребностей в тепловой энергии жилого частного дома, проанализировано действующие активные гелиосистемы на основе солнечных коллекторов и смоделировано комбинированную систему для оптимизации энергопотерь тепловой энергии в зимний и летний периоды.

**ANALYSIS OF ACTIVE SOLAR SYSTEM ON THE BASIS OF SOLAR
COLLECTORS FOR HEATING AND CONDITIONING OF RESIDENTIAL
BUILDINGS**

This paper shows the main types of solar systems to supply demands in heat energy of residential private house. The analysis made for working active solar systems on solar collectors basis and combisystem was created for optimization of energy losses of heat energy in winter and summer periods.

Вступ. До складу активної системи сонячного опалення входять колектор сонячної енергії, акумулятор теплоти, додаткове(резервне) джерело енергії, теплообмінники для передачі теплоти з КСЕ в акумулятор і, з останнього, до споживачів, насоси чи вентилятори, трубопроводи з арматурою і комплекс пристроїв для автоматичного управління роботою системи.

В залежності від виду теплоносія в контурі КСЕ відрізняють рідинні і повітряні геліосистеми теплопостачання. Теплоносієм в КСЕ можуть бути як рідина (вода, 40-50% водяний розчин етилен- чи пропіленгликоля, органічні теплоносії і т.д.), так і газ (повітря). Використання повітря дозволяє виключити проблеми замерзання і корозії, дещо знизити вагу установки, але теплотехнічно повітряні системи менш ефективні ніж рідинні. В більшості експлуатаційних геліосистем теплоносієм виступає вода чи антифриз. При цьому КПД КСЕ вищий, але існує вираженість замерзання і корозії, витоків теплоносія, його перегріву. Теплота в будівлі розподіляється за допомогою вентилятора і повітропроводів у повітряних системах чи за допомогою випромінюючих панелей, радіаторів та конвекторів, розрахованих на низькотемпературний теплоносій (в рідинних системах). Якщо теплове навантаження опалення дорівнює 45-60 Вт/м², то при використанні підлогової системи опалення (поверхня теплоізолюваної низу підлоги обігрівается теплою водою, циркулюючої по прокладеній у ній трубах) достатньо мати

температуру води 30°C, а температуру поверхні підлоги 22-24°C, щоби в приміщенні температура повітря була 18°C. При цьому коефіцієнт тепловіддачі від підлоги до повітря становить 10-12 Вт/(м²·°C). Підлога зазвичай виконується з бетону, всередині якого прокладається ряд поліетиленових труб діаметром 20 мм для теплоносія, знизу розміщується шар теплоізоляції, котрий гідро ізолюється від шару кам'яної засипки. В іншому варіанті використовується мідні труби з алюмінієвим ребром (листом), товщиною 0,5мм, розташованим над шаром жорсткого пінополіуретана. Зверху на алюмінієвий лист наложується тонкий шар войлоку. Під опалювальною підлогою може бути розміщений акумулятор, через який за допомогою вентилятора прокачується повітря.

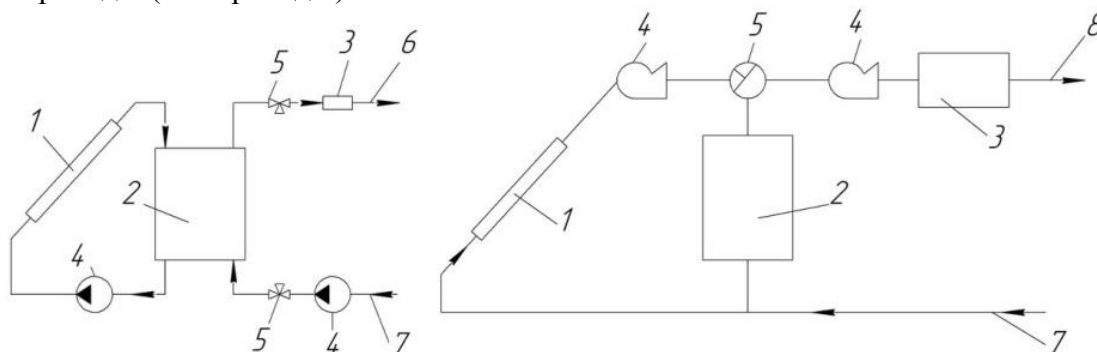
Завдання та мета дослідження

Метою роботи є аналіз діючих систем опалення та кондиювання будівель на базі сонячних колекторів та абсорбційних теплових насосів та машин.

Завданням є побудова комбінованої схеми на базі діючих класичних систем для енергозабезпечення будівель на протязі цілого року.

Методологія

Принципові схеми рідинної та повітряної систем сонячного опалення (Рисунок 1а, 1б) складаються з сонячного колектора, акумулятора теплоти, насосів (вентиляторів), додаткового джерела енергії, регулюючої арматури, подаючого і зворотнього трубопроводів (повітроводів).

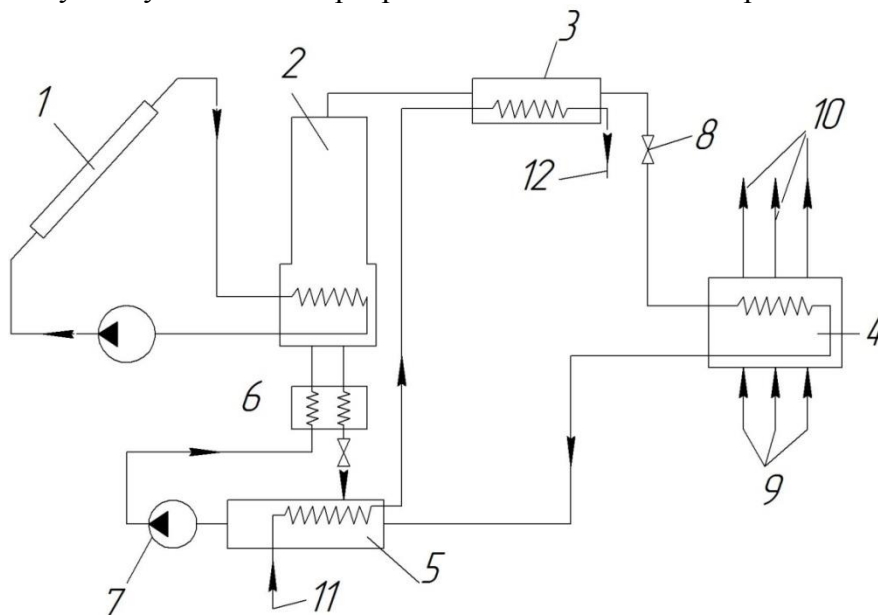


- 1 – колектор сонячної енергії;
- 2 – акумулятор теплоти;
- 3 – дополнительный источник энергии;
- 4 – насос (вентилятор);
- 5 – регулирующий клапан;
- 6 – подача нагретого теплоносителя;
- 7 – возврат охлажденного теплоносителя;

Рисунок 1а(1б) - Принципові схеми водяної (а) та повітряної (б) активних систем сонячного опалення

На рисунку 2 зображена схема абсорбційної водо – аміачної геліосистеми охолодження приміщень. В даній системі аміак слугує холодоагентом, а вода – абсорбентом. Нагрітий в сонячному колекторі теплоносій з температурою 80°C поступає в генератор. Із абсорбера сильний розчин холодоагенту (аміаку) в воді подається насосом в теплообмінник, де нагрівається до температури 70°C і поступає в генератор, в якому при нагріванні із розчину виділяється аміачний пар. Слабкий розчин аміаку через теплообмінник стікає в абсорбер, а пари аміаку з температурою 75°C після відділення краплинок води направляються в конденсатор. Із конденсатора рідкий холодоагент через

дросельний вентиль потрапляє в випарник, де від відбирає теплоту у повітря (води) і знову перетворюється в пар, а охолоджене повітря (вода) направляються в приміщення. Пери аміаку поступають в абсорбер і поглинаються слабким розчином.



1 – солнечный коллектор; 2 – генератор; 3 – конденсатор;

4 – испаритель; 5 – абсорбер; 6 – теплообменник;

7 – насос; 8 – вентиль; 9 – наружный воздух;

10 – охлажденный воздух; 11 – холодная вода; 12 – горячая вода;

Рисунок 2 - Схема водо-аміачної системи кондиціонування повітря.

Теплота, яка виділяється в абсорбері і конденсаторі, відводиться за допомогою води, охолодженої в градирні. В результаті отримуємо нагріту воду. Сильний розчин насосом подається через теплообмінник в генератор.

Результати дослідження:

Було побудовано трьох контурну схему для запровадження постійного енергозабезпечення за допомогою альтернативних джерел енергії. Система забезпечує будівлю безперервним енергопостачанням на протязі року.

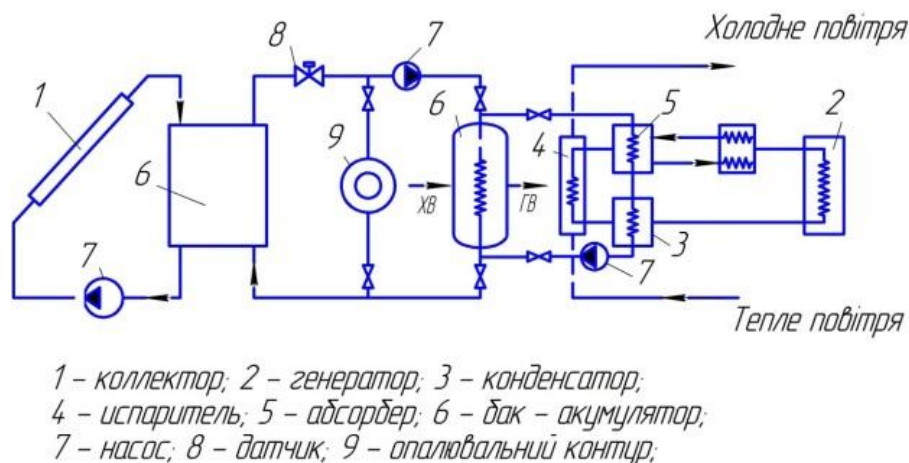


Рисунок 3 - Комбінована сонячна геліосистема з розділеними контурами

На рисунку зображена трьох контурна схема, яка складається з контурів для опалення, гарячого водопостачання і кондиціонування житлового приміщення. Система працює на потреби опалення та ГВП взимку і кондиціонування влітку. За допомогою регулювальних клапанів ми можемо вмикати та вимикати контури.

Теплота, отримана за допомогою СК, надходить до теплового та охолоджувального контурів, де у теплообміннику 6 холодний теплоносіє змішується з гарячим, і вода надходить у систему. Система опалення працює в залежності від внутрішньої температури, і коли показник температури є нижчим від номінального, температурний датчик подає сигнал, який вмикає систему опалення приміщення, і навпаки, коли температура в приміщенні перевищує максимальний показник, датчик подає сигнал, який вимикає контур.

У охолоджувальному контурі, зовнішнє повітря підводиться до випарника 4, де воно змішується з холодоагентом, який відбирає теплоту у повітря, і вже охолоджене повітря іде у приміщення. У цій системі холодоагентом служить аміак, абсорбентом – вода.

Висновок

Експериментальним шляхом було змодельовано систему, яка допомагає споживачу більш ефективно регулювати її роботу за допомогою вимкнення окремих контурів. Головною перевагою є те, що фактично в нас немає надлишків теплоти, які ми утилізуємо, а вся теплота отримана за допомогою сонячного колектора є корисною. Ще одною перевагою є те, що система працює цілий рік, і при оптимальному виборі площі СК і кількості трубок ми знаходимо оптимальне рішення з фінансової точки зору для споживача у комбінації з традиційними джерелами енергії (електроенергія, газ та ін..).

Література

1. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 75с.
2. Чернобыльский И.И., Кремнев О.А., Чавдаров А.С. Теплоиспользующие установки для кондиционирования воздуха. – К.: Издательство академии наук Украинской ССР, 1958 – 25 с.

УДК 621.3

Виноградов-Салтиков В.О., Пабат М. Г.

**ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТВЕРДОПАЛИВНИХ «ПІРОЛІЗНИХ»
ТА ЗВИЧАЙНИХ КОТЛІВ.**

В статті розглянуто актуальність впровадження твердопаливних котлів на Україні, особливості піролізного спалювання та процесу газифікації твердих палив. Визначені основні конструктивні, теплотехнічні та екологічні показники твердопаливних «піролізних» та звичайних котлів. Зроблено аналіз та представлено висновки, стосовно класифікації даного котельного обладнання.

Ключові слова: водогрійні котли малої тепловидатності, твердопаливні котли, жаротрубні котли, піроліз, газифікація, піролізні котли, теплотворна здатність палива, ККД котла.

**ОБЗОР И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ
ПИРОЛИЗНЫХ И ОБЫЧНЫХ КОТЛОВ**

В статье рассмотрены актуальность внедрения твердотопливных котлов на Украине, особенности пиролизного сжигания и процесса газификации твердого топлива. Определены основные конструктивные, теплотехнические и экологические показатели твердотопливных «пиролизных» и обычных котлов. Сделан анализ и представлены выводы, относительно классификации данного котельного оборудования.

Ключевые слова: водогрейные котлы малой теплопроизводительности, твердотопливные котлы, жаротрубные котлы, пиролиз, газификация, пиролизные котлы, теплотворная способность топлива, КПД котла.

**REVIEW AND ANALYSIS OF PERFORMANCE SOLID PYROLYSIS AND
CONVENTIONAL BOILERS**

The article discusses the relevance of the introduction of solid fuel boilers in Ukraine, particularly the burning of pyrolysis and gasification of solid fuels. The main structural, thermal and environmental performance of solid "pyrolysis" and conventional boilers. The analysis and findings are presented concerning the classification of the boiler equipment.

Tags: boilers low calorific boilers, fire tube boilers, Pyrolysis, Gasification, Pyrolysis boilers, calorific value of the fuel efficiency of the boiler.

Сучасна популярність твердопаливних водогрійних котлів малої тепловидатності на ринку України обумовлена, як потребою невеликих підприємств так і власників котеджів та багатоповерхових будинків, а також незрозумілими діями уряду, пов'язаних з подорожчанням природного газу для комунальних споживачів та малих підприємств. Перевагу в більшості віддають вітчизняним виробникам, які, з відомих побажань користувачів, що до надійності, помірної вартості, простоті в експлуатації, можливість використовувати різні види палива, додають систему автоматичного завантаження палива, сучасну автоматичну систему контролю та регулювання процесів горіння та використання котла не тільки для вироблення води на опалення, а і для ряду технологічних процесів, наприклад для сушки деревини, фруктів та овочів, сушіння зернових тощо. Відповідно пропонують комплекс технологічного обладнання для цих процесів.

Також є актуальною, призабутою на Україні з використанням у 60-90 роках минулого сторіччя дешевого та зручного при транспортуванні та спалюванні природного газу, можливість використання місцевого твердого палива такого, як торф, буре та кам'яне вугілля. Слід також згадати про використання деревини: санітарні рубки, особливо в міській місцевості та повздовж залізничних та автомобільних доріг, або використання так званої «енергетичної» верби — посадок верби на заболоченій місцевості та біля річок та очерету. Значні залишки сільськогосподарської переробки у вигляді соломи та зернової переробки у вигляді лузги, кукурудзяних качанів та соняшникового лушпиння, є доповненням до отримання теплової енергії шляхом спалювання так званої твердої біомаси.

На останній 17-тій міжнародній виставці з опалення та вентиляції, кондиціонування, водопостачання, відновлювальної енергетики — Aqua-therm твердопаливні котли були представлені 80 фірмами та 19 фірмами, що виготовляють пальники для твердопаливних котлів. Порівняно котли на газі були представлені 34 фірмами, а електричні котли представляли 21 фірми. В більшості українські фірми пропонували декілька видів котлів за споживанням енергії. Всі ці фірми розглядали котли, типорозміри яких були від 10 до 1000 кВт по виробленню теплової енергії — нагріву води, декілька по виробленню пари низького тиску. Саме такі котли призначені для комунальних споживачей та малих підприємств.

Доволі складною є задача врахувати всі переваги та можливості сучасних твердопаливних котлів та вибрати найліпший, особливо по рекламним проспектам та по бахвальним статтям без опису конструкції та без наведення повної характеристики теплотехнічних випробувань.

Основним завданням та метою дослідження є розібратися в існуючих пропозиціях виробників, що до порівняння різних марок котлів, розглянути їх вади і переваги та визначити складові показників їх енергоефективності.

1. Одним з рекламних ходів є назва котла «піролізний», який в минулому мав назву – котел тривалого (затяжного) горіння, або з газифікацією. Піролізом називають «суху перегонку», карбонізацію, коксування, крекінг, дегазацію, дегідрогенізацію, полімеризацію, ізомеризацію та конденсацію виконані в промисловості для отримання вугілля з деревини, коксу з вугілля, вугілля торфу з торфу; штучного газу (в першу чергу вугільного газу), зі сланців та деревини — деревного газу; вуглеводневий газ з високим вмістом неграничних вуглеводнів, етилен, пропілен, бутилен і бутадієн і ін., смоли — бензол, толуол, ксилоли, нафталін, антрацен і ін.; газойлю і ін. Тобто, отримання сировини для хімічної промисловості, а не її спалювання. Тепло допомагає зруйнувати ланцюжок молекул полімерів і створюються менші органічні молекули. Піроліз підтримує горіння до зникнення органічного тіла. Велику частину часу займає сам піроліз — розкладання матеріалу теплом полум'я, але не в полум'ї.

Процес піролізу, що до хімічних технологій, суттєво відрізняється від того що відбувається в котлі затяжного горіння: 1) час протікання процесу піролізу в котлах значно розтягнуто в порівнянні, для деяких хімічних технологій, в яких час розігріву сировини в печах дорівнює секунди та долі секунди; 2) температура процесу піролізу в хімічних виробництвах сягає 870 – 900 °C, а температура процесу тління палива в котлах на рівні 140 – 500 °C, особливо для дров'яних котлів де найвища температура полум'я не перевищує 750°C.

Газифікацією є процес перетворення вуглецевих або органічних матеріалів в синтез-газ, що складається в основному з окису вуглецю (CO) і водню (H₂). Та його згоряння — процесу високотемпературного окислення горючих елементів що відбувається в присутності надлишку повітря. Це відбувається при двохстадійному процесі поєднанні піролізу і згоряння газу. Перша стадія — високотемпературне нагріванні палива при недостатній кількості окислювача (кисню повітря) без горіння, за

рахунок тління самого палива та вироблення синтез-газу. В другій стадії, що відбувається у додатковій камері в яку подається із зовні повітря (додатковий окислювач), за рахунок розігріву синтез-газу відбувається його займання, горіння та повне згоряння. В деяких випадках в хімічній промисловості газифікацію розглядають за температурою вище за 1000°C для вироблення синтез-газу.

Температура газифікації для деревини та залишків сільгоспвиробництва починається з 140° та її можливе протікання при температурі 500°C без доступу повітря. В залежності від кінцевої температури нагрівання твердих горючих компонентів торфу, камяного вугілля, антрациту в промисловості розрізняють чотири головних процеси піролізу: напівкоксування до 500–550 °C; середньотемпературне коксування 700–750 °C; високотемпературне коксування до 900–1100°C і графітизація 1300–3000 °C. При цьому поведінка кам'яного і бурого вугілля при нагріванні принципово різна, це особливо пов'язано з градацією цих палив за вмістом літких речовин. Загалом, температура горіння для твердопаливних котлів не бажано щоб була вищою за 1000 °C це пов'язано з деформаційними напруженнями металу котла та вигоранням колосникових решіток.

Дані дві технології є основою в будові піролізних котлів.

2. Будова та конструктивні особливості твердопаливних котлів. Для більшості твердопаливних котлів розглядається двокамерне згоряння палива. В першій камері або саме топці, в яку завантажуються паливо, відбувається процес запалювання та горіння палива на початковому етапі для «піролізних», або для основного етапу для звичайних котлів. В цій же камері відбувається тління палива – піроліз за недостатню кількість повітря — процес виділення газів з палива, для «піролізних» котлів це основний режим їх роботи. Ця камера призначена для завантаження, тому основні розміри котлів якраз і виходять згідно об'єму (кількості) одночасного завантаження палива, розрахованого на час тривалого горіння. В другій камері для піролізних газогенераторних котлів відбувається процес згоряння синтез-газу та відбирання більшої частини цієї теплоти. Для деяких конструкцій котлів розглядається третя камера або утилізатор (економайзер) для відбирання теплоти відхідних газів, температура яких більша за 200 °C. Такий самий процес утилізації теплоти відхідних газів відбувається в другій камері для звичайних котлів.

В більшості твердопаливних котли мають зовнішню водяну оболонку для першої та другої (для деяких котлів ще й третьої) камер. В другій (та третій) камері всередині

встановлено додаткові поверхні нагріву у вигляді димогарних труб, зовні яких знаходиться вода, або коробка в середині яких знаходиться вода, які з'єднані із зовнішньою водяною оболонкою. По своїй будові — це жаротрубні котли з димогарними трубами або ступінчастими поворотними димовими каналами, яку можливо розглядати, як спрощену конструкцію жаротрубних паровозних та судових котлів у горизонтально–вертикальному конструктивному виконанні.

Міцність та надійність конструкції обумовлена виготовленням котла із котлової сталі товщиною 4–6 мм, невідомо саме якої та чи вона розрахована на температури вище за 1000°C та на взаємодію зі сіркою та ванадієм, які містить у своєму складі вугіллі. Важливо що виробники котлів дають гарантію на роботу свого обладнання на 2–3 роки.

Для більшості твердопаливних котлів, як доповнення є автоматизований дозатор–бункер для палива, який відповідно до закладеної програми періодично підсипає або одноразово завантажує паливо.

Котельне обладнання для малої теплоенергетики було орієнтовано на спалювання газового палива і як резервного рідкого палива, для яких була розроблена система автоматичного контролю, регулювання та подачі палива. Для твердопаливних котлів таке регулювання здійснюється вручну за певного практичного досвіду експлуатації.

Більшість твердопаливних котлів на ринку України котли мають регулювання подачі повітря, як в першу камеру загоряння та тління, так і в камеру догоряння, що здійснюється дуттьовим вентилятором. Це забезпечує контроль процесів горіння та автоматичне його регулювання, а саме використання пальникових систем з подачею палива та вихід на оптимальні режими роботи котлів. Нажаль інформація про роботу для оптимальних режимів обмежена та полягає ще в їх дослідженнях.

Перелічені особливості конструкцій котлів та процесу повільного тління та горіння палива в подальшому мабуть будуть доповненні в назві котлів.

3. Показники твердопаливних котлів за видом палива та його калорійністю.

Тепловидатність водогрійних котлів зазвичай визначають за кількістю води, яка проходить через котел та за кількістю теплової енергії, яку вона отримала при спалюванні палива в середині котла. При зміні виду палива обов'язково потрібно враховувати на скільки змінилась його теплотворна здатність (калорійність, теплота згоряння) порівняно до розрахункового палива. Бо при розрахунках котельного обладнання виробники розглядають конкретний вид палива та розраховують для нього

топку та конвективні поверхні нагріву. Крім того паливо розрізняється по місцю видобутку та відповідно вмісту горючих елементів та баласту.

Виробники котельного обладнання також обов'язково розглядають резервне паливо близьке за калорійністю до розрахункового, інакше тепловидатність буде нижче або вище показників тепловидатності котла. При спалюванні більш калорійного палива потрібно враховувати температуру піролізу – затяжного горіння, та температуру полум'я (догорання), які будуть вищими. При цьому підвищення температури може привести до напруження метала та його прогоряння. Наприклад при спалюванні дров температура горіння 750 – 850 °С, а кам'яного вугілля вище 1000 °С.

При заміні вугілля на дерев'яне паливо потрібно враховувати зменшення тепловидатності, як мінімум на 30–50%, бо калорійністю дров є меншою за вугілля. Та за кількістю дерев'яного палива потрібно вдвічі більше.

Слід ще не забувати, що навіть для одного виду палива, потрібно враховувати склад горючих елементів, вологість, зольність та вихід летких речовин тощо.

Важкою для більшості з приведених енергетичних паливних ресурсів є їх використання в дрібному стані та спалювання насипом, що призводить до втрат при транспортуванні, зберіганні та спалюванні, які потребують гранулювання, або краще брикетування – можливість створення збагачення за рахунок сполучених елементів та композиції різних палив.

Для твердопаливних котлів резервним передбачено теж тверде паливо — з більшою або меншою калорійністю, використання газу чи рідкого палива не передбачається.

4. ККД котла. Діапазон ефективності для дров'яних та кам'яновугільних котлів 76 – 91%. Менше значення рекомендовано для дров'яних котлів. Це зменшення криється в меншій калорійності дров'яного палива (за рахунок вологи, порожнистості) та наявності меншої температури горіння (жаровидатності), навіть збагаченої у вигляді брикетів та пелет (позбавлених порожнин та частково вологи) твердої біомаси, порівняно з вугіллям. Збільшення значення ККД до 90% для деревини можливо розглядати тільки в кінцевій стадії піролізу палива, коли закінчився вихід основних летких речовин та проходить піроліз дров'яного вугілля, а саме вуглецю.

Однією з вад для котлів «піролізних» є подача додаткового повітря в камеру догорання (камеру горіння синтез газу). Ця величина по надлишку повітря складає від

1,25 – 1,6, тобто 20 – 55% повітря нагрівається до температури спокою та викидається в трубу з температурою близькою до 200°C це 3 – 4% втрат теплоти та зниження ККД

Для котлів зтяжного горіння тривалість їх роботи обумовлена кількістю завантаженого палива, або періодичністю поповнення новою порцією палива. Час роботи запропонований виробниками 2–8 (4–12, 8–24) годин. Стандартне визначення показників роботи котла у робочому режимі, коли котел прогрівся та більше двох годин працює з визначеною кількістю палива. Для котла з зтяжним горінням важко визначити скільки палива згоріло за годину, тому ефективність роботи котла потрібно визначати для різних періодів його роботи, пов'язаних як із загрузкою палива, так і часом роботи котла.

5. Вимоги до води загалом не розглядаються. На наш погляд, це обумовлено малим водяним об'ємом та значними поверхнями нагріву на яких не може утворитись суцільна корка накипу. Але забруднення можливе, яке в подальшому потрапить у систему тепlopостачання та і сам котел матиме сольові відкладення в нижніх частинах водяної сорочки.

6. Екологічні аспекти. Виробники розглядають екологічну чистоту піролізних котлів та особливо підкреслюють чистоту спалювання твердої біомаси. В дійсності, при роботі котлів малої тепловидатності вміст забруднюючих речовин менший ніж у промислових агрегатів це пов'язано з меншою кількістю палива, що спалюється, меншою температурою горіння палива на рівні 700 – 1000 °C та меншим виділенням окислів азоту, та мабуть найголовніше відсутність контролю та незнання і впевненість, що спалювання екологічно чисте.

В проспектах, на сайті фірм виробників та на виставці при спілкуванні з фахівцями не було інформації щодо викидів та засобів, що до їх утилізації, виключно при спілкуванні на деяких фірмах пропонують циклони для утилізації зольних залишків, як додаткове обладнання. Якщо розглядати котел тепловидатність 1000 кВт то для спалювання необхідно 250 кг/год дров'яного палива, зольність якого не більше 1%. В залишках залишатися 2,5 кг золи за годину, при спалюванні зернових залишків ця величина може збільшитись у декілька разів. Для тривалого горіння ця частка буде меншою, бо більша частина буде падати у золоприймач, але не слід забувати про винос за рахунок роботи дуттьового вентилятора, а це на рівні 0,1 – 0,3% складатиме близько 180– 540 кг за місяць.

В складі бурого та кам'яного вугілля зольність знаходиться в межах 10–25%, ще вони містять сірку на рівні 0,4...4,3 %. Є деякі пропозиції до спалювання будь-якого палива можливість спалювання побутових відходів з наявністю значної кількості хімічних складових. На наш погляд не вистачає екологічного та санітарного контролю та обмежень стосовно таких пропозицій без реалізації заходів з нейтралізації забруднюючих речовин.

Висновки.

1. Значна частина інформації о твердопаливних піролізних котлах має яскраво виражений рекламний характер, тому сформувані об'єктивне уявлення та визначити переваги одного перед іншим доволі важко.

2. Назва «піролізний» котел не зовсім відповідає процесам, що відбуваються при спалюванні твердого палива в даних котлах та потребує доповнення, а можливо уточнення до назви.

3. На Україні немає стандартів по якості дров'яного палива, в тому числі пелет та брикетів, теж саме відноситься до реалізації торфу, кам'яного вугілля та іншого палива через комерційні структури. Тому значення теплотворної здатності палива, ККД котла потребують додаткових досліджень за участю покупців котельного обладнання.

4. Різноманіття форм твердопаливних котлів, їх компонування та широкий вибір типорозмірів наявність додаткового допоміжного обладнання потребує систематизації та більш чіткому визначенню у висвітленні основних параметрів котельного обладнання.

УДК 697.1

Шовкалюк М.М., Войналович Н.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСІВ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ на
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ УЧЕБНЫХ КОРПУСОВ
RESEARCH OF INFLUENCE OPERATIONAL FACTORS ON ENERGY
CONSUMPTION OF EDUCATIONAL BUILDINGS

Анотація

Головним завданням даної роботи є дослідження факторів, що впливають на енергоспоживання будівель навчальних корпусів. Проведено аналіз на основі розробленої математичної моделі у відповідності до діючих нормативних вимог для оцінювання впливу різних архітектурно-будівельних та експлуатаційних факторів на витрати теплоти будівлями навчальних закладів. За допомогою кластерного та регресійного аналізу, виконаних за статистичними даними об'єктів НТУУ «КПІ», запропоновано підходи для здійснення моніторингу та аналізу теплоспоживання для навчальних корпусів.

Ключові слова: навчальні корпуси, теплоспоживання, експлуатаційні фактори, кластеризація, регресійний аналіз.

Аннотация

Главной задачей данной работы является исследование факторов, влияющих на энергопотребление зданий учебных корпусов. Проведен анализ на основе разработанной математической модели в соответствии с действующими нормативными требованиями с целью оценки влияния различных архитектурно-строительных и эксплуатационных факторов на расходы теплоты зданиями учебных заведений. С помощью кластерного и регрессионного анализа, выполненных по статистическим данным объектов НТУУ «КПИ», предложены подходы для осуществления мониторинга и анализа теплопотребления для учебных корпусов.

Ключевые слова: учебные корпуса, теплопотребление, эксплуатационные факторы, кластеризация, регрессионный анализ.

Summary

The main objective of this work is to study the factors that affect the energy consumption of educational buildings. An analysis based on mathematical models developed in accordance with applicable regulatory requirements to evaluate the effect of different architectural-construction and operational factors on the cost of heat buildings schools. Using cluster and regression analysis performed by the statistical data objects NTU "KPI" proposed approaches for monitoring and analysis of heat consumption for educational buildings.

Key words: academic buildings, heat consumption, operational factors, clustering, regression analysis.

Вступ

У зв'язку з необхідністю економії енергоресурсів, актуальним стає контроль та моніторинг надходження теплової енергії в будівлі на кожному етапі. Оскільки заклади бюджетної сфери, а саме вищі навчальні заклади, не отримують достатнього фінансування, то доцільним є виявлення можливих шляхів економії витрат, при цьому не змінивши умов комфортності, а в деяких будівлях встановити їх відповідно

нормативним [1].

Завдання та мета дослідження

Важливим аспектом дослідження ефективності енергоспоживання об'єкту є аналіз факторів, що впливають на споживання енергії. Оскільки витрати на теплову енергію займають значне місце в загальних витратах на енергоносії навчальних корпусів, то доцільним є розгляд та аналіз факторів, які впливають саме на теплоспоживання об'єктів.

Результати дослідження

Дослідження здійснювалось на основі даних енергоспоживання навчальних корпусів НТУУ «КПІ». На початку аналізу була зібрана вся можлива інформація по навчальним корпусам КПІ за 7 років [2]: площа, об'єм приміщень, площа огорожень (стін, вікон по фасадам), енергоспоживання, кількість людей, коефіцієнт скління, компактність будівель, теплофізичні характеристики шарів зовнішніх стін, термічний опір вікон, погодні умови, характеристики споживачів.

Було створено програму для можливості аналізу впливу вагомих факторів на питомі витрати теплоти навчальних корпусів за методикою, що відповідає діючим нормативним вимогам [3] щодо визначення теплоспоживання громадських будівель. Нижче на рисунку 1 наведено блок-схему створеної моделі.



Рис.1. Блок-схема проведення аналізу впливу вагомих факторів на питомі витрати теплоти навчальних корпусів

У якості базового варіанту для дослідження обрано навчальний корпус №22 ІЕЕ НТУУ «КПІ», для якого була зібрана детальна інформація щодо теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, площ та об'ємів приміщень, характеристики системи опалення, теплові надходження від побутових приладів і людей, тощо. За розробленою моделлю було виконано розрахунок теплоспоживання будівлі.

Далі проводився аналіз впливу різних вагомих факторів на питоме теплоспоживання.

Для прикладу приведемо порівняльний аналіз впливу стану огорожень на питомі витрати теплоти для різних кліматичних умов. Базовий варіант – фактичний стан огорожувальних конструкцій навчального корпусу 22 КПІ (будівля масової забудови з великою площею засклення, опір теплопередачі стін та вікон значно нижче діючих на сьогодні норм [1]). Також розглянуто варіант після теплової санації будівлі (значення опору теплопередачі усіх огорожувальних конструкцій дорівнює нормативним значенням). Результати проведеного розрахунку приведені на рис.2.

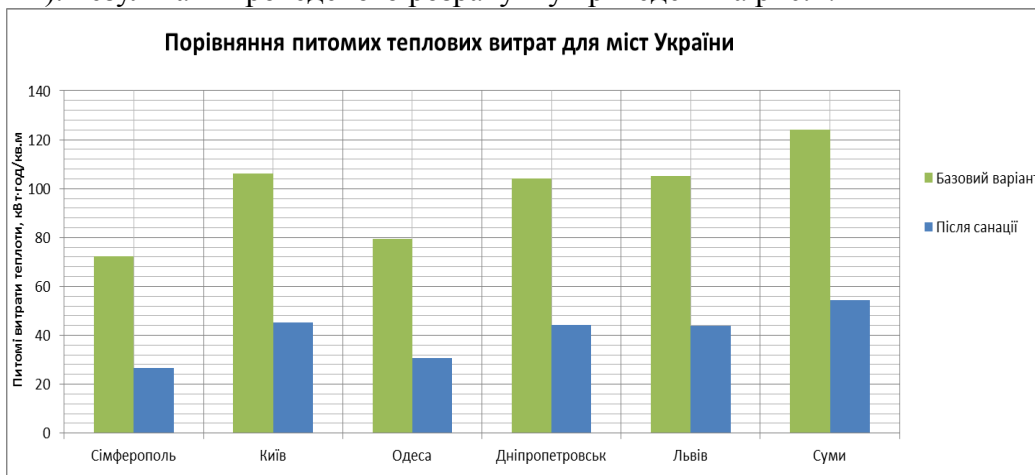


Рис. 2 – Порівняння питомих теплових витрат для міст України

Аналіз зміни питомого теплоспоживання відносно базового варіанту зведено у таблицю 1.

Таблиця 1.

Місто	Базовий варіант q_{sp} (кВт·год)/м ²	Після санації q_{sp} (кВт·год)/м ²	Δq , %
Сімферополь	72,4	26,8	-170,149
Київ	106	45,1	-135,033
Одеса	79,3	30,7	-158,306
Дніпропетровськ	104	44,2	-135,294
Львів	105	44	-138,636
Суми	124	54,5	-127,523

Аналогічні дослідження були проведені для інших факторів, таких як коефіцієнт скління, кількість опалювальних днів, опалювальна площа.

В якості прикладу розглянемо залежність питомих витрат теплоти від коефіцієнту скління будівлі. На рисунку 3 представлена залежність питомих витрат теплоти від коефіцієнту скління $m_{скл}$ при різних значення опору теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій R , (м²·К)/Вт.

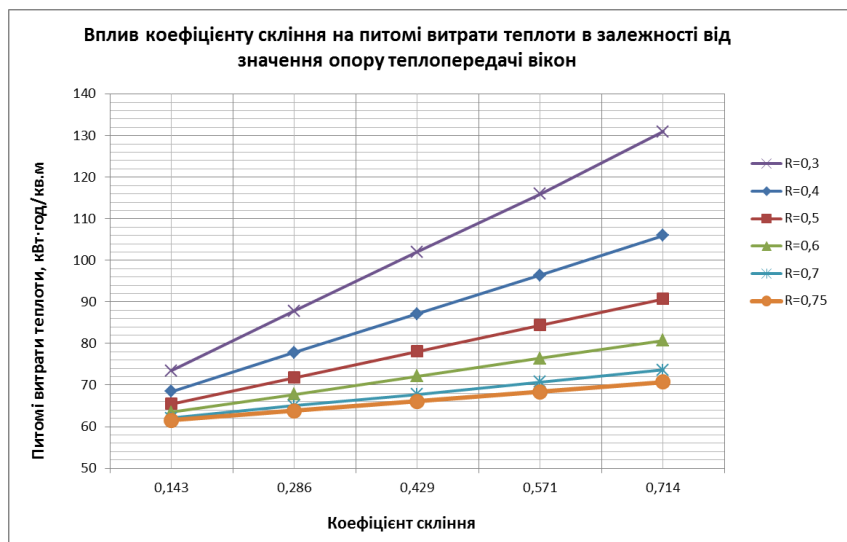


Рис. 3 – Вплив коефіцієнту скління на q , кВт·год/м², в залежності від значення опору теплопередачі вікон

У випадку, коли опір теплопередачі вікон дорівнює 0,75 (м²·К)/Вт при зміні коефіцієнту скління на 80%, питомі витрати теплоти збільшаться на 13,01%, в той час як для випадку, коли опір теплопередачі вікон дорівнює 0,3 (м²·К)/Вт, при такій же зміні коефіцієнту скління, питомі теплові витрати збільшаться на 43,89%.

Для побудови регресійних залежностей за допомогою пакету програм Statistica 6 було прийнято рішення розподілити корпуси за певними ознаками і в межах кожної групи провести регресійний аналіз. Кластерний аналіз здійснювався за трьома факторами: споживання теплової енергії, споживання електричної енергії та об'єм приміщень. В результаті всі корпуси КПП були поділені на 5 кластерів (рис.4).

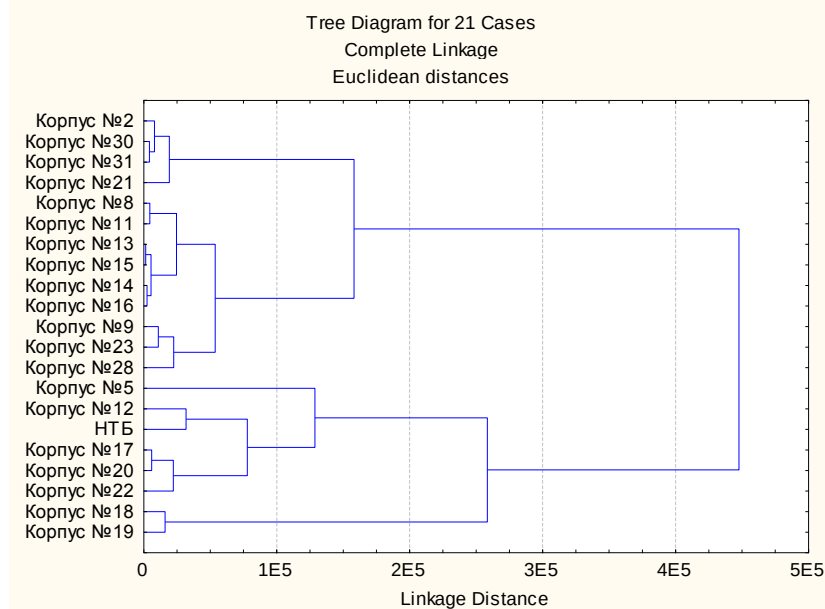


Рис. 4 - Дендрограма результатів кластерного аналізу

В ході проведеного дослідження для кожного кластеру були побудовані регресійні моделі, які дозволяють прогнозувати теплоспоживання об'єкту в залежності від зміни погодних умов з урахуванням конструктивних особливостей будівлі.

На першому етапі дослідження в межах кожного кластеру було отримано загальну

модель для опалювального періоду. Середнє відхилення основної прогнозного та фактичного теплоспоживання знаходиться в межах 15%, проте для окремих об'єктів є досить значним, зважаючи на те, що у базі даних відсутня точна інформація відносно фактичної кількості діб опалювального періоду за кожен місяць і фактичних температурних умов ($t_{вн}$) у кожній будівлі. Ці дані у майбутньому потрібно моніторити і збирати для можливості уточнення результатів розрахунків за подібними моделями. На рис.5 зображено порівняння фактичного та прогнозованого річного споживання теплової енергії на прикладі першого кластеру.

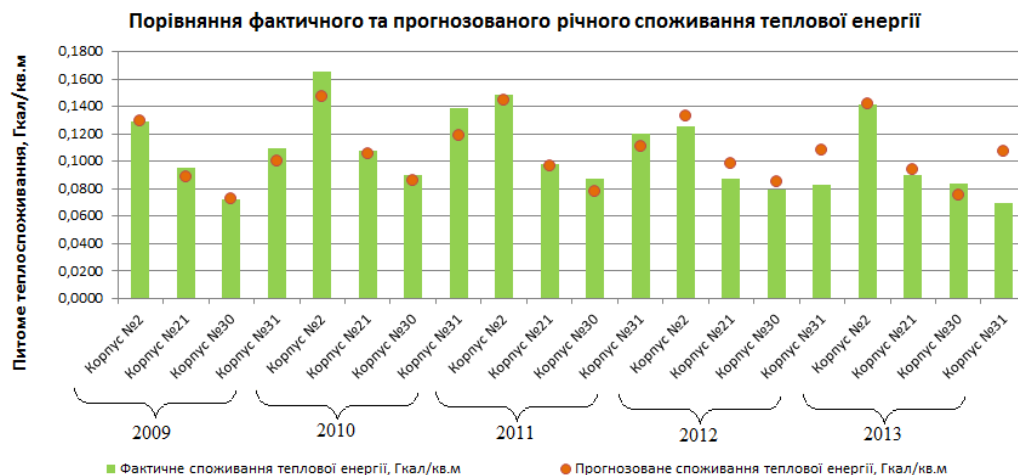


Рис. 5. Відхилення прогнозного теплоспоживання від фактичного

Для інших кластерів результати аналізу подібні до результатів, отриманих для 1 кластеру.

На другому етапі дослідження було вирішено поділити місяці опалювального періоду на дві групи: зимовий та весняно-осінній період. Для зимових місяців розраховане за побудованими регресійними залежностями теплоспоживання досить точно співпадало з фактичним. Кількість градусо-днів в перехідні місяці коливається в межах від 117 до 622, відповідно теплоспоживання також знаходиться в широкому діапазоні, тому вивести загальне рівняння для перехідного опалювального періоду не вдалося ($R^2 \approx 0,5$, а також відхилення прогнозного теплоспоживання від фактичного досить значне).

Для отримання більш точних результатів доцільно розглядати кожен корпус окремо, не об'єднуючи в кластери, що і було здійснено на третьому етапі, хоча цей підхід досить трудомісткий. На рис.6 (на прикладі корпусу №2) представлені результати, отримані на цьому етапі.

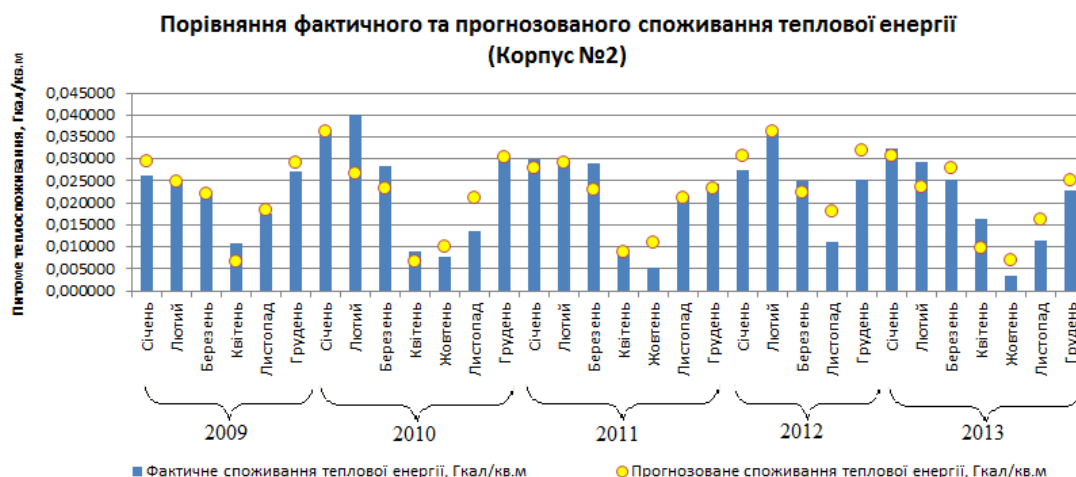


Рис. 6. Відхилення прогнозного питомого теплоспоживання від фактичного для корпусу №2

Отримані рівняння регресійного аналізу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Узагальнена таблиця регресійного аналізу за кластерами

Кластер	Загальне рівняння	Коефіцієнт детермінації, R^2	Середнє відхилення прогнозного питомого тепло споживання від фактичного, %
1	$y = 0,000034 \cdot x_1 - 0,345872 \cdot x_2 + 0,000019 \cdot x_7 + 0,064902$	0,774	12
2	$y = 0,000021 \cdot x_1 - 0,000003 \cdot x_3 + 0,067193$	0,7739	10
3	$y = 0,000022 \cdot x_1 - 0,000014 \cdot x_4 - 0,000003 \cdot x_6 + 0,000002 \cdot x_5 - 0,049295$	0,8965	7
4	$y = 0,000031 \cdot x_1 - 0,100588 \cdot x_2 - 0,000002 \cdot x_3 + 0,011643$	0,9004	9
5	$y = 0,000023 \cdot x_1 - 0,000009 \cdot x_3 - 0,041781 \cdot x_2 + 0,000002 \cdot x_7 + 0,037468$	0,8484	11

де y – питоме теплоспоживання (q), Гкал/м²;

x_1 – градусо-доба, °С·доба;

x_2 – коефіцієнт скління;

x_3 – площа приміщень, м²;

x_4 – площа вікон, м²;

x_5 – об'єм приміщень, м³;

x_6 – площа стін, м²;

x_7 – кількість людей в приміщенні, чол.

Для того, щоб працівники служб енергоменеджменту інших ВНЗ змогли скористатися приведеними вище рівняннями з метою прогнозування теплоспоживання, було розроблено діаграму приналежності навчального корпусу до певного кластеру, що приведено на рис. 7.

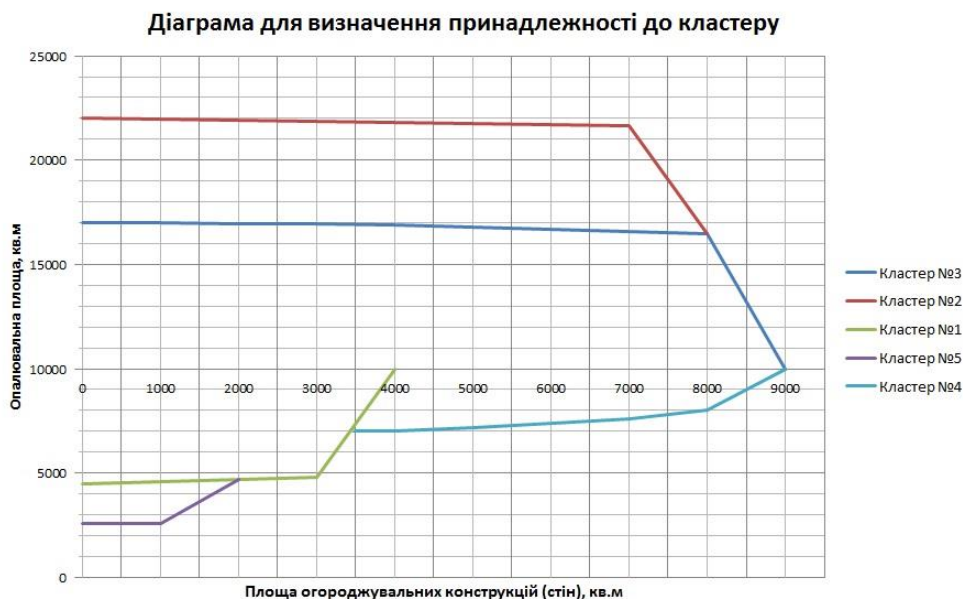


Рис. 7. Діаграма для визначення приналежності навчального корпусу до кластеру
Висновки.

Проведено дослідження факторів, що впливають на теплоспоживання навчальних корпусів. Виконано розподіл навчальних корпусів ВНЗ за подібними ознаками та в межах кластеру запропоновані регресійні залежності, що дозволяють прогнозувати теплоспоживання навчальних корпусів з метою здійснення якісного моніторингу і аналізу службою енергоменеджменту університету. Приведено діаграму для визначення приналежності навчальних корпусів ВНЗ до кластерів.

Список використаної літератури

1. Будинки і споруди. Будинки та споруди навчальних закладів / ДБН В.2.2-3-97 [Чинний з 01.01.1998 р.] – К.: Держкоммістобудування України, 1997, - 90 с.
2. Програма з енергоефективності НТУУ «КП» на 2012-2015 р. – К., 2012. - 108 с.
3. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції : ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чинний з 01.01.2008]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с. – (Державний стандарт України).

УДК 621.577

Т.В. ДМИТРЕНКО
Т.В. ДМИТРЕНКО
T. V. DMITRENKOРОЗРАХУНОК ТЕПОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ
ГРУНТОВИМ КОЛЕКТОРОМ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО
ВОДОПОСТАЧАННЯ
РАСЧЕТ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНИМ
ГРУНТОВИМ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
CALCULATION HEAT PUMP INSTALLATIONS WITH HORIZONTAL SOIL
COLLECTORS FOR HEATING AND HOT WATER

Анотація. В даній статті показано, що під час проведення енергоаудиту одного з об'єктів було виявлено значний потенціал енергозбереження в системі тепlopостачання, оскільки відсоток споживання теплової енергії в загальному балансі енергоспоживання є найбільшим і частка плати за теплову енергію в сумі оплати за енергоресурси теж досить значна. . Надходження теплоти та тепловтрати, від яких залежить температурний режим в споруді залежать від таких фізичних властивостей будівельних матеріалів, як теплопровідність, термічний опір, коефіцієнт випромінювання поверхнею огорожуючих конструкцій, коефіцієнт конвективної тепловіддачі огорожуючої поверхні, теплоємність матеріалу огороження.

Ключові слова: теплонасосна установка, теплопровідність, теплоємність, термічний опір, низькопотенціальне тепло, економічність.

Аннотация. В данной статье показано, что во время проведения энергоаудита одного из объектов был выявлен значительный потенциал энергосбережения в системе теплоснабжения, поскольку процент потребления тепловой энергии в общем балансе энергопотребления является крупнейшим и доля платы за тепловую энергию в сумме оплаты за энергоресурсы тоже весьма значительна. . Поступление теплоты и теплотопери, от которых зависит температурный режим в здании зависят от таких физических свойств строительных материалов, как теплопроводность, термическое сопротивление, коэффициент излучения поверхностью ограждающих конструкций, коэффициент конвективной теплоотдачи ограждающей поверхности, теплоемкость материала ограждения.

Ключевые слова: теплонасосная установка, теплопроводность, теплоемкость, термическое сопротивление, низкопотенциального тепла, экономичность.

Annotation. This article shows that during the energy audit of one of the objects was found a significant energy saving potential in the heating system, as a percentage of heat energy in the total energy consumption is the largest and the share of payment for thermal energy in the amount of payment for energy resources is also very significant. . Proceeds heat and heat loss, which depend on the temperature in the building depend on the physical properties of construction materials such as thermal conductivity, thermal resistance, coefficient of surface radiation walling, fencing convective heat transfer coefficient of surface heat of fencing material.

Keywords: heat pump installations, thermal conductivity, heat capacity, thermal resistance, low-grade heat efficiency.

Вступ

З плином часу все частіше і частіше гостро порушується питання актуальності використання різноманітних альтернативних джерел енергії. Одним з ефективних і екологічних джерел є тепловий насос. Теплові насоси дозволяють переносити тепло від

більш холодного тіла до більш гарячого допомогою випаровування і конденсації, використовувати теплоту практично всіх навколишніх середовищ: води, повітря, ґрунту. Теплонасосні установки давно довели свою ефективність завдяки тому, що передають споживачеві в 3-5 разів більше енергії, ніж витрачають самі на її передачу. Крім того, в теплових насосах використовуються екологічно чисті технології практично без викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Завдання та мета дослідження

Основною метою дослідження є аналіз різних типів теплонасосних установок, виділення основним переваг та недоліків, а також обґрунтування вибору теплоустановки з горизонтальним ґрунтовим колектором для опалення та гарячого водопостачання.

Результати дослідження. Теплові насоси, як правило, поділяються або позначаються в залежності від використововуваного джерела низькопотенціального тепла. До стандартних джерел відносяться:

а) Геотермальне тепло - для насоса «ґрунт-вода» тепло, що міститься в ґрунті, тобто в твердому речовині, як правило, не використовується прямо. Таке тепло спочатку перетворюється в спеціальному теплообміннику (колекторі), а за допомогою теплоносія передається через циркуляційні схему у випарник теплового насоса. Теплоносієм є незамерзаюча, екологічно шкідлива рідина. Циркуляцію теплоносія забезпечує циркуляційний насос. Циркулююча рідина охолоджується в випарнику теплового насоса, а в теплообміннику знову нагрівається.

Тепло утворюється в теплообміннику, виготовленому з пластмасових трубок. Теплообмінник може бути поміщений:

- в глибинній свердловині або свердловинах, глибиною 150м (рекомендується для високих потужностей);

- у площинному колекторі, або в траншейному колекторі (встановленому на глибині від 1,5 до 2 м) (рекомендується для низьких потужностей).

В описах цих насосів часто наводиться, що їхня перевага полягає в тому, що вони вилучають (споживають) тепло з ґрунту, яка на певній глибині під поверхнею має температуру набагато більш високу (10°C), ніж повітря навколишнього середовища, особливо в холодну пору року. Таке твердження не можна назвати об'єктивним. Тепло з-під землі вилучається (у комплекті) абсолютно іншим способом, ніж з повітря. Відведення тепла (знімання тепла) з-під землі завжди пов'язане з охолодженням масиву навколо колектора, тому температура безпосередньо поблизу колектора (який визначає також і температуру теплоносія і низькопотенціального тепла) буде завжди набагато нижче температури незайманого масиву.

Величина температури падає під нульове значення, а тому відбувається промерзання масиву навколо колектора. Температура низькопотенціального тепла, споживаного з-під землі, тому буває вище температури навколишнього середовища лише більш короткий період опалювального сезону. І навпаки, середня температура повітря протягом опалювального сезону буває вище, ніж температура низькопотенціального тепла, споживаного з-під землі. Колектор, встановлений в свердловині, є набагато більш вигідним (але і більш дорогим), ніж площинний, або траншейний колектор.

б) Підземна (колодязна) вода - для насосів типу "вода-вода» Тепло, що міститься в колодязній воді, може за певних умов використовуватися безпосередньо в тепловому насосі, тобто вода може подаватися прямо у випарник теплового насоса. Для цього необхідно, щоб вода мала відповідний склад, була досить чистою, її температура протягом всього року була не менше 8 ° C, а також, щоб її було в достатній кількості.

Воду, охолоджену в тепловому насосі, не можна повертати назад прямо в колодязь відбору! Колодязь б у такому випадку швидко охолодився і джерело потенційного тепла б був недостатнім. Відведення охолодженої води в каналізацію або в водотік не рекомендується - екологічно цінна підземна вода перетвориться на менш цінну поверхневу воду. Тому, найбільш відповідним рішенням є повернення цієї води в іншій (поглинаючий) колодязь, який розташований на достатній відстані, а по можливості так, щоб протягом підземних вод було по напрямку від поглинаючого колодязя до колодязя відбору.

Вода, протікаючи під землею у напрямку від поглинаючого колодязя до колодязя відбору, підігрівається, а крім того не відбувається її втрат.

Так як з усіх джерел низькопотенціального тепла, найвищу температуру в опалювальному періоді має підземна вода, енергетичний ефект насосів типу "вода-вода" є найкращим. Таке джерело зустрічається досить рідко.

в) Поверхнева вода - використовується, як правило, в нестандартних насосах або розрахунках. Поверхнева вода, яка буде використовуватися у вигляді джерела низькопотенціального тепла в ТН, повинна відповідати тим же вимогам, як і вода підземна (склад, чистота, температура, кількість). Значні проблеми виникають не лише з чистотою, але головним чином з температурою, так як в потоках, які не підігріваються відпрацьованим теплом промислових підприємств, падає температура в зимовому періоді і нижче 4 °С, тобто нижче температури, при якій працюють стандартні типи насосів. Перешкодою у використанні джерел типу "струмок за домом", може бути, перш за все його низька проточність, а також і низька температура. Якщо поверхнева вода буде використовуватися при недостатній проточності і при низьких температурах, необхідно застосовувати нестандартні рішення.

Одним з таких рішень може бути подача тепла через незамерзаючу рідину з додатковим теплообмінником, зануреним у водотік (погіршиться енергетичний ефект), або ж із застосуванням насоса зі спеціальним випарником, зануреним у водотік (випарник розраховується так, Щоб у разі виникнення паморозі не відбулося його руйнування). Застосовуючи перераховані вище рішення, необхідно дотримуватись відповідних законодавчих встановлень.

г) Сонячна енергія. Для повноти загальних відомостей торкнемося питання використання сонячної енергії. Її активне використання за допомогою так званих сонячних колекторів (СК) важко, так як сонячна енергія є недостатньою для того, щоб використовувалася у вигляді самостійного джерела енергії низькопотенціального тепла. Необхідна їй комбінація з додатковим джерелом низькопотенціального тепла (НПТ). У такому випадку відбудеться підвищення капітальних вкладень, яке буде неспівмірно незначного підвищення енергетичного ефекту. Тому таке рішення є економічно неефективним. Наведене вище не поширюється на пасивне використання сонячної енергії, яке забезпечується не вирішенням системи опалення, а архітектурним рішенням і будівельним виконанням опалюваного об'єкта. Під поняттям, «пасивний використання сонячної енергії», мається на увазі використання парникового ефекту з метою обігріву внутрішніх будівельних конструкцій, від яких відбувається обігрів внутрішнього простору об'єкта.

д) Відпрацьоване тепло. Відпрацьоване тепло, що виникає переважно при різних технологічних процесах, у ряді випадків може бути підходящим джерелом низькопотенціального тепла. Для опалення приватних будинків надто часто не використовується. Відпрацьоване тепло використовується, головним чином, для опалення промислових об'єктів і майстерень. Можливі розрахунки необхідно проводити,

виходячи з вимог кожної конкретної ситуації.

е) Абсорбційна установка. Для повноти загальних відомостей торкнемося питання використання абсорбційних установок. Мова йде про пластинчастих теплообмінниках, які використовують як енергію, що міститься в навколишньому середовищі - в повітрі і його вологі, в дощ, так і в сонячній енергії.

Енергію з навколишнього середовища отримують використовуючи явища конвекції, випромінювання та тепловіддачі. Абсорбційні установки можуть мати здатність значною акумуляції або ж її не мати. Можуть бути складовою частиною будівельної конструкції (наприклад, енергетичні даху і енергетичні виступаючі стіни) або ж бути повністю незалежними (наприклад, енергетичні паркани, енергетичні стіни, «декоративні» енергетичні зірки, віяла, штабеля і т.д.). Можуть також бути складовою частиною підсобних будівель (звукоізоляційні стіни, підпірні стіни, стіни гаражів і т.д.).

Діють самостійно або в комбінації з масивним підземним акумулятором тепла, який одночасно може бути приймачем тепла з-під землі.

Абсорбційні установки досить ефективно поєднують у собі можливості отримання низькопотенціального тепла як з навколишнього середовища, так і з сонячної енергії. Необхідно нагадати, що передача тепла з абсорбційної установки в тепловий насос завжди відбувається непрямо, також як і відбір низькопотенціального тепла з-під землі, тобто завжди супроводжується двома переміщеннями тепла. На відміну від цього, в тепловому насосі, споживає низькопотенціальне тепло безпосередньо з повітря, на його первинній стороні відбувається «температурна втрата» як мінімум 5°C і більше, що веде як до погіршення опалювального чинника, так до підвищення мінімальної зовнішньої температури, при якій насос ще в змозі функціонувати. Концентрація незамерзаючої рідини повинна бути вище, ніж концентрація рідини при відборі тепла з-під землі (розраховується, як правило, на мінімальну температуру -15°C), при її розрахунку необхідно враховувати екстремальні зовнішні температури повітря (зазвичай -25°C), зі усіма витікаючими з цього негативними наслідками.

Теплові насоси застосовують, щоб опалювати будинку, прохолоджувати або осушувати повітря в кімнатах, вентилювати приміщення.

Основні переваги теплових насосів:

Економічність. Тепловий насос використовує введену в нього енергію на голову ефективніше будь-яких котлів, що спалюють паливо. Величина КПД у нього багато більше одиниці. Між собою теплові насоси порівнюють по особливій величині - коефіцієнту перетворення тепла - $K_{пт}$ (його ще називають коефіцієнт трансформації тепла, потужності, перетворення температур). Він показує відношення одержуваного тепла до витраченої енергії. Приміром, $K_{пт} = 3,5$ означає, що, підвівши до машини 1 кВт, на виході ми одержимо 3,5 кВт теплової потужності, тобто 2,5 кВт природа пропонує нам безоплатно.

Екологічність. Тепловий насос не тільки заощадить гроші, але й збереже здоров'я мешканцям будинку і їхнім спадкоємцям. Агрегат не спалює паливо, а отже, не утворюються шкідливі окисли типу CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , Pb_2 . Тому навколо будинку на ґрунті немає слідів сірчаних, азотистих, фосфорної кислот і бензольних з'єднань. Та й для планети застосування теплових насосів - благо. Адже, за великим рахунком, на ТЕЦ скорочується витрата палива на виробництво електрики. Застосовувані ж у теплових насосах фреони не містять хлоруглеродов та ознобезпечні.

Універсальність. Теплові насоси мають властивість оборотності (реверсивності). Вони вміють відбирати тепло з повітря будинку, прохолоджуючи його. Улітку надлишкову енергію іноді відводять на підігрів басейну.

Безпека. Ці агрегати практично вибухо- та пожежебезпечні. Немає палива, немає

відкритого вогню, небезпечних газів або сумішей. Вибухати тут просто нема чому, не можна також учадіти або отруїтися. Жодна деталь не нагрівається до температур, здатних викликати запалення горючих матеріалів. Зупинки агрегату не призводять до його поломок або замерзання рідин. По суті, тепловий насос небезпечний не більш, ніж холодильник.

Особливості

При застосуванні теплових насосів необхідно пам'ятати, що для всіх типів теплових насосів характерний ряд особливостей.

1. По-перше, тепловий насос виправдує себе тільки в добре утепленому будинку, тобто з тепловтратами не більше 100 Вт/м^2 . Чим тепліше будинок, тим більше вигода. Як ви розумієте, опалювати вулицю, збираючи на ній же крохи тепла, - заняття дурне.

2. По-друге, чим більше різниця температур теплоносіїв у вхідному й вихідному контурах, тим менше коефіцієнт перетворення тепла ($K_{\text{пт}}$), тобто менше економія електроенергії. Тому більш вигідне підключення агрегату до низькотемпературних систем опалення. Насамперед, мається на увазі обігрів від водяних підлог або теплим повітрям, тому що в цих випадках температура теплоносія має бути не вище 35°C .

3. По-третє, для досягнення більшої вигоди практикується експлуатація теплових насосів у парі з додатковим генератором тепла (у таких випадках говорять про використання бівалентної схеми опалення). У будинку з великими тепловтратами ставити насос великої потужності (більше 30 кВт) не вигідно. Він громіздкий, а буде працювати на повну силу всього лише біля місяця. Адже кількість дійсно холодних днів не перевищує 10-15% від тривалості опалювального сезону. Тому часто потужність теплового насоса призначають рівної 70-80% від розрахункової опалювальної. Вона буде покривати всі потреби будинку в теплі доти, поки вулична температура не опуститься нижче певного розрахункового рівня (температури бівалентності), наприклад, мінус $5-10^\circ\text{C}$. Із цього моменту в роботу включається другий генератор тепла. Є різні варіанти його використання. Найчастіше таким помічником служить невеликий електронагрівник, але можна поставити й рідкопаливний котел. Можливі й більш складні теплові бівалентні схеми, наприклад включення сонячного колектора. Для цього, у деяких серійних системах теплових насосів і сонячних колекторів така можливість передбачена в конструкції. У цьому випадку, змішування тепла, що йде від теплового насоса (це досить інерційна система) і від сонячного колектора (малоінерційна система) робиться в бойлері.

Економічність теплового насоса

- при порівнянні з газовим котлом тепловий насос економічніше в 2,5 рази, а його встановлення окупається в середньому за 3-4 роки;

- при порівнянні з рідко- або твердопаливним котлом тепловий насос економічніше в 7 разів, а його встановлення окупається в середньому за 1-1,5 роки.

Взаємодія ТН з системою опалення в існуючих об'єктах

Відмінність ТН від класичного джерела, а також той факт, що система опалення з ТН функціонує подібно електричному опалювальному приладу, що працює в переривистому режимі (електричні прилади з щоденною чотиригодинною перервою в роботі, ТН з двогодинною перервою, забезпеченим сигналом ДДУ) висувають специфічні вимоги до розв'язання системи опалення та режиму її експлуатації. Необхідно брати до уваги проектування опалюваного об'єкта, а у разі, якщо немає можливості вплинути на рішення об'єкта, необхідно його теплотехнічні недоліки усунути, застосовуючи правильне рішення опалювальної системи. Тому проект опалювальної системи з ТН пред'являє більш високі вимоги до точності та

комплексності, ніж у опалювальної системи з класичними джерелами тепла. Неправильне рішення може викликати ситуацію теплового дискомфорту в опалюваному об'єкті, або ж спричинити за собою підвищення енергетичної потреби.

Один з найголовніших показників теплового насосу - його ефективність, або його теплова потужність, електроспоживання та ККД – COP У різних моделей та виробників ефективність може відрізнятись у півтора-два рази.

В якості зовнішнього колектору більшість виробників теплонасосів передбачає поліетиленову трубу діаметром 25 - 40 міліметрів з циркуляцією незамерзаючої рідиною - водним розчином гліколю. Існують також геотермальні теплонасоси з мідною трубою діаметром 6 - 10 міліметрів і циркуляцією фреону:

- поліетиленова труба в залежності від діаметра має товщину стінки 2 - 2,4 міліметра. Так, наприклад, труба діаметром 40 міліметрів має товщину стінки 2,3 - 2,4 міліметра. Така товщина забезпечує високу надійність і міцність труби - людина вагою 110 кілограм трубу не стискає;

- в якості гліколю зазвичай використовують нетоксичний пропіленгліколь, що застосовується в харчовій промисловості. Неприпустимо використання замість пропіленгліколю етиленгліколю (автомобільний тосол), який трохи дешевше, але отруйний при попаданні в навколишню природу або всередину людини;

- геотермальні теплонасоси з поліетиленовою трубою і водним розчином є конструктивно більш складними, але більш ефективними і надійними, ніж з мідною трубою. Теплонасоси з мідною трубою і фреоном конструктивно простіше, але значна (часто багатокілометрова) довжина мідної трубки з фреоном під тиском потенційно більш небезпечна, ніж поліетиленова. Витік фреону найбільш часта причина неполадок теплонасосів. Також малий діаметр мідної трубки призводить до великої гідравлічному опору, вимагає великих витрат енергії на прокачування. Тому геотермальні теплонасоси великої потужності з мідною трубою і фреоном не випускаються.

В Україні немає нормативно-правової бази, що регулює правила встановлення геотермальних теплонасосів. Тому доцільно користуватися вимогами, технологією та рекомендаціями виробників обладнання та нормативно-правовою базою Європейського співтовариства. Очевидно що не всі робітники, які можуть взятися за роботи з встановлення, знайомі з цими вимогами та технологіями. Використання некваліфікованого персоналу призведе до неякісної установки.

З огляду на вищевикладені примітки і розраховану потребу теплоти будівлі вибираємо тепловий насос марки OCHSNER серії INDUSTRIE типу "грунт-вода" призначений для опалення великих житлових будинків, санаторіїв, виробничих цехів та офісів, з використанням тепла ґрунту, каналізаційних колекторів.

Для покриття теплового навантаження гуртожитку виберемо два теплових насоса: ISWS200ER2 S0/W35 та ISWS330ER2 S0/W35, характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики теплових насосів

Параметр	ISWS200ER2 S0/W35	ISWS330ER2 S0/W35
Теплова потужність, кВт	198,2	333,1
Електроспоживання, кВт	46,1	77
Температура, °C	до 65	до 65
Тип компресора	Компактний гвинтовий	
COP	4,3	4,3
Робочий струм, А	84,4	130,8
Тип холодоагента	R134A	

Знімання тепла з кожного метра труби залежить від багатьох параметрів: глибини

укладання, наявності ґрунтових вод, якості ґрунту і т.д. Орієнтовно можна вважати, що для горизонтальних колекторів він становить 20 Вт/м. Більш точно: сухий пісок - 10, суха глина - 20, волога глина - 25, глина з великим вмістом води - 35 Вт/м. Різницю температури теплоносія в прямій і зворотній лінії петлі при розрахунках приймають зазвичай дорівнює 3 °С. На ділянці над колектором не слід зводити будівель, щоб тепло землі поповнювалася за рахунок сонячної радіації.

Мінімальна відстань між прокладеними трубами повинно бути 0,7-0,8м. Довжина однієї траншеї складає зазвичай від 30 до 120м. В якості теплоносія первинного контуру рекомендується використовувати 25-відсотковий розчин гліколю. У розрахунках слід врахувати, що його теплоємність при температурі 0 °С складає 3,7 кДж / (кг • К), щільність - 1,05 г/см³.

При використанні антифризу втрати тиску в трубах в 1,5 рази більше, ніж при циркуляції води. Для розрахунку параметрів первинного контуру теплонасосної установки буде потрібно визначити витрату антифризу:

$$V_s = \frac{Q_0 \cdot 3600}{(1,05 \cdot 3,7 \cdot t)} \quad (1)$$

де t - різниця температур між подаючою й зворотною лініями, яку часто приймають рівною 3 К;

Q_0 - теплова потужність, що отримується від низькопотенційного джерела (ґрунт). Остання величина розраховується як різниця повній потужності теплового насоса Q_{wp} та електричної потужності, що витрачається на нагрівання фреону P :

$$Q_{0_1} = Q_{wp} - P = 198,2 - 46,1 = 152,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{0_2} = Q_{wp} - P = 333,1 - 77 = 256,1 \text{ кВт}$$

Отже витрата антифризу:

$$V_{s_1} = \frac{152,1 \cdot 3600}{1,05 \cdot 3,7 \cdot 3} = 46980,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$V_{s_2} = \frac{256,1 \cdot 3600}{1,05 \cdot 3,7 \cdot 3} = 79104,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

Сумарна довжина труб колектора L і загальна площа ділянки під нього A розраховуються за формулами:

$$L_1 = \frac{Q_{01}}{q} = \frac{152,1}{0,035} = 4345,7 \text{ м}$$

$$L_2 = \frac{Q_{02}}{q} = \frac{256,1}{0,035} = 7317,14 \text{ м}$$

$$L = L_1 + L_2 = 4345,7 + 7317,14 = 11662,8 \text{ м}$$

$$A_1 = L_1 \cdot d_A = 4345,7 \cdot 0,75 = 3259,27 \text{ м}^2$$

$$A_2 = L_2 \cdot d_A = 7317,1 \cdot 0,75 = 5487,8 \text{ м}^2$$

$$A = A_1 + A_2 = 3259,27 + 5487,8 = 8747,07 \text{ м}^2$$

Тут q - питоме (з 1 м труби) знімання тепла; da - відстань між трубами (крокукладки). З розрахунків випливає, що для установки насоса потрібно 47 контурів по 198 метрів.

Істотно зменшити площу, займану конструкцією, дозволяють спіральні теплообмінники типу slinky. Витки спіралі знаходяться в одній горизонтальній площині і зсунуті відносно один одного. У результаті площа спірального slinky-теплообмінника становить лише 20-30% від площі однотрубному аналога, але вдвічі збільшується довжина труби. При використанні колектора SLINKY тепловіддача ґрунту приблизно 60 Вт/м в середньому, глина -140 Вт/м. Отже можна зробити приблизний розрахунок прощі колектора SLINKY для вибраних насосів.

Загальна теплова потужність двох насосів 531,3 кВт. Приймемо тепловіддачу ґрунту 75 Вт/м (глина зі значним вмістом вологи). Отже необхідна довжина труб

$$L = \frac{531,3}{0,075} = 7084 \text{ м}$$

Площа необхідна для прокладання колектора SLINKY:

$$A = 7084 \cdot 0,75 = 5313 \text{ м}^2$$

Висновки

Проведено аналіз різних типів теплових насосів, виділено ряд основних переваг та недоліків, на основі яких обрано теплонасосну установку з горизонтальним ґрунтовим колектором. Для покриття теплового навантаження гуртожитку обрано два теплових насоса та розраховано, що загальна теплова потужність двох насосів складає 531,3 кВт, а необхідна довжина труб – 7084 м та площа – 5313 м².

Список використаної літератури

1. Неожиданный подарок от экспериментальной теплонасосной системы // Энергосбережение в зданиях. — 2006. — № 4 (№ 31).
2. Журнал "Новости теплоснабжения", № 4, (20), апрель, 2002, С. 53 - 55, www.nts.ru
3. Хайруллин И.Д. Закиров Д.Д. Положительные аспекты внедрения технологий отопления с применением тепловых насосов. – Энергосбережение и проблемы энергетики Западного Урала. – 1999.- №3. – с.27-28
4. Богданом А.В. Тепловой насос и теплофикация. <http://www.c-o-k.com.ua>

УДК 62-97-98

Тишковець А.В., Бублей В.О.

ТЕРМОМОЛЕКУЛЯРНА ЕНЕРГЕТИКА – НОВИЙ СТАНДАРТ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Анотація. У даній статті розглядаються основні можливості циклу Єрошенка в зменшенні теплового забруднення навколишнього середовища. Наведено методика розрахунку циклу теплового двигуна Єрошенка та основні показники ефективності. Показані ключові фактори які суттєво підвищують екологічну безпеку при використанні даного циклу.

Ключові слова: термомолекулярна енергетика, гетерогенна ліофобна система, репульсивний клатрат, термодинамічна компактність, поровий простір, цикл Єрошенка.

Тишковец А.В., Бублей В.О.

ТЕРМОМОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА - НОВЫЙ СТАНДАРТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные возможности цикла Ерошенко в уменьшении теплового загрязнения окружающей среды. Приведены методика расчета цикла теплового двигателя Ерошенко и основные показатели эффективности. Показаны ключевые факторы, существенно повышают экологическую безопасность при использовании данного цикла.

Ключевые слова: термомолекулярна енергетика, гетерогенная Лиофобные система, репульсивных клатрат, термодинамическая компактность, поровое пространство, цикл Ерошенко.

A. Tyshkovets, V. Bubley

THE TERMOMOLEKULARNA ENERGY - A NEW STANDARD ENERGY AND ENVIRONMENTAL SECURITY

Abstract. This article considers the main possibility of a Eroshenko cycle to reduce of thermal environmental pollution. Giving the method of calculating cycle Eroshenko heat engine and key performance indicators. The following key factors that significantly increase the environmental safety using this cycle.

Keywords: termomolekulyarna energy, lyophobic heterogeneous system repulsyvnyu clathrate, thermodynamic compact, pore space, Eroshenko cycle.

Вступ.

Підвищення енергоефективності сьогодні, як ніколи актуально. Висока ціна на імпортне паливо і не можливість в один момент його заміщення ставить людство в неприємну залежність від викопної сировини. Свою роль відіграє і екологія. Погіршення екологічної ситуації на Землі, безпосередньо впливає і на нас. Зважаючи на це підвищення енергоефективності та екологічної безпеки сучасної енергетики стало необхідністю.

Екологія і енергоефективність тісно між собою пов'язані. Чим більше енергії ми збережемо, тим менше ми викинемо в навколишнє середовище. Прекрасні можливості тут має Термомолекулярна енергетика, з тепловими двигунами Єрошенка.

Незважаючи на різноманітність термодинамічних циклів, фізико-енергетична сутність перетворення теплової енергії в механічну на протязі останніх двох століть не змінювалась [1]: кінетичну енергію хаотичного теплового руху молекул газу чи пари

перетворювали в організовану форму механічної енергії і далі, за потреби, перетворювали в електричну. При цьому потенційною енергією міжмолекулярної взаємодії нехтували в силу її малих значень для реальних газів.

В новому напрямі енергетики, який отримав назву «Термомолекулярна енергетика», ставка робиться на потенційну енергію міжмолекулярної взаємодії та особливість явищ утворення міжфазної поверхні “рідина-тверде тіло” в термомеханічних системах [2,3].

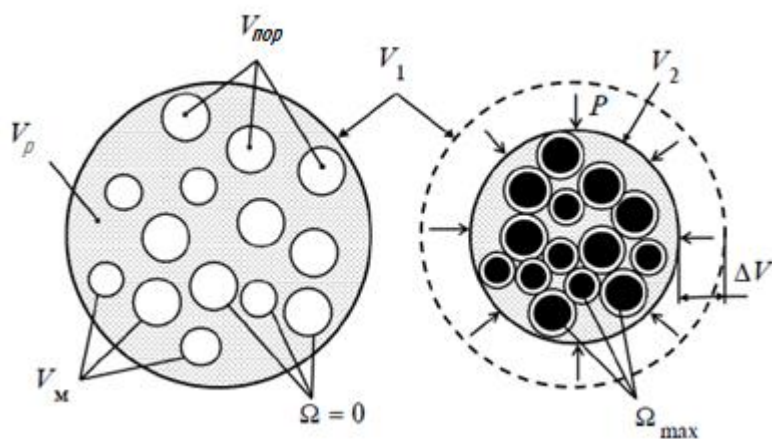
Мета досліджень. Метою роботи є розглянути можливості теплових двигунів Єрошенка у зменшити теплове забруднення навколишнього середовища, при використанні їх в енергетиці.

Результат досліджень. В рамках досліджень були проведені розрахунки циклу Єрошенка та Ренкіна при різних початкових параметрах. Розрахунки проводились для 1 кг робочого тіла (вода в циклі Ренкіна та вода + капілярно пориста матриця в циклі Єрошенка), та при рівних корисних роботах двох циклів. Після проведення розрахунків були порівняні ключові параметри: ККД, термодинамічна компактність, теплове забруднення та були зроблені відповідні висновки.

Основна мета в новому напрямку є використання потенційної енергії міжмолекулярної взаємодії в гетерогенних ліофобних системах (ГЛС) “рідина – капілярно-пориста матриця, не змочена цією рідиною” не тільки для перетворення теплової енергії в механічну (і навпаки), а також для рішення інших важливих інженерних задач технічної термодинаміки.

Принципово новий напрям, вже набув популярності в науковому світі. Нове робоче тіло - гетерогенна ліофобна система (ГЛС), прекрасно себе показала в амортизаторах, акумуляторах і навіть були створені теплові двигуни на основі ГЛС.

ГЛС – конденсована система, енергетичні перетворення якої, засновані на залежності потенційної енергії міжмолекулярної взаємодії від температури процесу. В той же час у традиційних робочих тілах (пари, газу) енергоперетворюючі процеси засновані на використанні залежності кінетичної енергії хаотичного руху молекул від температури. Вперше в світі при відсутності фазового переходу в термомеханічній

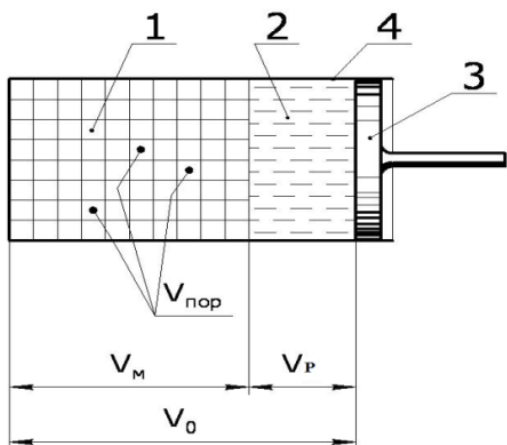


системі вдалося розірвати зв'язок між тиском та об'ємом. Не можна було змінити об'єм без зміни тиску, і навпаки – не можна було змінити тиск в ізотермічному процесі, не змінивши при цьому об'єм системи.

На мал.1 представлений фрагмент ГЛС: суспензія “рідина – дискретні пористі частинки”, де тиск P в будь-

якій точці системи визначається капілярним тиском Лапласа P_L , який на декілька порядків вище можливого гідростатичного тиску в робочих камерах термомеханічних пристроїв:

Мал. 1 Гетерогенна ліофобна система пристроїв:



Мал. 2 Фізична модель
гетерогенної ліофобної системи

змочує цю матрицю. Гіпотетичний поршень 3 здійснює переміщення в циліндрі 4.

В силу незмочуваності матриці 1, рідина 2 не може самовільно увійти в поровий простір матриці. Примусовий стиск ГЛС ($dV < 0$, $d\Omega > 0$) та її самовільне розширення ($dV > 0$, $d\Omega < 0$) здійснюються завдяки інтрузії-екструзії рідини в поровий простір простору матриці з об'ємом пор $V_{\text{пор}} = kr\Omega$ (k – коефіцієнт, що враховує форму порового простору, $0,33 < k < 0,50$) і дії молекулярних сил відштовхування на міжфазній поверхні Ω . В процесах стискання-розширення ГЛС відбувається відповідно розвиток ($d\Omega > 0$) та зменшення ($d\Omega < 0$) міжфазної поверхні, що і визначає зміну об'єму системи

$$dV = -kr d\Omega. \quad (2)$$

Отож ми маємо певного роду парадокс: два тіла, що не піддаються стисненню, зменшують свій об'єм, під дією зовнішніх, і повертаються в початкове положення, коли дія зовнішніх сил зникає.

Цикл на основі ГЛС є принципово новим. Робочим тілом виступає ансамбль рідини і капілярно-пористої матриці, тобто дві не стискувані речовини.

В ізохорному (ізоповерхневому) процесі нагріву (процес “1-2” на мал.3) до гетерогенної термодинамічної системи підводять тепло q_{1-2} для її нагріву від температури T_2 до температури T_1 (при цьому площа Ω міжфазної поверхні рідини і капілярно пористого тіла має мінімальне значення Ω_{min} , навіть може бути близьким до нуля).

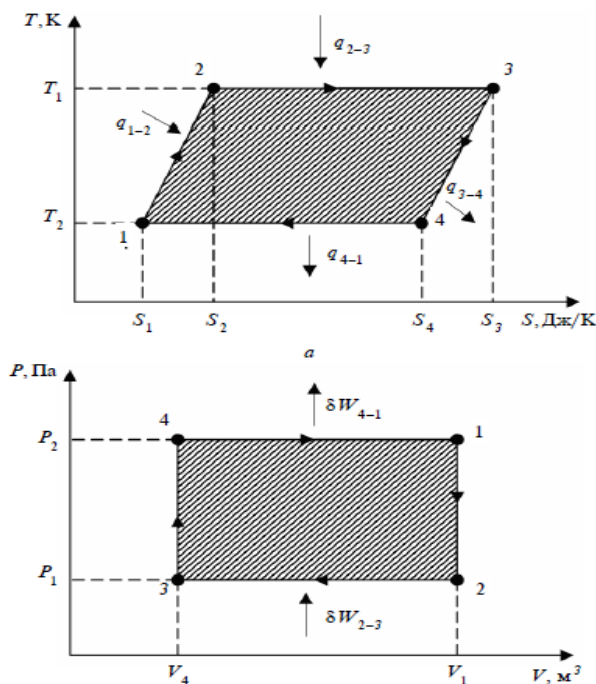
$$P_L = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{kr}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт форми пор капілярів з характерним радіусом r ($0,33 \leq k \leq 0,50$),

При зовнішньому тиску $P \geq P_L$ відбувається інтрузія рідини в поровий простір матриці, при $P \leq P_L$ здійснюється самовільна екструзія кластерів рідини з пор.

Робочий тиск в ГЛС вибирається з умови запобігання парової фази в поровому просторі матриці.

На мал. 2 зображена фізична модель ГЛС, яка складається з капілярно-пористої матриці 1 (об'єм $V_M = \text{const}$, $V_{\text{пор}} = \text{const}$) і рідини 2, що не



Мал. 3 T-S и P-V- діаграми

и $\delta W_{2-3} > 0$:

Тепло підведене в процесі 2-3:

$$\delta q_{2-3} = T_1 \cdot \frac{d\sigma}{dT} \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega \quad (4)$$

Робота підведена в процесі 2-3:

$$\delta W_{2-3} = P_1 \cdot \Delta V = P_1 \cdot k \cdot r \cdot \Delta\Omega = \sigma_1 \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega, \quad (5)$$

В ізохорному (ізоповерхневому) процесі “3-4” (див. мал.3, а) від гетерогенної системи відводиться тепло $\delta q_{3-4} = -\delta q_{1-2}$ з зниженням температури від T_1 до T_2 . При цьому в замкнутому об’ємі $V_4 = \text{const}$ при $\Omega = \Omega_{\max}$ через зниження температури тиск збільшується.

В ізобарно-ізотермічному процесі “4-1” (самовільне зменшення міжфазної поверхні $\Omega = \Omega_{\max}$ ($\Delta\Omega < 0$) від значення $\Omega_{\max}$ до значення $\Omega_{\min} \approx 0$) відбувається самовільне виштовхування кластерів рідини із пор капілярно-пористого тіла в об’ємі ($\Delta V = V_{\text{п}} > 0$ при максимальному тиску P_2 . При цьому система здійснює велику роботу δW_{4-1} проти зовнішніх сил ($\delta W_{4-1} < 0$ через $\Delta\Omega < 0$):

$$\delta W_{4-1} = P_2 \cdot \Delta V = \sigma_2 \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega \quad (6)$$

Корисна робота, яку ми отримуємо в циклі, визначається за формулою:

$$W_{\Omega} = \delta W_{4-1} - \delta W_{2-3} = (\sigma_2 - \sigma_1) \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega \quad (7)$$

Одним з критеріїв термодинамічної досконалості циклів і теплових машин являється термодинамічна компактність (ТК).

Термодинамічна компактність нового циклу буде рівна:

$$l = \frac{\delta W}{\Delta V \cdot \Delta T} = \frac{\cos\theta}{k \cdot r} \cdot \frac{d\sigma}{dT} \quad (8)$$

відповідно з її розмірністю $\frac{\text{Дж}}{(\text{м}^3 \cdot \text{К})}$, характеризує величину максимально корисної роботи δW в термодинамічному циклі, яку можна отримати на одиницю об’єму робочої

$$\delta q_{1-2} = C_v(T_1 - T_2), \quad (3)$$

де C_v – сумарна теплоємність об’ємної фази (рідини і матриці), T_1 – температура джерела тепла, T_2 – температура холодильника мал.3.

Тиск в системі підкоряється гідралічному закону Паскаля і в розглянутому випадку визначається капілярним тиском Лапласа P_L . В процесі нагріву “1-2” (див. мал.3,б) тиск P знижується від значення P_2 до значення P_1 (в замкнутому об’ємі $V_1 = \text{const}$ поверхневий натяг рідини при незмінному хімічному складі залежить тільки від температури.

В ізобарно-ізотермічному процесі “2-3” утворення міжфазної поверхні Ω ($\Delta\Omega > 0$) до системи підводяться в великій кількості теплота δq_{2-3} і невелика робота δW_{2-3} (стиск гетерогенної системи від об’єму V_1 до об’єму V_4 при низькому тиску P_1 ($\Delta V = V_1 - V_4 = V_{\text{п}}$, де $V_{\text{п}}$ – об’єм порового простору матриці)) - $\delta q_{2-3} > 0$

камери ($\Delta V \approx V$) на один Кельвін всього діапазонна зміни температур в циклі ($\Delta T = T_1 - T_2$).

Табл. 1 Основні показники ефективності циклів.

Можливість перетворення теплової енергії в механічну за допомогою циклу Єрошенко в діапазоні температур і тисках, характерних для циклу Ренкіна, дає можливість застосовувати його в енергетиці. Однакова кількість виробленої механічної роботи досягається при співставлених термічних ККД порівнювальних циклів завдяки регенерації теплової енергії в циклі Єрошенко в процесах “нагрів-охолодження” масивної складової ГЛС: рідина і капілярно-пориста матриця.

Термодинамічна компактність теплового циклу Єрошенко з зовнішнім теплопідводом в декілька тисяч разів перевищує аналогічні показники теплосилової установки Ренкіна. Перевагою циклу Єрошенко порівняно з циклом Ренкіна (при однакових значеннях вироблення роботи і ККД) є:

- зниження витрати конструкційних матеріалів в двигуні Єрошенко за рахунок радикального зниження об'єму робочої камери і відсутність парогенератора і конденсатора пара, які являються невід'ємними компонентами теплосилової установки Ренкіна.

- Суттєве зниження теплового забруднення навколишнього середовища через

Показ- ник	Розмір- ність	Цикл Ренкіна	Цикл Єрошенка			
			при перепадах циклу Ренкіна		При радіусі пор $r=3$ А, для 1 кг води	
			ΔP	ΔT		
1	2	3	4	5	6	7
$Q_{\text{еко}}$	Мдж	1,895	1,76	1,89	1,6	
η		0,334	0,0064	0,006	0,104	
$\eta_{\text{карно}}$		0,636	0,528	0,5	0,52	
$\eta/\eta_{\text{карно}}$		0,686	0,012	0,013	0,25	
$\eta_{0,8}$		-	0,03	0,03	0,26	
$\eta_{0,8}/\eta_{\text{карно}}$		-	0,058	0,06	0,52	
l	кДж/ ($\text{м}^3\text{К}$)	0,104	40	40	685.7	

відсутність конденсатора пари і завдяки рекуперації теплової енергії в двигуні Єрошенко з зовнішнім підводом тепла.

- Безшумність роботи двигуна, через капілярний характер проходження підготовчого робочого такту та відсутність газової складової.

Варто зазначити і те, що цикл має величезний потенціал для розвитку і використання. Величезна термодинамічна компактність дає можливість суттєво зменшити розміри силової установки і відповідно

встановлювати її в місцях, неможливих для традиційного циклу Ренкіна (наприклад, в малій енергетиці, на кораблях). Так як діапазон температур не виходить вище 370 °C (для води), то дану установку можна використовувати, як утилізатор тепла з додатковим виробництвом корисної роботи (наприклад після ГТУ). Це дозволить мінімізувати затрати тепла в циклі

Враховуючи те, що сучасна промисловість щороку видає світу нові матеріали, можна припустити, що їх застосування як ГЛС буде і надалі підвищувати ефективність нового циклу.

Від авторів

Дякуємо науковому керівнику, доктору технічних наук, професору Єрошенку Валентину Андрійовичу за постановку задачі і методичні та методологічні вказівки по її вирішенню.

Література

1. V.A. Eroshenko *et al.*, “A new paradigm of mechanical energy dissipation. Part. 2. Experimental investigation and effectiveness of a novel damper”, Proc. Mech. Engrs. Pt D. J. Automobile Engng., vol. 221, no. 3, pp. 301—312, 2007.
2. Ерошенко В.А. Термомолекулярная энергетика // Пром.теплотехника. — 1992. — **14**, № 1-3. — С. 22—25.
3. V.A. Eroshenko, “Heterogeneous structure for accumulation or dissipation of energy, process to use it and associated devices”, Pat. WO 96/18040 France, F 15 B 1/04, F 16 F 9/00, 5/00, F 15 B 21/06, June 13, 1996.
4. V.A. Eroshenko *et al.*, “Les systèmes hétérogènes ‘eauzéolithe hydrophobe’: de nouveaux ressorts moléculaires”, vol. 3, pp. 111—119, 2002.

Задьора А.Т., студ., Задвернюк В.В., ст. вик.

Методи зниження параметрів пари.

На сьогодні технологічні парові системи України (спадок Радянських часів), що використовують пару для потреб виробництва з невисокими параметрами (тиск, температура) працюють не досить ефективно. Частина енергії, що несе в собі пара, обезцінюється, коли пара від котельні надходить до технологічної лінії, де потрібно знизити потенціал пари до необхідних параметрів за технологією. Тому існують методи зниження параметрів пари до необхідних за технологічним процесом. Нижче наведені основні з методів.

1. Одним із відомих на сьогодні пристроїв є газоструменевий компресор, що має робоче сопло, приймальну камеру зі штуцером входу інжекційного середовища, і камеру змішування. У цьому пристрої тиск робочого потоку (первинної пари) знижується на виході з компресора. Зниження тиску відбувається за рахунок підсосу робочим потоком інжекційного потоку, що має менший тиск. При цьому загальний потік на виході з компресора має дві складові: робочий і інжекційний потоки. Недоліком розглядуваного пристрою є те, що пара на виході з газоструменевого компресора є перегрітою, тобто має температуру, що перевищує температуру насичення пари при тиску, який має пара на виході з компресора. Це пояснюється впливом первинної пари, що має при змішуванні високу температуру.

2. Найбільш розповсюдженим рішенням є редуційно-охолоджувальна установка, що включає паровий дросельний клапан, охолоджувач пари з пристроями для впорскування і розпилювання води. У розглядуваній РОУ первинна пара дроселюється до необхідного тиску в дросельному клапані, після чого надходить в охолоджувач. Таким чином, відбувається зниження тиску і температури пари до необхідних значень за технологічним процесом. Основним недоліком даної РОУ є надлишковий потенціал первинної пари безповоротно втрачається при дроселюванні. Внаслідок цього витрата первинної пари зростає.

Зазначені недоліки відомих установок стимулювали пошук нових технічних рішень.

3. Заміна редуційно охолоджувальної установки (РОУ) на енергозберігаючу турбіну - це енергозберігаючий захід. Термін окупності до 3-х років. Ефект від впровадження енергозберігаючої турбіни замість редуційної установки РОУ 50 000 \$ - 80 000 \$ в рік (в залежності від тарифу на газ і електрика).

Принцип дії.

Енергозберігаюча мікропарова турбіна встановлюється для вироблення електроенергії та приводу допоміжних механізмів (компресори, насоси, вентилятори і т. Д.) За рахунок використання незатребуваної пари промислово-опалювальних котелень, яка втрачається в процесі дроселювання на редуційних установках (РОУ, БРОУ, РУ, ОУ) до необхідних параметрів за технологією. У зв'язку з цим парова мікротурбіна може використовуватися як енергозберігаюче обладнання на різних підприємствах більшості галузей.

Наприклад пара, що виробляється в котлах при тиску 4,0 - 0,8 МПа, марно дроселюється до тиску 0,4 - 0,12 МПа в редуційних пристроях (РОУ, БРОУ, РУ, ОУ). Замість цього можна встановити енергозберігаючу парову мікротурбіну і виробляти електроенергію.

Одним із варіантів встановлення енергозберігаючої турбіни є заміна РОУ.

Енергозберігаючу турбіну також можна встановлювати паралельно до існуючої у

системі РОУ. Нижче наведено в таблиці дані існуючих турбін, що можуть використовуватися.

Таблиця 1 – Дані параметрів пара

Продуктивність РОУ, G, т/год	Параметри гострого пара		Параметри редуцьованого и охолодженого пара		Тиск охолодженої води Рв, МПа при Тв = 104°C
	P1, МПа	T1, °C	P2, МПа	T2, °C	
РОУ 2.5	1.4...1.6	300...350	0.3...0.6	160...190	1.2...3.0
РОУ 4	0.6	350	0.3	136	1.7...1.8
РОУ 5	1.4...1.6	300...350	0.3...0.6	160...190	1.0...1.5
РОУ 10	0.7...4.0	300...440	0.3...1.4	160...200	0.9...3.6
РОУ 13	1.2	320	0.6	160	0.9...1.0 (Тв=90 °C)
РОУ 15	1.2	320	0.6	160	0.9...1.0
РОУ 20	0.7...4.0	300...450	0.3...2.3	160...350	1.2...6.4
РОУ 30	1.4...4.05	300...450	0.3...2.3	160...350	1.2...5.4
РОУ 33	1.5	200	0.5	150	1.5...2.0
РОУ 35	1.5	200	0.5	150	1.5...2.0
РОУ 40	1.4...4.0	225...450	0.3...2.3	160...350	1.1...6.4
РОУ 60	1.6...4.0	350...450	0.3...2.3	160...350	1.3...6.4
РОУ 67	1.6	270	0.12	120	1.6...2.0
РОУ 75	3.4	425	0.8	250	4.5 (Тв=150°C)
РОУ 100	4.0...9.8	425...500	1.2...2.5	250...360	2.5...3.0
					15 (Тв=180°C)

Перевага паротурбінної технології:

Енергозберігаючі турбіни доцільно використати для модернізації котельень з промисловими паровими котлами поширених типів з робочим тиском 0,8-4,0 МПа, у яких тиск пари на виході з котлів значно вище, ніж це необхідно для виробничих потреб.

При установці в таких котельнях турбогенераторних установок, пара, що пропускається через енергозберігаючу турбіну буде спрацьовуватися від початкових параметрів (тиск, температура) на котлах до тиску, потрібного споживачеві, і в результаті марно втрачається потенціал пари, який буде використовуватися для вироблення електричної енергії, або приводити механізми в рух (насоси димососи, компресори, повітродувки і т.д.)

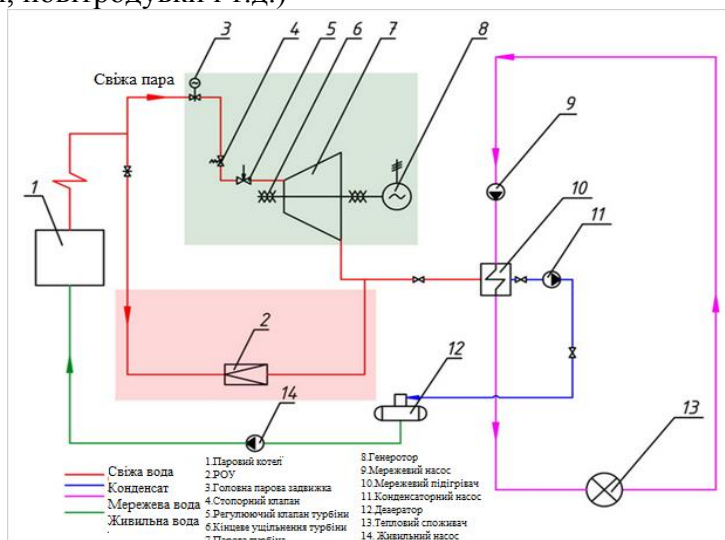


Рисунок 1 – Принципова схема парової енергозберігаючої турбіни разом з РОУ
Вироблювана енергозберігаючою турбіною електроенергія піде на покриття

власних потреб котельні та підприємства, а її надлишок може продаватися в енергосистему. При цьому основним завданням модернізованої котельні продовжує залишатися виробництво тепла, а електроенергія є корисним супутнім продуктом його виробництва, значно поліпшує техніко-економічні показники роботи котельні, і може стати додатковою статтею доходів.

Виначення економічної ефективності впровадження енергозберігаючої турбіни.

Підприємство за рік споживає 1643435 кВтгод/рік електричної енергії, при цьому купує у держави 1 кВтгод за 1,19 грн. Не складно порахувати скільки це в грошовому еквіваленті, маємо 1955687,65 грн./рік. Після встановлення парової турбіни для виробництва тих самих 1643435 кВтгод/рік, собівартість тих самих вироблених одиниць складе 0,4 грн. Отримуємо 1314748 грн/рік. Економія відповідно 640939,65 грн/рік. Ціна енергозберігаючої турбіни 900000 грн. Термін окупності близько 2 років.

Висновок: На мою думку ефективним методом зниження параметрів пари є встановлення енергозберігаючої турбіни. Як видно з вище наведеного опису це є досить цікавим методом для застосування на практиці. Можна навести кілька позитивних результатів після встановлення енергозберігаючої турбіни, а саме:

- Невеликий термін окупності до 3-х років;
- Економія власних коштів підприємства;
- Енергетик отримує користь за впровадження енергозберігаючого устаткування;
- Проектувальник отримує свої комісійні.

УДК 621.383

*Карпенко Д.С., магістрант, Шкляр В.І., канд. техн. наук, Дубровська В.В.,
канд. техн. наук*

*Національний технічний університет України «КПІ»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту*

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуто питання про доцільність використання сонячної енергії для отримання електроенергії за допомогою фотоелементів на території України. Проведено порівняльний аналіз найбільш вживаних фотоелементів. Виконано техніко-економічний аналіз цих систем для трьох областей України. В програмному середовищі SolidWorks 2014 проведено моделювання сонячного модуля, який складається з 4 з'єднаних фотоелементів та системи охолодження. На основі аналізу результатів моделювання, обрано оптимальні конструктивні та теплотехнічні характеристики охолодження фотоелементів.

Ключові слова: фотоелемент, фотоелектрична система, ефективність, охолодження.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОММУНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрен вопрос о целесообразности использования солнечной энергии для получения электроэнергии с помощью фотоэлементов на территории Украины. Проведен сравнительный анализ наиболее применяемых фотоэлементов. Выполнен технико-экономический анализ этих систем для трех областей Украины. В программной среде SolidWorks 2014 проведено моделирование солнечного модуля, состоящего из 4 соединенных фотоэлементов с системой охлаждения. На основе анализа результатов моделирования, выбраны оптимальные конструктивные и теплотехнические характеристики охлаждения фотоэлементов.

Ключевые слова: фотоэлемент, фотоэлектрическая система, эффективность, охлаждение.

ANALYSIS OF MUNICIPAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS EFFICIENCY

The question of the usage feasibility of solar energy for electricity generation purpose by means of photocells within Ukraine is considered. The comparative analysis of the most applied photocells was carried out. Technical and economic characteristics of these systems for three regions of Ukraine was analyzed. The solar module composed of 4-connected photocells with cooling system was simulated within software SolidWorks 2014. Based on the simulation results analysis, the optimum of the solar cells construction and thermal performances was selected.

Keywords: photocell, photovoltaic system, efficiency, cooling.

1 ВСТУП

Сонячна енергія – є найбільш доступним джерелом енергії на нашій планеті. Через невичерпність цього ресурсу, слід віддати йому перевагу, і тому важливо вже

зараз починати впроваджувати засоби для її перетворення та застосування. Використання сонячної енергії за допомогою фотоелектричних установок є одним з найперспективніших видів енергопостачання. З кожним роком ціни на фотоелектричні системи зменшуються внаслідок росту попиту та розвитку виробництва фотоелементів, фотоелектричних батарей і необхідних компонентів для побудови таких систем. Враховуючи державні механізми стимуляції використання нетрадиційних джерел енергії фотоелектричні установки стають доступними для їх впровадження.

Сонячний потенціал на території України достатньо високий для його використання і перетворення в електричну енергію. Помірний клімат дозволяє експлуатувати сонячні батареї при досить сприятливих для них умовах. Через відносно невелику швидкість вітрів, знижується фактор забруднення поверхні сонячних батарей та невисокі температури забезпечують їх оптимальну роботу.

2 ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Основними перевагами фотоелектричних систем є: мінімальна кількість ступенів перетворення енергії, можливість використання сонячної енергії практично у будь-якому місці, відсутність екологічних забруднень при роботі, відсутність рухомих частин, можливість легко «нарощувати» потужність установок, надійність, простота експлуатації. Але існують і деякі недоліки, серед яких: непостійність сонячного випромінювання у часі, низька ефективність фотоелементів та необхідність у великих площах для розташування сонячних батарей.

Але існує проблема низького ККД фотоелементів і, відповідно, питомої пікової потужності, віднесеної до одиниці площі. Завданням даної роботи є дослідження причин низької ефективності фотоелектричних систем. Метою даної роботи є аналіз ефективності фотоелектричних систем та визначення шляхів її підвищення. На сьогоднішній день, досягнута ефективність, яка є максимальною на даний момент, багат шарових фотоелементів, яка сягає – 46% у лабораторних умовах. На рис. 1 зображене підвищення ККД фотоелементів з часом, різними лабораторіями світу [1].

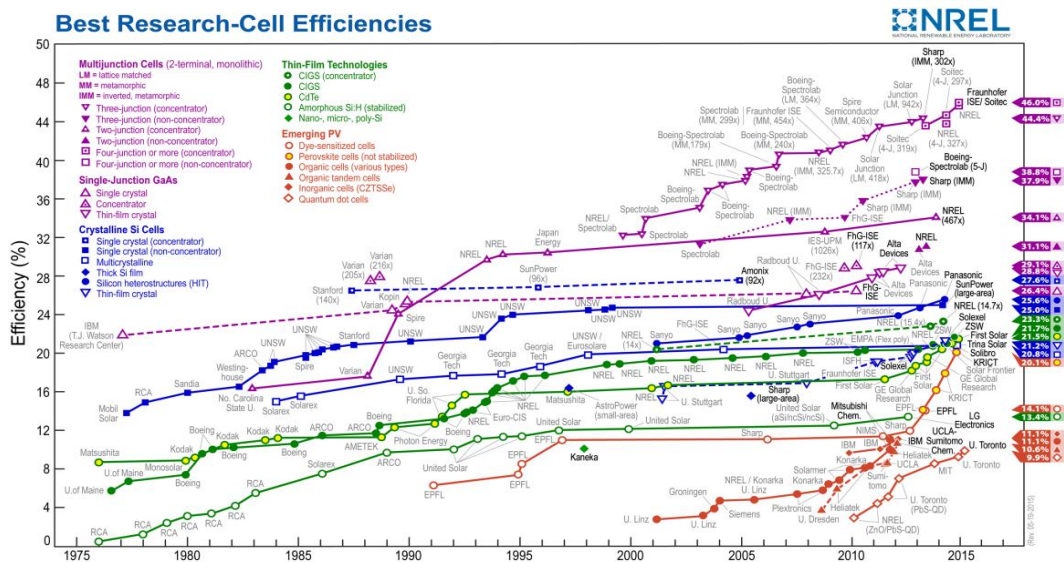


Рис. 1 Графік розвитку наукових досліджень з підвищення ККД різних типів фотоелементів провідними лабораторіями світу.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Серед найрозповсюдженіших типів фотоелементів виділяють кристалічні та тонкоплівкові. В свою чергу кристалічні (с-Si) фотоелементи можуть бути монокристалічні та полікристалічні. Серед тонкоплівкових виділяють фотоелементи на основі: аморфного кремнію (а-Si), телуриду/сульфіду кадмія (CTS), мідно-індієвий чи мідно-індієво-галлієвий диселенід (CIS чи CIGS) та ін. Найпоширенішого використання набули кристалічні фотоелементи, які займають на сьогоднішній день близько 80% усього світового ринку, через свої оптимальні технічні та експлуатаційні характеристики в сукупності з ціною на них. Але тонкоплівкові фотоелементи, не дивлячись на досить низький ККД, є перспективним напрямком, оскільки вони потребують значно менших затрат на їх виробництво. За загальними прогнозами цей тип фотоелементів займе левову частку ринку у майбутньому. Порівняльні характеристики типів фотоелементів наведено у табл.1.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики різних типів фотоелементів.

Типи фотоелементів	Кристалічні		Тонкоплівкові
	Монокристалічні	Полікристалічні	
ККД, %	13-20	12-17	4-11
Діапазон робочих температур, °C	-40 ÷ +85	-40 ÷ +85	-40 ÷ +100
Термін експлуатації, років	25	25	10 ÷ 20
Коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики, %	75 ÷ 80	73 ÷ 75	60 ÷ 70
Температурний коефіцієнт ($\beta(U_{oc})$), %/°C	-(0,3 ÷ 0,5)	-(0,3 ÷ 0,5)	-(0,1 ÷ 0,3)
Питома пікова потужність, Вт _{пик} /м ²	160 ÷ 170	145 ÷ 155	50 ÷ 95
Мінімальна питома вартість, \$/Вт _{пик}	0,6	0,5	0,3

Серед усіх технічних показників фотоелементів основними є: ККД, потужність, струм короткого замикання, напруга холостого ходу, струм і температура при максимальній потужності, температурні коефіцієнти зміни напруги і струму, діапазон робочих температур. Всі ці характеристики надаються виробниками сонячних панелей у паспортних даних при умовах STC: рівень сонячної радіації - 1000 Вт/м², атмосферна маса - AM1,5, температура - 25 °C.

Але, зазвичай, такі умови навколишнього середовища бувають дуже рідко, тому технічні показники надаються ще при умовах NOCT - більш наближених до реальних умов навколишнього середовища: рівень сонячної радіації - 800 Вт/м², атмосферна маса - AM1,5, температура - 47±2 °C.

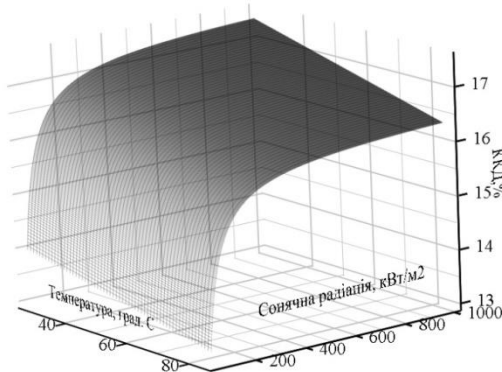


Рис.2 Графік залежності ККД від температури та рівня сонячної радіації.

Підвищення температури на поверхні сонячного модуля негативно впливає на його техніко-експлуатаційні характеристики. Ця залежність описується температурними коефіцієнтами напруги і струму. Оптимальною температурою для

експлуатації фотоелементів вважається 25 °С. При температурі вище оптимальної напруга холостого ходу і коефіцієнт заповнення ВАХ зменшується, а струм короткого замикання незначно підвищується. При рівні сонячної радіації нижче 200 Вт/м², ККД сонячної панелі починає стрімко знижуватись. Залежність ККД від температури на поверхні і рівня сонячної радіації на прикладі сонячного модуля KV-255M показано на рис.2.

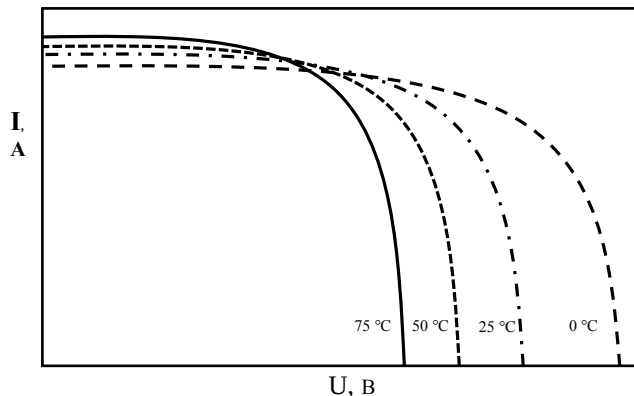


Рис. 3 Вольт-амперна характеристика фотоелементів в залежності від температури фотоелемента.

Серед основних методів підвищення ефективності сонячних елементів при їх виробництві можна виділити: зниження температури на поверхні фотоелементу, зниження паразитуючих опорів, зниження втрат при рекомбінації електронів, оптимізація схем включення передніх контактів, створення ефективних світлових пасток, текстуровання поверхні, використання ефективних антивідбиваючих поверхонь та багато інших.

Відомо, що напівпровідникові матеріали чутливі до зміни температури [2]. Таке ж явище спостерігається і в фотоелементах. При підвищенні температури поверхні фотоелементів зменшується ширина забороненої зони напівпровідника, і це призводить до збільшення енергії електронів у валентній зоні та зменшення необхідної енергії для переходу в вільний стан. При цьому змінюються більшість характеристик фотоелементів. Але найбільш чутливим параметром до змін температури виступає напруга холостого ходу [3]. Залежність напруги холостого ходу від температури показана на рис. 3.

Найпростішу модель сонячних батарей можна описати як діод та джерело струму підключених паралельно. Діод представляє собою р-п перехід в фотоелементі. Ця модель може описуватись наступним рівнянням [3]:

$$I = I_L - I_s \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right), \quad (1)$$

де: I_L – світловий струм, А; I_s – зворотний струм насичення, А; q – заряд електрону, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; n – коефіцієнт ідеальності; k – стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура, К; V – напруга на діоді, В.

Для аналізу ефективності сонячних елементів часто використовують такий параметр як коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики. Коефіцієнт заповнення ff визначає максимальну потужність фотоелементу за даних значень струму короткого замикання (I_{sc}) та напруги холостого ходу (V_{oc}). Коефіцієнт заповнення визначається як відношення максимальної потужності до добутку I_{sc} та V_{oc} :

$$ff = \frac{I_{mp} V_{mp}}{I_{sc} V_{oc}}, \quad (2)$$

де: I_{mp} та V_{mp} – струм та напруга в точці максимальної потужності відповідно.

Часто використовують емпіричне рівняння для ff , яке більш наочно показує залежність коефіцієнту заповнення від температури:

$$ff = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1}, \quad (3)$$

де: V_{oc} – нормована напруга холостого ходу, яка визначається як:

$$V_{oc} = \frac{q}{n \cdot k \cdot T} V_{oc} \quad (4)$$

ККД сонячних елементів та коефіцієнт заповнення пов'язуються між собою наступною формулою:

$$\eta = \frac{I_{sc} V_{oc} f f}{E}, \quad (5)$$

де: E – надходження сонячної радіації на поверхню фотоелемента, Вт/м².

Виходячи з даних тверджень, можна сказати, що при збільшенні температури сонячного елементу, знижується його коефіцієнт заповнення, а в результаті і його ККД. Тому, постає необхідність в охолодженні фотоелемента для підтримання деякої температури напівпровідника, при якій ККД буде максимальний. При цьому виникає можливість отримання додаткової корисної теплової енергії, що може підвищити загальний ККД установки.

Проведено експеримент без охолодження фотоелементів в програмному середовищі SolidWorks 2014. Результати наведені в таблиці 2 та рис. 4.

Таблиця 2. Результати експерименту без охолодження фотоелементів.

Без охолодження	
Температура поверхні (середня), К	357,7
Температура поверхні (максимальна), К	361,48
Температура поверхні (мінімальна), К	353,08

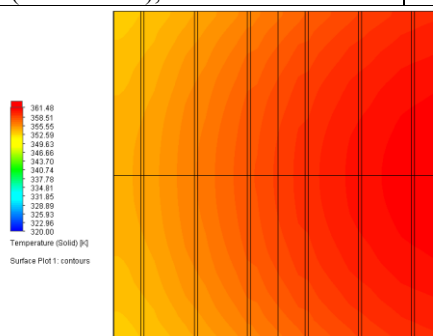


Рис. 4 Розподіл температури на поверхні експериментальної установки без охолодження.

Промодельовано процес охолодження фотоелементів в програмному середовищі SolidWorks. В якості експериментальної установки використовується модуль з 4 з'єднаних фотоелементів, під якими встановлено мідний змійовик через який проходить теплоносії (вода) для зниження температури сонячних елементів та отримання додаткової кількості теплової енергії. Макет експериментальної установки показано на рис. 5.

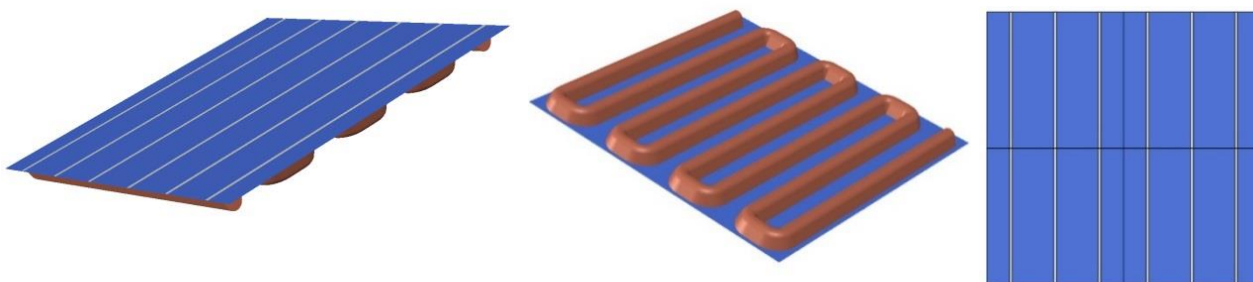


Рис. 5 – Макет експериментальної установки в програмному забезпеченні SolidWorks.

Умови експерименту. Площина встановлена паралельно горизонту. На площину надходить постійна сонячна радіація $E = 800 \text{ Вт/м}^2$. У змійовик із змінним діаметром трубки $d_{\text{вн}} = 10, 15, 20 \text{ мм}$ та її форми (О-форма чи D-форма) на вхід подається вода зі змінною масовою витратою $G = 0,0025, 0,01, 0,025, 0,1 \text{ кг/с}$ та температурою $T_{\text{вх}} = 292,3 \text{ К}$.

За результатами моделювання, отримано розподіл температури на поверхні фотоелементів та температури води на виході. На рис. 6 представлено розподіл температури на поверхні фотоелементів при різних масових витратах с D-формою трубки діаметром $d_{\text{вн}} = 15 \text{ мм}$.

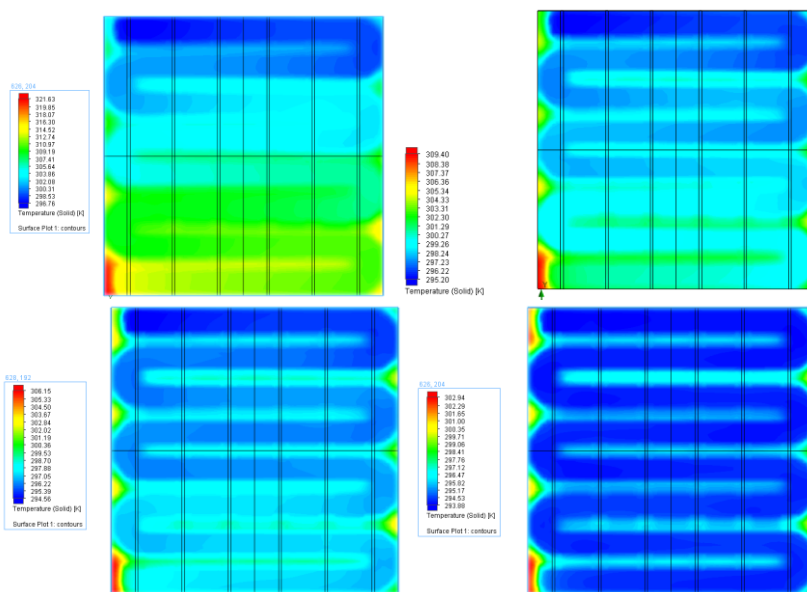


Рис 6. Розподіл температур по поверхні експериментальної установки при масових витратах $G = 0,0025, 0,01, 0,025, 0,1 \text{ кг/с}$ с D-формою трубки діаметром $d_{\text{вн}} = 15 \text{ мм}$.

На основі результатів дослідження побудовано залежність середньої, максимальної та мінімальної температур на поверхні експериментальної установки від масової витрати теплоносія в змійовику та представлено на рис. 7.

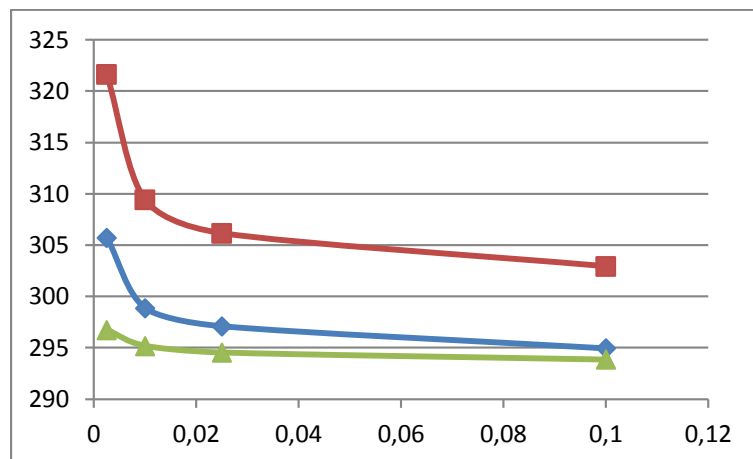


Рис 7. Залежність середньої, максимальної та мінімальної температур поверхні фотоелементів від масового потоку теплоносія.

За формулами (1) - (5) розраховано коефіцієнт заповнення, ККД установки, та додаткову теплову потужність отриману за рахунок процесу охолодження. На основі результатів експерименту проведено регресійний аналіз, отримано функціональну залежність, знайдено її оптимум у вигляді масового потоку теплоносія який проходить через змійовик.

Охолодження поверхні сонячних елементів дозволяє збільшити ефективність їх роботи, при цьому виникає можливість отримувати додаткову теплову енергію для використання, наприклад, для потреб гарячого водопостачання.

Сонячні панелі є основним елементом фотоелектричних систем, але без допоміжних компонентів така система не буде функціонувати правильно. Існує три типи фотоелектричних систем: автономні, резервні та безакумуляторні з'єднані з мережею централізованого електропостачання (мережева система). При чому, останні два типи можуть поєднуватись між собою утворюючи резервно-мережеву систему.

Проведено техніко-економічний та екологічний аналіз всіх видів систем в Київській, Дніпропетровській областях та АР Крим. Річне надходження сонячної енергії на територію України по трьох областях складає: Київська область – 1100 кВт·год/м², Дніпропетровська область – 1250 кВт·год/м², Автономна Республіка Крим – 1400 кВт·год/м². При встановленні сонячних панелей під оптимальним кутом до горизонту відповідно до широти місцевості річне надходження сонячної радіації підвищиться: Київська область – 1350 кВт·год/м², Дніпропетровська область – 1500 кВт·год/м², Автономна Республіка Крим – 1700 кВт·год/м² [5]. Розраховано дисконтований термін окупності усіх видів фотоелектричних систем для трьох областей. Було виявлено, що найбільш економічно привабливими є безакумуляторні з'єднані з мережею централізованого електропостачання фотоелектричні системи розташовані в АР Крим.

4 ВИСНОВКИ

1. Ціни на фотоелементи стрімко знижуються у всьому світі, при чому їх ефективність підвищується з кожним роком завдяки активним дослідженням світових науковців.

2. Охолодження фотоелементів дозволяє підвищити ефективність перетворення сонячної радіації в електричну енергію, при цьому виникає можливість отримувати додатково теплову енергію.

3. Серед усіх типів фотоелектричних систем, безакумуляторні системи поєднані з мережею централізованого електропостачання є найдешевшими, найпростішими, і відповідно до цього економічно привабливими як інвестиційний проект. При підвищенні потужності таких систем термін окупності знижується.

4. Автономні фотоелектричні системи через відносно постійне електричне навантаження об'єкта, мають властивість втрачати значну частину потенційно можливої виробленої електроенергії. В свою чергу, безакумуляторні та резервно-мережеві системи здатні повністю реалізовувати свій потенціал.

5. Автономні системи необхідно експлуатувати разом із резервним джерелом живлення, інакше їх вартість може бути досить значною, при цьому не гарантуючи стабільність роботи.

6. Резервно-мережеві системи враховуючи всі переваги, можуть бути впроваджені, як основне джерело енергопостачання на об'єкті.

7. Впровадження фотоелектричних систем сприяє економії паливно-енергетичних ресурсів, та зниженню викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Література:

1. NREL: National Center for photovoltaics: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg

2. Photovoltaic Efficiency: The Temperature effect : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.teachengineering.org/collection/cub_/lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf

3. Photovoltaic Education Network : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve>.

4. PVResources : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pvresources.com/>

5. Photovoltaic Geographical Information System: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.

УДК 622.276.05/.765.063

Приходько А. Є., Бірюков Д. В.

**ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ПЕРЕДБАЧЕННЯ
ПОТОКУ ВІДХИЛЕННЯ В КОМПАКТНИХ ФЛОТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЯХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ
ПОТОКА
ОТКЛОНЕНИЯ В КОМПАКТНЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ
USAGE OF ACOUSTIC SENSORS FOR PREDICTION OF THE PROJECT
FLOW IN COMPACT FLOTATION UNITS**

РЕФЕРАТ

Потік стічних вод від нафтових та газових свердловин називається пластовою (технічною) водою. Найпоширенішим способом утилізації подібних вод є скидання їх в море, з попереднім використанням компактних флотаційних пристроїв (КФП).

Компактні флотаційні пристрої в більшості випадків працюють в ручному режимі через відсутність загальних методів моніторингу. Загальною проблемою з автоматизації роботи КФП є вимірювання потоків речовин та газів потоку відхилення в пристроях в режимі реального часу. В даній роботі буде наведене обґрунтування застосування акустичних вимірювань та часткової регресії найменших квадратів в якості інструменту для вимірювання в режимі реального часу потоку відхилення (в якості об'єкта був використаний потік відхилення). Після експериментів не було виявлено суттєвої різниці між чотирма положеннями акустичних сенсорів. Декілька моделей частки газу в потоці відхилення були прокалібровані з повністю незалежними даними. Середньоквадратична похибка передбачення частки газу в потоці відхилення була 7.5% в діапазоні (0.07 – 2.5 см³/год). Ці результати можуть свідчити про подальшу можливість розвитку та впровадження методики для флотаційних пристроїв.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: акустичний сенсор, флотаційний пристрій, утилізація води, вимірювання потоку.

РЕФЕРАТ

Поток сточных вод от нефтяных и газовых скважин называется пластовой (технической) водой. Самым распространенным способом утилизации подобных вод является сброс их в море, с предварительным использованием компактных флотационных устройств (КФП).

Компактные флотационные устройства в большинстве случаев работают в ручном режиме из-за отсутствия общих методов мониторинга. Общей проблемой для автоматизации работы КФП является измерение потоков веществ и газов потока отклонения в устройствах в режиме реального времени. В данной работе будет приведено обоснование применения акустических измерений и частичной регрессии наименьших квадратов в качестве инструмента для измерения в режиме реального времени потока отклонения (в качестве объекта был использован поток отклонения). После экспериментов не было обнаружено существенных различий между четырьмя положениями акустических сенсоров. Несколько моделей доли газа в потоке отклонения были прокалиброванным с полностью независимыми данными. Среднеквадратичная погрешность предсказания доли газа в потоке отклонения была 7.5% в диапазоне (0.07 - 2.5 см³ / ч). Эти результаты могут свидетельствовать о дальнейшей возможности развития и внедрения методики для флотационных устройств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: акустический сенсор, флотационный устройство,

утилизация воды, измерения потока.

ABSTRACT

The flow of wastewater from oil and gas wells is called bank (technical) water. The most common method of disposal of these waters are dumping them in the sea, with previous use of compact flotation devices (CFR).

Compact flotation devices in most cases operate manually due to the lack of common monitoring methods. A common problem with automation is CFR substances flow measurement and gas flow deflection devices in real time. This paper will be justified application of acoustic measurements and partial least squares regression as a tool to measure the real-time flow deviation (as the object was used flow deviation). After the experiments there are no significant differences between the four provisions of acoustic sensors. Several models of gas in the flow deviations were calibrated with completely independent data. Mean square error of prediction of gas in the flow deviation was 7.5% in the range (0.07 - 2.5 cm³ / h). These results may indicate the possibility of further development and implementation of methods for flotation devices.

KEY WORDS: acoustic sensor flotation device, wastewater flow measurement.

ВСТУП

Складові пластових вод вважаються основним джерелом забруднення в нафтовій та газовій промисловостях. Забруднення води є проблемною областю для нафтових виробництв та установ, що здійснюють нагляд за екологічною ситуацією на планеті. Були створені міжнародні правила щодо викидів пластових вод. Межа концентрації домішок нафти у воді є порядком 30 частин на мільйон. Тому триває дослідження у пошуку оптимальних способів очищення технічних вод. Технології обробки включають фізичну, хімічну, мембранну та біологічну технології. [1] прийшли до висновку, що очищення води за допомогою установок є більш економічно вигідним за утилізацію води за допомогою інжекцій.

Компактні флотаційні пристрої є одним з сучасних варіантів очищення пластової води. Метою застосування даних установок є ефективне очищення пластової води за допомогою явища флотації з мінімально можливим застосуванням флотаційного газу [2, 3]. В даний час пристрої налаштовуються вручну шляхом регулювання клапанів. Для визначення ефективності очищення проводиться візуальний аналіз зразків води на вході та виході з пристроїв та потоку відхилення. Даний спосіб є не тільки економічно не вигідним, але і часозатратним. Вимірювання ефективності очищення ускладнюється тим, що потік багатофазовий. Хоча й існує ряд складних інструментів для її вимірювання, точність та надійність їх не доведена.

Тому розроблено акустичну техніку, щоб змінити існуючу ситуацію. Розроблена техніка була адаптована для вирішення труднощів з вимірюванням характеристик потоку відхилення. Однією з цілей цього дослідження було вивчення можливості застосування акустичних вимірювань в поєднанні з регресією найменших квадратичних відхилень в якості інструменту для моніторингу конкретного процесу.

Акустичний спектр, отриманий від акселерометрів, містить стан процесу, тобто зміни в процесі відображаються в акустичному спектрі. Це може бути як перевагою, так і недоліком. Недоліком є те, що будь-які зміни в процесі призводять до змін в акустичному сигналі, що потребує ускладнення принципів моніторингу.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОД

Об'єктом дослідження є компактний флотаційний пристрій: вертикальний

флотаційний пристрій для відділення нафти від води з використанням флотаційного газу. Флотаційний пристрій має менший розмір та менший час дії в порівнянні з іншими традиційними флотаційними пристроями.

Акустична хеометрика була використана в якості інструменту для моніторингу потоку відхилення разом з датчиком Коріоліса. Даний метод має декілька переваг:

- Прогнози в реальному часі;
- Легке кріплення акустичних датчиків;
- Емпірична модель.

Вартість встановлення системи акустичної хеометрики є дуже низькою порівняно з вартістю встановлення датчика Коріоліса. Крім того, датчик Коріоліса надає інформацію про щільність та масу суміші, але не про індивідуальні складові потоку. А недоліком акустичної хеометрики є те, що вона потребує додаткових даних для побудови рівняння регресії. Регресія найменших квадратичних відхилень була використана для визначення оптимального положення акустичних датчиків шляхом оцінки витрати потоку відхилення у флотаційному пристрої.

1 Модель тестового кола з компактним флотаційним пристроєм

Хімікати та сіль спочатку додаються до води, щоб полегшити флотацію та зімітувати солону морську воду. Далі додається нафта в трубу з водою та багатофазна рідина поступає до флотаційної установки. Флотаційний газ також додається для покращення сепарації. В пристрій для дегазування подається рідина з флотаційного пристрою, а з цього пристрою вода та газ поступають до ємностей, звідки вони подавалася спочатку, тим самим утворюючи коло (рис. 1).

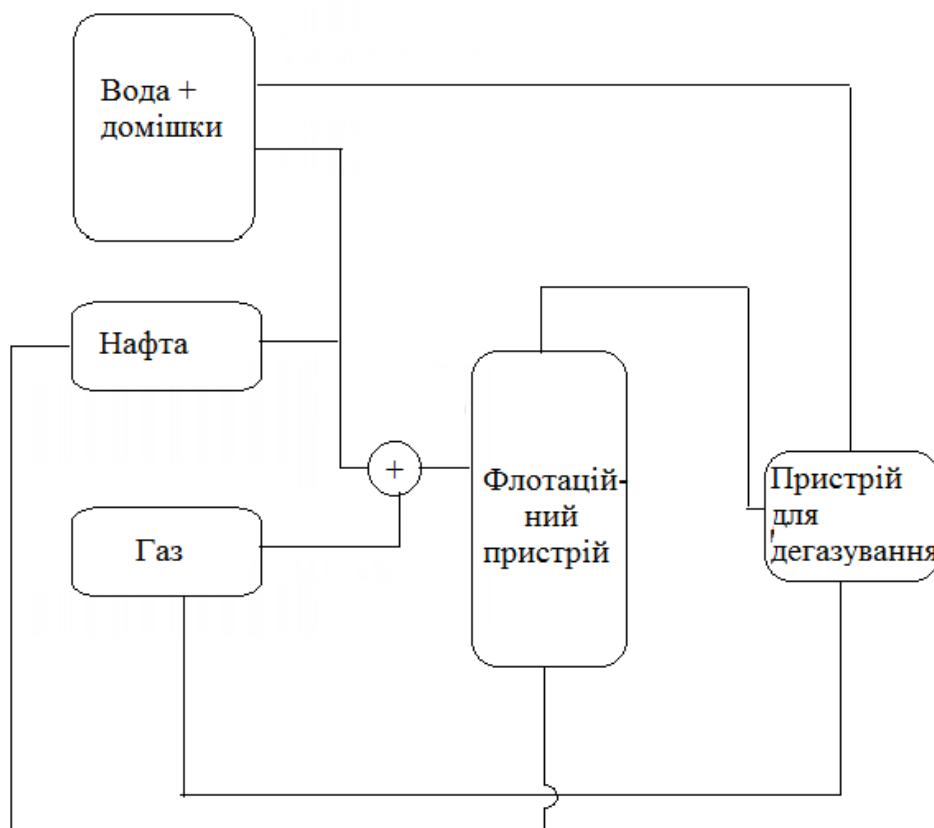


Рисунок 1 – Тестове коло з КФП

Флотаційний пристрій може працювати з різними потоками рідини, максимальне

значення потоку $6 \text{ м}^3/\text{год}$. Вхідна рідина складається з пластової води, нафти та азоту.

Потік відхилення складається з нафти, води та флотаційного газу. Потік відхилення вилучається з пристрою за допомогою труби зверху ємності.

2 Акустична хеометрика

В акустичній хеометриці акустичний датчик вимірює акустичний сигнал, що створюється робочим процесом. Цей сигнал надалі трансформується як частотний спектр, що може бути аналізованим будь-яким з методів хеометрики для видобутку потрібної інформації.

Для визначення найкращого положення акустичних датчиків декілька варіантів кріплення до труби були порівняні:

Датчики 1 та 4 були вмонтовані збоку труби до та після насоса відповідно, датчик 3 був вмонтований збоку труби в близькості до насоса, а датчик 2 був розташований зверху з кутом 90° градусів до розташування датчика 3 (рис. 2).

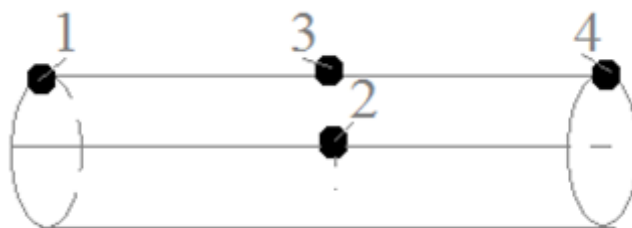


Рисунок 2 – Схема розташування акустичних датчиків

Акустичні датчики були під'єднані до пристроїв підсилення амплітуди. Фур'єрна трансформація далі була використана для змінення сигналу на частотний в діапазоні від 150 кГц до 300 кГц . Інші частоти були відфільтровані. Кожен спектр, що планувався бути аналізований, був середнім арифметичним спектром від 200 первинних спектрів. 50 зразків кожного спектра були записані для зменшення похибки вимірювань. Для запису кожного зразка потребувалося 4 секунди.

3. Експериментальний дизайн

Експеримент для знайдення найкращої позиції акустичного датчику

В цьому експерименті потік відхилення був обраний в якості вихідної величини. 10 рівнів потоку вхідного флотаційного газу були використані в діапазоні від $0.07 \text{ см}^3/\text{год}$ до $2.5 \text{ см}^3/\text{год}$. Послідовність потоку в ході експерименту була випадково обрана, щоб зменшити будь-яку форму систематизованого впливу на експеримент [4]. Кожний запис зразків проводився тільки після стабілізації показників потоку, тиску. Часткова регресія найменших квадратів була використана для визначення оптимальної позиції для датчиків. 10 рівнів потоків (кожен складався з 10 зразків) були прокалібровані та перевірені за допомогою сегментної перехресної перевірки.

Вивчення потоку відхилення

Після визначення оптимального розташування акустичного датчика, було застосовано 9 незалежних комплектів експериментів. 4 були використані для калібрування та 5 для перевірки моделі. Всі операційні налаштування були такі ж самі, як в попередньому експерименті.

РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

В багатомірному калібруванні акустичні спектри, що були записані від різних операційних налаштувань були прокалібровані відносно їх відповідних бажаних значень. Можливість передбачення моделлю окремих змінних буде фокусом даної частини.

Модель буде оцінена за допомогою таких параметрів, як середньоквадратична похибка передбачення, кореляційний коефіцієнт R^2 , нахил лінії цілі, графік загальної залишкової дисперсії [4].

1 Вивчення найкращої позиції акустичного датчику

В таблиці 1 наведені середньоквадратичні похибки передбачення, оптимальна кількість багатомірних компонентів для моделей для передбачення потоку відхилення з використанням одного з 4 можливих акустичних датчиків.

Відносна середньоквадратична похибка передбачення (відстокове відношення похибки до середнього значення вихідної величини y) склала 14. $R^2=0.96$ свідчить про сильний кореляційний зв'язок між передбаченими та виміряними величинами. Оскільки показники для всіх положень датчиків є приблизно однаковими, надалі будуть демонструватися тільки результати з використанням сенсора №2.

Таблиця 1 – Узагальнені результати моделей для передбачення потоку відхилення з використанням одного з 4 акустичних датчиків

Позиція датчика	Кількість компонентів	RMS ЕР	RMS ЕР (у % від вихідної величини)	RMS ЕР (у % від середнього значення вихідної величини)	R^2	Нахил
1	3	0.18	7.4	14.8	0.9	0.94
2	3	0.17	7	14	0.9	0.94
3	3	0.17	7	14	0.9	0.94
4	3	0.16	6.6	13.2	0.9	0.93

Рис.3 показує графік залежності передбачених від вимірних величин. З графіка загальної залишкової дисперсії очевидно, що три принципових компоненти можуть бути обраними оптимальними для даної моделі (рис. 3, б)). Графік залежності передбачених від вимірних величин (рис.3, в) показує, наскільки далеко розташовані зразки від лінії регресії. TU- залежність (рис. 3,а)) показує, чи можливо використовувати лінійну регресію для даної моделі.

Неможливо визначити оптимальне положення датчику, користуючись сигналами від акустичних датчиків, залежними від часу, тому виникла необхідність в багатомірному аналізі даних. З рис. 3 (а) видно, що залежність між величинами є декілька нелінійною. З рис. 3 (г) видно, що вплив першого компоненту на модель є постійним до 65 кГц, а потім він зменшується. Можна зробити висновок, що важливими для моделі є частоти в діапазоні 0-80 кГц. В діапазоні 0-52 кГц немає великої різниці між кривими для 2 та 3 компонентів. Але з 62 до 150 кГц можна бачити, що 2 та третій компонент мають між собою негативний кореляційний зв'язок. Через це весь спектр частот був включений до моделі.

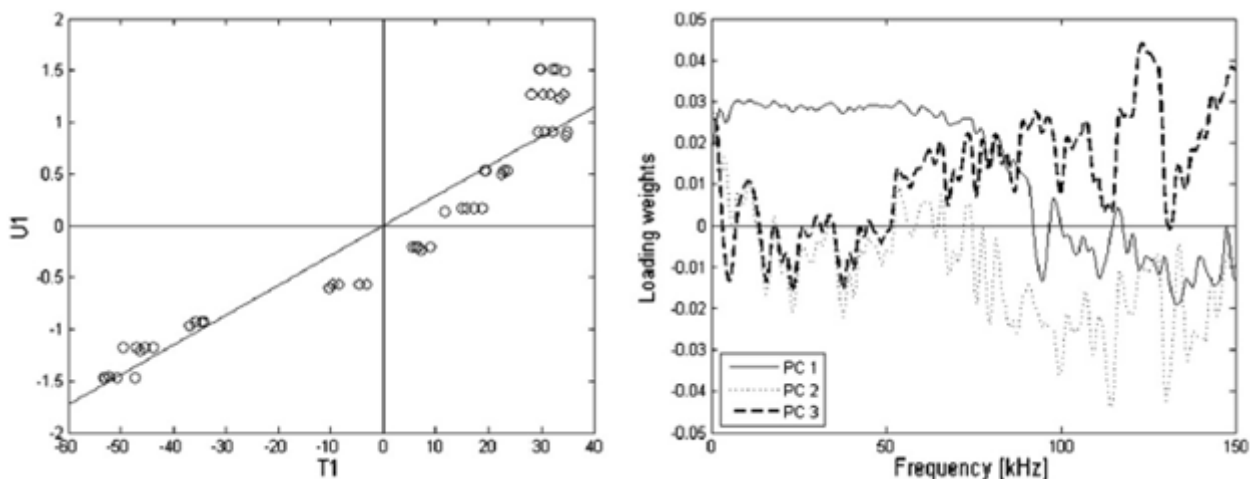


Рисунок 3 – Модель для передбачення потоку відхилення з використанням показів акустичного датчика 2: а) графік T-U залежностей; б) графік впливів;

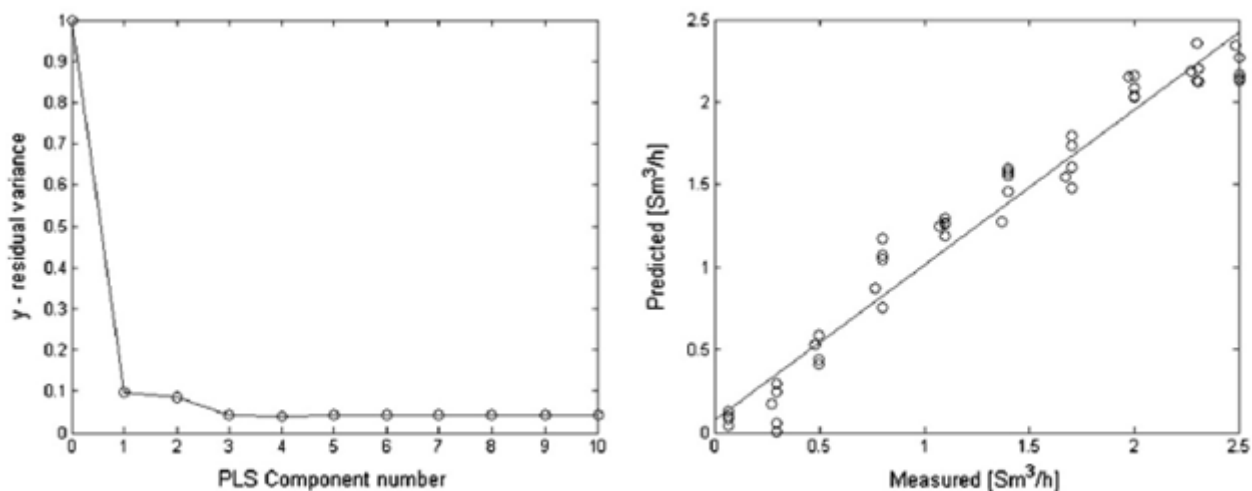


Рисунок 3 – Модель для передбачення потоку відхилення з використанням показів акустичного датчика 2: в) графік загальної залишкової дисперсії г) графік залежності передбачених від виміряних величин

2 Вивчення потоку відхилення

Рис.4 показує графік частотного спектру для трьох величин потоку відхилення. Графік показує зміни в акустичному спектрі, якщо потік газу збільшується. Таким чином, амплітуда піків частот також збільшується. Для вивчення можливості передбачення моделлю потоку відхилення, чотири незалежних набори даних були об'єднані для використання в одній моделі.

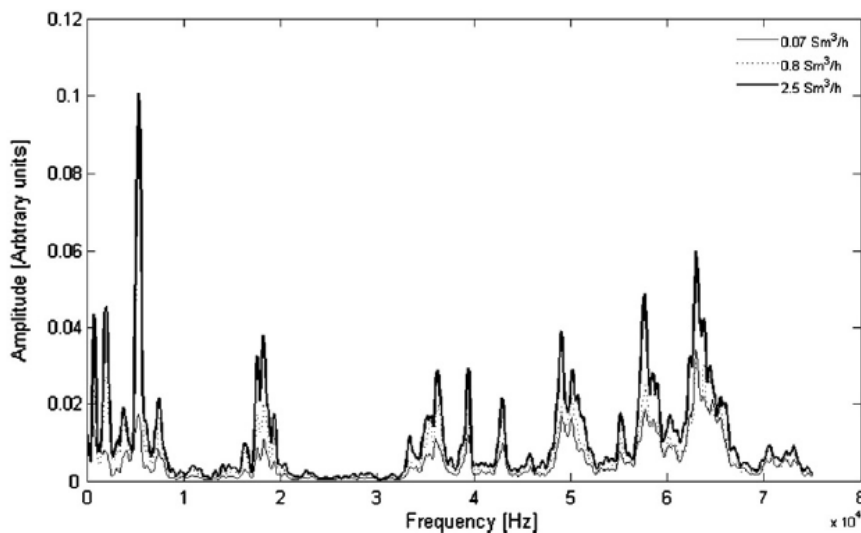


Рисунок 4 – Графік частотного спектру для трьох величин потоку відхилення

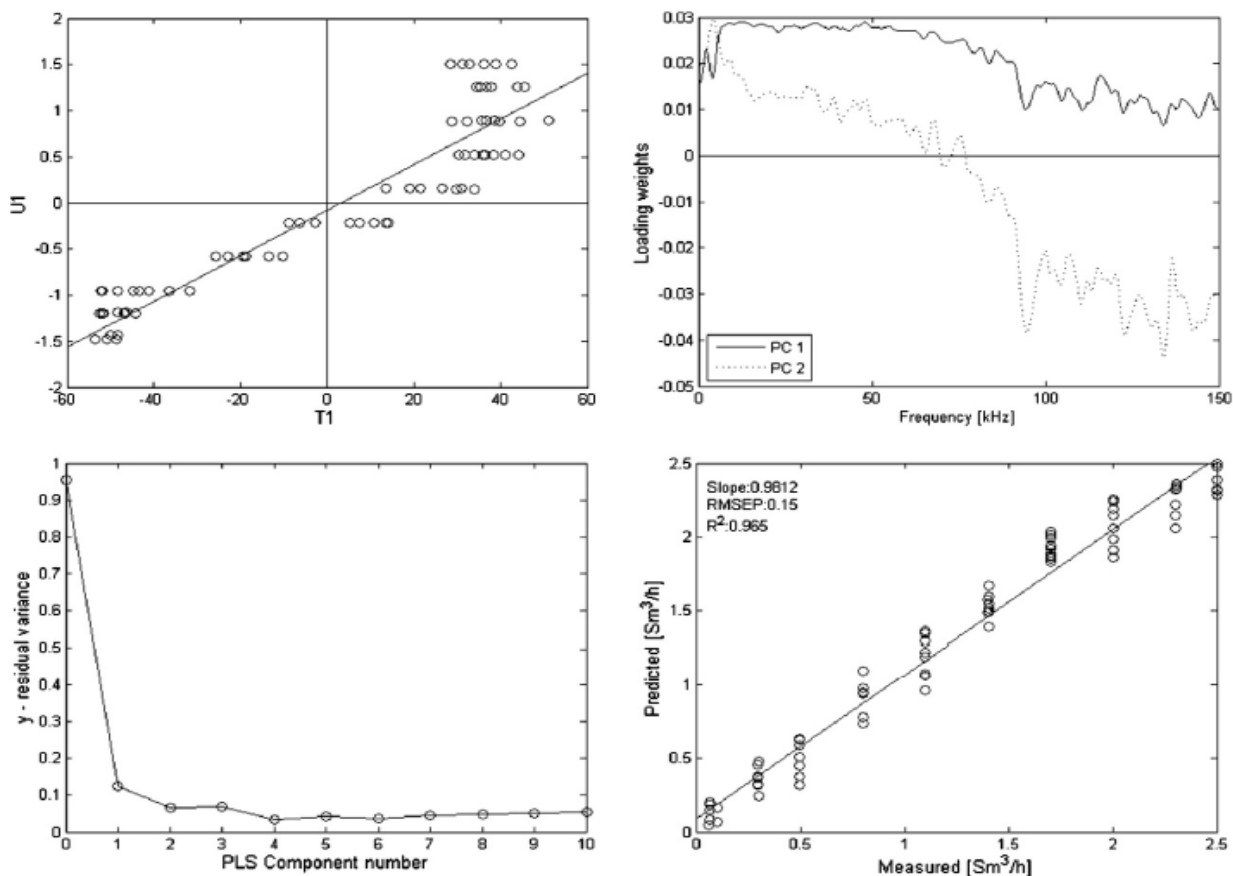


Рисунок 5 – Модель методу проєкції на латентні структури для передбачення потоку відхилення з використанням показів акустичного датчика 2: а) графік T-U залежностей;

б) графік впливів; в) графік загальної залишкової дисперсії г) графік залежності передбачених від виміряних величин

Рис.5 показує TU- залежність, графік загальної залишкової дисперсії та графік залежності передбачених від виміряних величин. Для моделі був зроблений висновок, що весь спектр частот має вплив на неї. Перший компонент пояснює найбільшу частину

моделі (рис. 5 б)), але чотири компоненти були обраними за оптимум. З графіку залежності передбачених від вимірюваних величин (рис 5, в)) може бути видно, що RMSEP рівна 6.2% (у % від вихідної величини), та R^2 рівний 0.965. Оскільки графік залежності від часу сприймається легше, ніж графік залежності передбачених від вимірюваних величин, на рисунку 6 наведений графік залежності передбаченої величини від часу. Дані результати можуть свідчити про те, що акустичні датчики разом з акустичною хемометрикою можуть бути використані для передбачення процесів в флотаційному пристрої з метою подальшого вивчення.

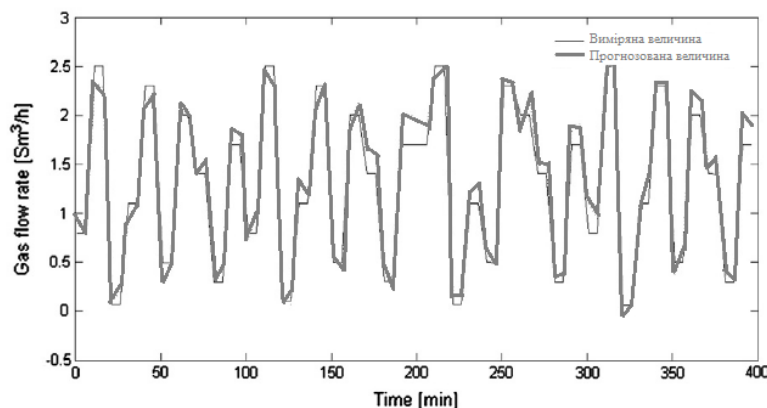


Рисунок 6 – Графік залежності прогнозованої та вимірюваної величини від часу для моделі для передбачення потоку відхилення з використанням показів акустичного датчика 2.

ВИСНОВКИ

Акустична хемометрика була вибрана як техніка для передбачення потоку відхилення в КФП. З експериментів з визначення оптимального положення датчиків був зроблений висновок, що позиція датчика не має великого впливу на результати аналізу.

Декілька моделей були прокалібровані з метою передбачити потік відхилення. Всі моделі показали похибку в межах допустимої. Навіть маючи обіцяючі результати, потрібне подальше вивчення застосування акустичних датчиків для процесів в КФП. Може бути вивчене використання акустичних датчиків для передбачення потоків рідини, газу, або ККД КПФ. Коли моделі будуть побудовані, вони потребують бути оптимізовані та протестовані на міцність(не знаю, як виразити те, що вони мають працювати бездоганно) в лабораторних умовах.

Перелік джерел

- [1] A. Szép, R. Kohlheb, Water treatment technology for produced water, Water Science and Technology (2010) 2372–2380.
- [2] R. Utvik, I. Toril, Chemical characterisation of produced water from four offshore oil production platforms in the North Sea, Chemosphere 39 (15) (1999) 2593–2606.
- [3] S. Soltani, D. Mowla, M. Vossoughi, M. Hesampour, Experimental investigation of oily water treatment by membrane bioreactor, Desalination 250 (2010) 598–600.
- [4] Ким Эсбенсен, Анализ многомерных данных, ИПХФ РАН: - Черноголовка, 2004

УДК 622.625.28

К.І. Петрова

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РОДОВИЩ

Анотація. В роботі проведено аналіз технічно-доступного енергетичного потенціалу геотермальних джерел енергії деяких областей України. Пропонується використовувати джерела геотермальної енергії замість традиційного палива для зниження енергетичних затрат та негативного впливу на навколишнє середовище.

Ключові слова: геотермальна енергія, потенціал геотермальної енергії, паливно-енергетичні ресурси, геотермальні джерела, термальні води, умовне паливо.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. В работе проведен анализ технически доступного энергетического потенциала геотермальных источников энергии некоторых областей Украины. Предлагается использовать источники геотермальной энергии вместо традиционного топлива для снижения энергетических затрат и негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: геотермальная энергия, потенциал геотермальной энергии, топливно-энергетические ресурсы, геотермальные источники, термальные воды, условное топливо.

ENERGY USE OF GEOTHERMAL FIELDS

Abstract. The paper analyzes the technical and affordable energy potential of geothermal energy some regions of Ukraine. It is proposed to use geothermal energy sources instead of traditional fuels to reduce energy costs and negative effects on the environment.

Keywords: geothermal energy, potential of geothermal energy, fuel and energy resources, geothermal sources, thermal water, standard fuel.

Проблема енергозбереження стає однією з найважливіших в енергетиці. Збільшення потреб в енергії зумовлене зростанням світового населення, розвитком світової промисловості і індустріалізації країн, що розвиваються. Це веде до значного виснаження світових запасів вуглеводневих видів палива, таких як газ, нафта і вугілля, які є джерелами традиційного енергопостачання.

Серед багатьох невичерпних джерел енергії значний потенціал і великі перспективи розвитку має геотермальна енергія. За рахунок безперервного природного охолодження ядра, радіоактивного розпаду елементів, хімічних реакцій в надрах Землі, геотермальна енергія вважається відновлювальним та цінним джерелом енергії.

Середній потік геотермальної теплоти через поверхню землі складає приблизно $0,06 \text{ Вт/м}^2$ за температурного градієнта до 30°C/км . У деяких районах землі потоки геотермальної теплоти досягають $10\text{--}20 \text{ Вт/м}^2$, що дає змогу встановити геотермальні електростанції ГеоТЕС.

Застосування геотермальних джерел є дуже розвинутим у багатьох країнах світу. В даний час термальні води з економічною вигодою застосовують для обігріву будинків, теплиць, курортів, а іноді цілих заводів і навіть міст. Також люди користуються теплими джерелами для медичних та побутових цілей.

Україна має великий потенціал використання геотермальної енергії. На території держави існують чотири великі артезіанські басейни, де можливо організувати видобування термальних вод в промислових масштабах. Це Закарпатський,

Передкарпатський, Дніпровсько-Донецький і Причорно-морський басейни. Прогнозні ресурси цих басейнів становлять 27,3 млн. м³/доб термальних вод з середньою температурою 70 °С (рис.1.)



Рисунок 1 - Мапа України

Основна мета розвитку використання геотермальних джерел в Україні є зниження використання паливно-енергетичних ресурсів. Оцінка зменшення споживання традиційного органічного палива за рахунок використання геотермальної енергії виконана шляхом співставлення обсягів умовного палива, що можуть бути зекономлені при використанні геотермальної енергії з обсягом умовного палива, що відповідають існуючим витратам.

Обсяги споживання ПЕР по регіонах України у 2013 році є дуже нерівномірними (рис. 2) і близько 16 регіонів не забезпечують власні потреби у енергоресурсах.

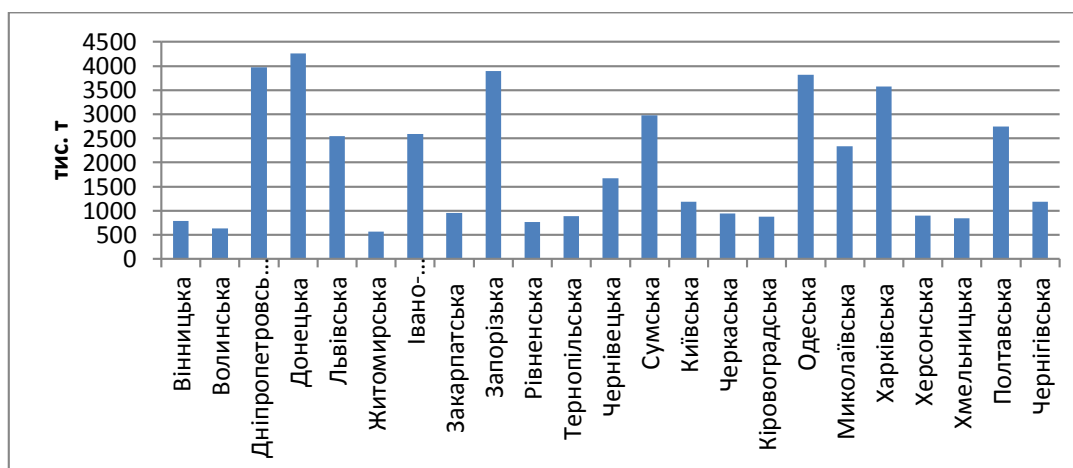


Рисунок 2 – Споживання ПЕР по областях України

За методикою [1] можна визначити економію ПЕР для виробництва теплової та електричної енергії для різних регіонів України враховуючи наявність геотермальних джерел.

Для розв'язку цієї задачі розглянемо певні області у відповідності до рисунку 1.

При розрахунку об'єму умовного палива, що економиться при впровадженні геотермальних ресурсів, використовуються формули:

1) Виробництво теплоти

$$V^T = \frac{860 \cdot E_{TD}^T}{\zeta \cdot \eta} - \frac{860 \cdot E_{TD}^T \cdot 30}{\zeta \cdot \eta_{KV} \cdot \eta_{\zeta} \cdot \eta_B},$$

де E_{TD}^T - технічно доступний енергетичний потенціал термальних вод;

ζ - теплота згорання умовного палива, 7000 ккал/кг;

η - коефіцієнт тепловтрат котельних, 0,85;

η_{KV} - ККД котельної установки на вугіллі, 0,9;

η_{ζ} - термічний коефіцієнт циклу паливних електростанцій працюючих на вугіллі, 0,3;

η_B - коефіцієнт втрат при перетворенні механічної енергії в електричну, 0,95.

Перша частина формули характеризує частину палива, що може бути зекономлена, друга – кількість палива, яка необхідна для виробництва електроенергії, котра споживається при видобуванні геотермального теплоносія. Приймаємо, що на 1 МВт·год. виробленої геотермальним джерелом енергії витрачається 30 кВт·год. електричної.

2) Виробництво електроенергії

$$V^E = \frac{860 \cdot E_{TD}^{EL}}{\zeta \cdot \eta_{KV} \cdot \eta_{\zeta} \cdot \eta_B},$$

де V^E - річний об'єм зекономленого умовного палива;

E_{TD}^{EL} - технічно доступний електроенергетичний потенціал перегрітих термальних вод термоаномальних площ.

Результати отриманих розрахунків по чотирьом областям України занесені в таблицю.

Технічно-доступний енергетичний потенціал областей України

Області	Технічно-доступний теплоенергетичний потенціал, $\frac{\text{млн. т у.п.}}{\text{рік}}$	Технічно-доступний електроенергетичний потенціал, $\frac{\text{млн. т у.п.}}{\text{рік}}$	Річний об'єм зекономленого умовного палива	
			V^T , млн. т у.п.	V^E , млн. т у.п.
Закарпатська	2,77	1,0	0,36	0,45
Донецька	2,84	-	0,37	-
Харківська	1,82	0,5	0,24	0,24
Миколаївська	4,21	-	0,54	-

Проаналізуємо, як зменшиться споживання ПЕР з додатковим використанням геотермальної енергії (рис. 3).

З графіку бачимо, що доцільно використовувати енергію геотермальних джерел. В Закарпатській області геотермальна енергія може повністю замінити традиційне паливо, в Миколаївській області – покрити половину витрат ПЕР, а в Донецькій та Харківській областях – 1/3 частини споживання ПЕР.

Аналіз економічної доцільності широкого використання термальних вод показує, що їх варто застосовувати для опалення і гарячого водопостачання комунально-побутових, сільськогосподарських і промислових підприємств, для технологічних цілей, добування цінних хімічних компонентів та ін.

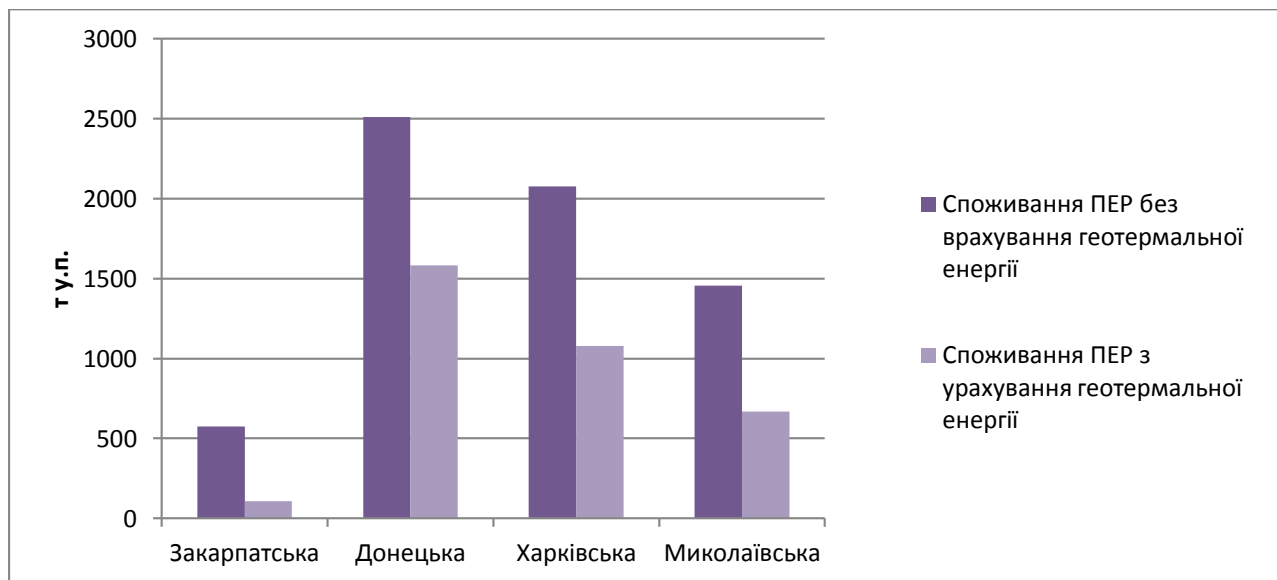


Рисунок 3 – Споживання ПЕР

Україна має великий потенціал використання геотермальної енергії, але масштаби використання обмежені витратами на спорудження свердловин, вартість яких зростає зі збільшенням їх глибини, та відсутністю інвесторів.

Література:

Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України/ Г.М.Забарний, А.В.Шурчков. – К.: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2002. – 211с.

РОЗДІЛ D
ГЕОТЕХНОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

УДК 614.876

Наумчук О.С., Лемешко О.Г.
Наумчук О.С., Лемешко О.Г.
O. Naumchuk, O. Lemeshko

АНАЛІЗ РИЗИКІВ АЕС НА СТАН ЗДОРОВ'Я ЖИТЕЛІВ ПРИЛЕГЛИХ РЕГІОНІВ
АНАЛИЗ РИСКОВ АЭС НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЖИТЕЛЕЙ
ПРИЛЕГАЮЩИХ РЕГИОНОВ
ANALYS OF THE AES RISKS ON THE SURROUNDING REGIONS CONDITIONS'
HEALTH

Анотація. В статті подано аналіз ризиків стану здоров'я жителів прилеглих до АЕС територій в результаті впливу радіоактивних ізотопів іонізуючого випромінювання на прикладі Миколаївської, Кіровоградської та Івано-Франківської областей.

Ключові слова. АЕС, радіоактивний вплив, іонізуюче випромінювання, радіоактивні ізотопи, онкологічні захворювання.

Анотация. В статье представлен анализ рисков состояния здоровья жителей прилегающих к АЭС территорий в результате воздействия радиоактивных изотопов ионизирующего излучения на примере Николаевской, Кировоградской и Ивано-Франковской областей.

Ключевые слова. АЭС, радиоактивное воздействие, ионизирующее излучение, радиоактивные изотопы, онкологические заболевания.

Abstract. The analysis of the AES risks on the surrounding regions conditions' health as a result of radioactive isotopes of ionizing radiation's influence for example Mykolaiv, Kirovograd and Ivano-Frankivsk districts is presented in the article.

Key words. Nuclear power station, radioactive impact, ionizing radiation, radioactive isotopes cancer.

Вступ. На даний момент існує безліч думок з приводу впливу АЕС (та й атомних підприємств взагалі) на стан здоров'я людей. Після опублікованих, здавалося б, беззаперечних доказів небезпечного впливу, завжди знаходяться автори, що поставлять під сумнів подібні висновки [1], [2], [3]. Разом з тим існує величезна кількість досліджень, присвячених впливу тих чи інших радіонуклідів на здоров'я людини [4], [5], [6].

Завдання. 1. Визначити захворювання, викликані ізотопами іонізуючого випромінювання.

2. Провести порівняння стану здоров'я жителів прилеглих до АЕС територій (на прикладі Миколаївської, Кіровоградської та Івано-Франківської областей) за критерієм захворювань, викликаних іонізуючим випромінюванням.

3. Визначити основну категорію захворювань у обраних регіонах.

Мета дослідження. Отримати уявлення про вплив радіонуклідів навколо АЕС на здоров'я населення прилеглих територій.

Методи дослідження. До основних загальнонаукових методів дослідження, які використані, відносяться: діалектичний метод пізнання; логічний та формально логічний методи; метод порівняння, узагальнення, систематизації та синтезу; групування, статистичні, математичні, графічного аналізу.

Теоретико - інформаційну основу становлять періодичні та монографічні видання, матеріали міжнародних, всеукраїнських науково-практичних конференцій, статистичні матеріали Державного комітету статистики України, медичні бюлетні.

Результати дослідження. Виділимо основні захворювання, спричинені впливом радіонуклідів на населення прилеглих до АЕС територій:

1. Цезій-137, який швидко концентрується в харчових ланцюжках і, потрапляючи в організм людини, затримується в м'язових клітинах, стає причиною одного з різновидів ракових захворювань – саркоми.
2. Стронцій-90 потрапляючи в організм людини, може замінювати кальцій у твердих тканинах і грудному молоці. Це призводить до розвитку раку кістки, раку крові (лейкемії), до раку грудей.
3. Криптон-85 поглинається тканинами тіла при диханні і добре розчиняється в жирових тканинах людини і тварини. Відомо, що навіть малі дози опромінення Критоном-85 можуть підвищити частоту раку шкіри. Особливо небезпечний для вагітних.
4. Плутоній навіть у малих дозах у разі потрапляння в організм людини, призводить до раку крові, кісток, легенів, печінки, каліцтва у новонароджених.
5. Радіоактивний йод (йод-128, йод-131). В експериментах над ссавцями викликає порушення гормонального рівня, летаргію і ожиріння. Мало вивчені, але теоретично досить небезпечні наслідки заміщення в живих тканинах звичайного водню на тритій [7].

Прослідкуємо динаміку захворюваності на хвороби, спричинені викидами радіонуклідів біля АЕС. Найпоширенішими є онкологічні хвороби. Таким чином, для порівняння обираємо регіон з наявною АЕС (Південноукраїнська АЕС) та прилеглими до його регіонами – Миколаївська, Кіровоградська та Івано-Франківська обл..

Таблиця 1. Статистика онкологічних захворювань Миколаївської, Кіровоградської та Івано-Франківської областей у динаміці 2012-2013р

Адміністративна область	Кількість захворювань на 100 тис. осіб, N		Δ , на 100 тис. осіб $\Delta = N_{2013} - N_{2012}$	Кількість захворювань в Україні на 100 тис. осіб		Відносна частка захворювань на 100 тис. осіб	
	2012	2013		2012	2013	2012	2013
Миколаївська	417,5	413,0	-4,5	378,49	370,7	1,10	1,11
Кіровоградська	2277,7	2373,3	95,6			6,02	6,40
Івано – Франківська	277,8	279,6	1,8			0,75	0,74

**Примітка. На основі даних Бюлетень Національного канцер-реєстру № 14 – «Рак в Україні, 2011-2012» [8]*

З приведеної таблиці видно динаміку розвитку онкологічних захворювань у вище згаданих областях в період 2012-2013 років. Як бачимо, станом на 2012 рік у Миколаївській області зареєстровано 417,5 захворювань на 100 тис. осіб. Станом 2013 цей показник становив 413,0, що свідчить про зменшення захворювань на 4,5. Що стосується Кіровоградської області, що є сусідньою до області з АЕС (Миколаївська), ситуація з роками суттєво змінювалась. Так, у 2012 зареєстровано 2277,7 захворювань на 100 тис. осіб. На 2013 рік згаданий показник збільшився на 95,6 і становив 2373,3 захворювань. У Івано-Франківській області, незважаючи на відсутність АЕС, спостерігається динаміка збільшення захворювань на 1,8 осіб на 100 тис. осіб. Так, на 2012 рік зафіксовано 277,8 захворювань, а в 2013 цей показник збільшився до 279,6, із різницею у 1,8 осіб.

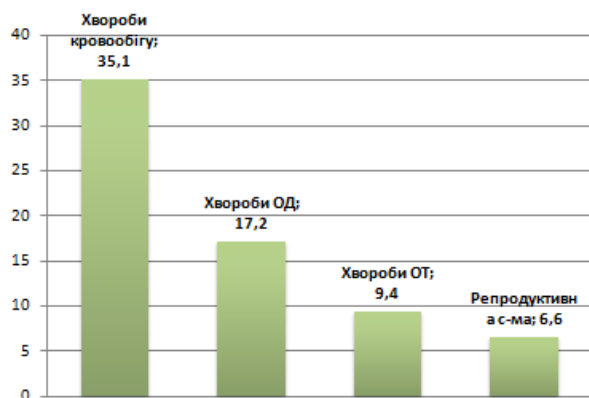
Прослідкувавши динаміку онкологічних захворювань по території України за звітний період на 2012 рік кількість захворювань по всій Україні становила 378,49, а уже у 2013 цифра зменшилась до 370,7 захворювань на 100 тис. осіб.

З отриманих даних відносна частка захворювань, що припадає на певну область, розділилась наступним чином: на Миколаївську область станом на 2012 відносний показник захворювань становив 1,10, а на 2013 рік припадає 1,11 від загальної кількості захворювань по Україні, на Кіровоградську область у 2012 маємо показник 6,02 і 2013 рік – 6,40. У динаміці Івано-Франківської області аналогічні показники на 2012 рік становили 0,75 і 2013 рік – 0,74.

Отримані цифри свідчать про те, що у областях, прилеглих до АЕС - Миколаївська, Кіровоградська (де відстань до найближчої АЕС відповідно - 119 км та 138 км), кількість захворювань на 100 тис. осіб є набагато вищою, ніж у областях, де відсутня АЕС (відстань до найближчої АЕС - 292 км).

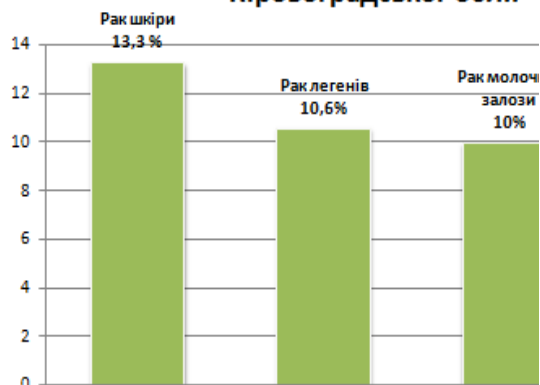
Розглянемо захворювання, які переважають в наведених областях. На діаграмі 1 наведена статистика основних захворювань Миколаївської обл., діаграмі 2 – Кіровоградської, діаграмі 3 – Івано-Франківської обл..

**Структура захворюваності
Миколаївської обл.**



Діаграма 1 – Структура захворюваності
Миколаївської області

**Структура захворюваності
Кіровоградської обл..**



Діаграма 2 – Структура
захворюваності Кіровоградської області

**Структура захворювань Івано-
Франківської області**



Діаграма 3 – Структура захворюваності Івано-
Франківської області

Розглянувши вище наведені діаграми, можна зробити висновки про розвиток захворювань у кожній розглянутій області окремо. Так, аналізуючи Кіровоградську область, отримали наступні дані: на рак шкіри, молочної залози і легенів, припадає 13,3, 10 і 10,6% відповідно від усіх видів захворювань у даному регіоні.

Структура захворюваності Миколаївської області показує, що злоякісні новоутворення у даній області не займають одне з перших місць серед усіх типів хвороб. Проте, хворобами кровообігу страждає 51 % населення, на хвороби органів дихання (ОД) скаржаться 25%, хворобами органів травлення (ОТ) - 14%, а на хвороби репродуктивної системи - 10% жителів області.

У Івано-Франківській області спостерігаємо малий відсоток онкологічних захворювань. Так, одну з найперших позицій розділяють хвороби кровообігу і нервової системи (2,1% та 3,1%), а також хвороби сечостатевої системи (2,8%).

Висновки

Питання впливу АЕС на стан здоров'я населення є досить актуальним. Спостерігається динаміка зростання кількості хвороб, викликаних впливом радіонуклідів на здоров'я жителів регіонів, прилеглих до АЕС.

Проаналізувавши дані 2012-2013 років на прикладі Миколаївської, Кіровоградської та Івано-Франківської областей робимо висновок про ризики впливу радіоактивних ізотопів іонізуючого випромінювання АЕС на стан здоров'я жителів прилеглих регіонів (жителі прилеглих територій страждають від онкологічних захворювань більше, ніж жителі територій, віддалених від АЕС).

Перелік посилань

1. Махонько К.П., Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г. Контроль за радиоактивным загрязнением природной среды в окрестностях АЭС. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 136 с.
2. Ferlay J. Estimates of cancer incidence and mortality in Europe in 2008/J. Ferlay, D.M. Parkin // Eur. J. Cancer. – 2010. – Vol. 46. – P. 765-781.
3. Boyle P. Epidemiology of colorectal cancer / P. Boyle, M.E. Leon // Brit. Med. Bull. – 2002. – Vol. 64. – P. 1-25. 3. IARC Scientific Publications No. 160, Lyon, IARC. World Health Organization, mortality database [http:// www.who.int/whosis/](http://www.who.int/whosis/) (accessed on 07/01/2010).
4. Барбашев С.В. Концепция и принципы организации и ведения экологического мониторинга районов расположения АЭС // Радиационная и экологическая безопасность предприятий ядерного топливного цикла. - Вып. 2. - Одесса, 1997. - С. 80 - 88.
5. Нягу А. И., Логановский К.Н. Изменения в нервной системе при хроническом воздействии ионизирующего излучения. // Журн. невропат. и психиатрии им. С.С. Корсакова. - 1997. - №2. - С. 62-70.
6. Вейн А.М., Соловьева А.Д., Колосова О.А. Вегетососудистая дистония. - М.: Медицина, 1981. - 318 с.
7. Медико – демографічна ситуація та основні показники медичної допомоги населенню в регіональному аспекті за 2013 р.
8. Бюлетень Національного канцер-реєстру № 14 - "Рак в Україні, 2011-2012".

УДК

О.В. Петренко, Н.А.Шевчук

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНОГО РЕАКТОРУ ПРИ ОЧИЩЕННІ
ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ НА ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНОГО РЕАКТОРА ПРИ
ОЧИСТКЕ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ НА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THERMOCATALYTIC REACTOR
IN THE PURIFICATION OF HARMFUL GASES CHEMICAL PLANTS

Розглянуто каталітичні методи, що використовуються в інженерній практиці для очищення токсичних газів, зокрема термокаталітичний реактор., принцип його дії, основні характеристики. Виявлено переваги та недоліки термокаталітичного реактору.

Ключові слова: хімічна промисловість, токсичні гази, каталітичне очищення, термокаталітичний метод, термокаталітичний реактор, каталітичне окислення, температура.

Рассмотрены каталитические методы, используемые в инженерной практике для очистке токсичных газов, в частности термокаталітичний реактор., принцип его действия, основные характеристики. Выявлены преимущества и недостатки термокаталітичного реактора.

Ключевые слова: химическая промышленность, токсичные газы, каталитическую очистку, термокаталітичний метод, термокаталітичний реактор, каталитическое окисление, температура.

Consider the catalytic methods used in engineering practice for the treatment of toxic gases, particularly termokatalitichny reactor., Its operating principle, the main characteristics. The advantages and disadvantages termokatalitichnoy reactor.

Keywords: chemicals, toxic gases, the catalytic cleaning termokatalitichny method termokatalitichny reactor catalytic oxidation temperature.

Рівень розвитку хімічної промисловості тієї чи іншої країни є важливим показником її індустріального розвитку і економічної незалежності. Що стосується України, то хімічна промисловість є однією із провідних галузей її народногосподарського комплексу, галуззю її спеціалізації у міжнародному поділі праці.

Розвиток хімічної промисловості потребує все більшого акцентування уваги на розробці та впровадженні високоефективних енерго - та ресурсозберігаючих, а також екологічно чистих технологій. З точки зору екології основною проблемою хімічної промисловості залишається високий рівень антропогенного навантаження на екосистему.

Оскільки на сьогоднішній день система очищення токсичних газів на хімічних підприємствах недосконала, предметом статті було обрано каталітичне очищення термокаталітичними реакторами відпрацьованих газів. Розглянуто переваги та недоліки таких реакторів.

Каталітична очистка заснована на процесі знешкодження шкідливих домішок, зокрема метану, етилену, пропілену, пропану, ацетону, етилацетату, бензолу, ксилолу, толуолу та ін. Температура початку окислення на каталізаторах для різних речовин неоднакова.

В інженерній практиці зараз відомі два конструктивні варіанти газоочисних

каталітичних установок:

- каталітичні реактори, в яких здійснюється контакт газоповітряного потоку з твердим каталізатором, розташованих в окремому корпусі;
- термокаталітичні реактори (апарати), у яких в загальному корпусі розташовані контактний вузол з підігрівом.

Суть термокаталітичного методу полягає в деструкції та окисленні органічних речовин киснем повітря (до 10 г/м³) при підвищених температурах (вище 450 °С) у присутності каталізатора в реакторах. Як каталізатори можуть використовуватися метали(платина,паладій) або їх сполуки(оксиди міді,марганцю та ін.).

Про активність каталізатора свідчить кількість продукту, отриманого з одиниці об'єму каталізатора, або об'ємна швидкість каталітичного процесу, при яких забезпечується потрібний ступінь знешкодження оброблюваного газу.

Каталізаторна маса зазвичай виготовляється з кульок, кілець, пластин або дроту сплетеного у вигляді спіралі із ніхром, нікелю, оксиду алюмінію з нанесенням на їх поверхню благородних металів. Каталітичний шар повинен створювати незначний перепад тиску,забезпечити максимальну поверхню контакту з газовим потоком і максимальну довговічність каталізатора.

Термокаталітичні реактори (ТКР) використовуються для очищення і знешкодження технологічних токсичних газів коксохімічних, металургійних, абразивних, електродних та інших виробництв, у викидах яких присутні органічні сполуки.

Принцип дії термокаталітичного реактора

Очищення токсичних газів здійснюється шляхом застосування термокаталітичного реактора, схема якого зображена на рисунку 1.

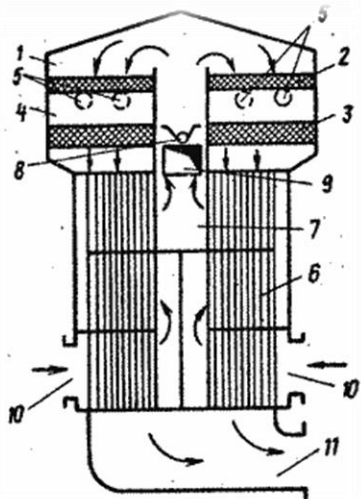


Рисунок 1 – Схема термокаталітичного реактора

Термокаталітичний реактор працює наступним чином. Відхідні газі,що містять не менше 17% кисню, по патрубках 10 подають в міжтрубний простір повітрянагрівача 6, де їх підігрівають і направляють у верхню частину центрального каналу 7, в якому їх ділять на 2 потоки. Один з них подають на газовий пальник 8 для нагріву до температури початку каталітичного окислення и далі направляють в реакційну камеру 1, де пропускають через каталітичну касету 2. В ній відбувається каталітичне окислення токсичних речовин до нешкідливих, у результаті чого температура на виході із касети 2 очищеного потоку газів збільшується. Очищений потік газів поступає в газозмішувальну камеру 4. Одночасно туди ж подають другий газовий потік із повітропроводу 9 по перфорованим трубам 5, де він змішується з першим потоком. Загальний потік з температурою початку каталітичного окислення пропускають через каталізаторну касету 3, в котрій відбувається каталітичне окислення токсичних речовин до нешкідливих. Далі очищені газі направляють в трубний простір повітрянагрівача 6, в якому віддавши основну частину свого тепла відхідним газам, прямуючим на очистку, через патрубок 11 евакууються або на потреби підприємства, або в атмосферу.

Основні характеристики термокаталітичного реактора

Технічні характеристики на прикладі стаціонарного термокаталітичного реактора (ТКР)

– С).

- У реакторах можуть бути використані каталізатори з різними за формою носіями - як з блочною щільною структурою, так і гранульованих;
- В якості енергоносія можуть бути використані газове або рідке паливо, електроенергія;
- Реактори характеризуються наступними показниками:
 - питомі витрати палива ($Q = 41,8 \text{ МДж/кг}$) 0 - 2,5 кг;
 - потужність вентиляторів 1 - 2 кВт;
 - питома металоємність апарату 500-800 кг;
- Ступінь очищення газоповітряних викидів, що містять шкідливі органічні сполуки (при концентраціях до 6 грам на кубометр), вище 96%;
- Температура очищених газів на виході 200-250°C (тепло може бути використано в процесі очистки або іншому технологічному процесі);
- Витрата природного газу 5 м³/год на 100 м³/год відхідних газів;
- Сумарна площа активної поверхні каталізатора 70 одного модуля 70 м²;
- Відпрацьований каталізатор можна використовувати у якості термоізоляційного матеріала.

Переваги термokatалітичного методу очищення

- Високий ККД – 96-97%;
- Невисока вартість. (у порівнянні з іншими способами очищення) Орієнтовна ціна – 350 тис. грн.;
- Дешевизна, простота і легкість експлуатації.(процес легко піддається автоматизації).
- Висока надійність. (простота - запорука надійності);
- Довговічність. (гарантійний термін експлуатації змінного каталізатора - 12 місяців в залежності від концентрації супутніх твердодисперсних аерозолів-пилу у відхідних газах);
- швидка окупність.

Недоліки термokatалітичного методу

- додаткові витрати енергії (палива) на підігрів очищуваного потоку при низьких концентраціях шкідливих речовин в вентиляційних викидах;
- викид гарячого газу після рекуперації тепла в атмосферу;
- значні капітальні і поточні витрати на експлуатацію внаслідок високих метало - та енергоємності обладнання;
- необхідність ретельного очищення газів від зважених і смолистих речовин;
- правильний вибір каталізатора, його стійкість до каталітичних отрут, механічна міцність, низька вартість, можливість регенерації;
- каталітичне очищення одних газів призводить до утворення інших токсичних речовин, сірчисті сполуки є отрутою для більшості каталізаторів, а попадання частинок пилу і парів води знижує їх активність.

У ході наших досліджень мі дійшли висновку, що попереднє очищення відпрацьованих газів хімічних підприємств, перед скиданням в атмосферу – загальнодержавна проблема. Термокatalітичний метод очищення токсичних газів є одним із способів подолання цієї проблеми. Однак, зважаючи на свої технічні

характеристики він має як ряд переваг так і ряд недоліків. Подолання існуючих недоліків є передумовою формування екологічно чистої хімічної промисловості в нашій державі.

Використані джерела :

1. Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров: Учебник для вузов – 2-е изд. перераб. и доп. Под ред. Ржевского В. В. – М.; Недра, 1985. – 272 с.
2. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер. с англ./Под. ред. А. Ф. Туболкина. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
3. Батура П. И. Каталитические реакторы для дожигания отходящих газов//Кокс и химия. 1991. №5. С. 32-34.
4. Химнефтемаш. М. Термокаталитические реакторы для очистки газов // Каталожный листок / ЦИНТИ, 1984.-- 84 с.

В.О. Носова, Н.А. Шевчук

«ЗЕЛЕНА ЕКОНОМІКА» ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ ДО
СТАЛОГО РОЗВИТКУ У КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ХХІ
СТОЛІТТЯ

«ЗЕЛЕНАЯ ЭКОНОМИКА» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕХОДА УКРАИНЫ К
УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
ХХІ ВЕКА

"GREEN ECONOMY" TO ENSURE UKRAINE'S TRANSITION TO SUSTAINABLE
DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE
XXI CENTURY

Розглянуто етапи зміни економічної системи в Україні з часів незалежності. Проаналізовано роль введення екологічного податку замість збору за забруднення навколишнього середовища, що має стимулювати розвиток «зеленої економіки» при впровадженні сталого розвитку. Виявлено необхідність розвитку України шляхом економічного зростання, демократизації суспільного життя, раціонального використання природних ресурсів.

Ключові слова: зелена економіка, сталий розвиток, екологічний податок, навколишнє середовище.

Рассмотрены этапы изменения экономической системы в Украине со времен независимости. Проанализирована роль введения экологического налога вместо сбора за загрязнение окружающей среды, что должно стимулировать развитие «зеленой экономики» при внедрении устойчивого развития. Выявлена необходимость развития Украины путем экономического роста, демократизации общественной жизни, рационального использования природных ресурсов.

Ключевые слова: зеленая экономика, устойчивое развитие, экологический налог, окружающая среда.

Consider the stages of change in the economic system in Ukraine since independence. The role of the introduction of an environmental tax, instead of the fee for pollution, which should encourage the development of "green economy" in the implementation of sustainable development. The necessity of development of Ukraine through economic growth, democratization of public life, the rational use of natural resources.

Keywords: green economy, sustainable development, environmental tax, okruzhayuschaya Wednesday.

Сталий розвиток господарства – проблема суперечлива, про нього можна говорити лише тоді, коли економічне зростання, матеріальне виробництво та споживання, інші види суспільної діяльності відбуваються в межах, визначених здатністю екологічних систем до відновлення. Основними засадами стійкого розвитку передусім передбачається екологізація економіки, гуманізація, запровадження певної системи принципів підходів до питань суспільної діяльності.

Серед основних чинників, що забезпечують сталий розвиток, можна виділити такі:

- екологічний – визначає умови й межі відновлення екологічних систем унаслідок їх експлуатації;
- економічний – передбачає формування економічної системи, гармонізованої

з екологічним чинником розвитку;

- соціальний – утверджує право людини на високий життєвий рівень в умовах екологічної безпеки й благополуччя. [1].

Зменшення залежності економіки від традиційних джерел енергії є важливим фактором її розвитку. Згідно з даними Всесвітнього фонду охорони природи, потреби людства в природних ресурсах перевищують можливості їх задоволення на 50 % [2], тому, якщо способи господарювання та пріоритети розвитку суспільства не будуть змінені, та до 2050 року для виживання людства необхідно буде використовувати ресурси трьох таких планет як Земля. Необхідним чинником зміни підходів до використання природних ресурсів є перехід до «зеленої економіки», суть якої полягає в можливості ефективного використання наявних природних багатств [3].

Найпоширенішим є таке визначення «зеленої економіки»: зеленою вважається економіка, яка веде до підвищення добробуту людей і зміцнення соціальної справедливості при взаємному зниженні ризиків для довкілля і дефіциту екологічних ресурсів [4]. При цьому концепція «зеленої економіки» не замінює собою концепції сталого розвитку, однак досягнення стійкості значною мірою визначаються правильністю розвитку економіки.

Поняття «зелена економіка» розглядається в контексті зниження викидів вуглецевих сполук, підвищення ефективності використання всіх видів ресурсів, формування системи відповідності інтересам суспільства.

Україна, територіально розташована в Європі, є самостійною державою з 1991 року і нині проходить складний етап трансформації економіки та соціальної сфери. Національними пріоритетами розвитку України є [5]: подолання бідності, забезпечення якісної освіти впродовж життя, гендерної рівності; зменшення дитячої смертності; поліпшення здоров'я матерів; обмеження поширення ВІЛ-інфекції / СНІДу та туберкульозу і започаткування тенденції до скорочення їх масштабів; сталий розвиток навколишнього середовища.

Необхідність розвитку України шляхом сталого розвитку, економічного зростання, поєднаного з активною соціальною політикою держави, демократизацією складових суспільного життя, вимагає формування якісно нової державної регіональної політики. Актуальним є питання про заміну ролі екологічного чинника для розвитку суспільства, бо незадовільний стан навколишнього середовища в Україні все більше впливає на якість життя населення. Національна економіка потребує адаптації до вимог екологічно безпечної конкуренції, підвищення ефективності та наукоємності, впровадженні екологічних стандартів виробництва та «зеленої економіки». [2,5].

У процесі дослідження застосовувався системний підхід, що базувався на використанні діагностичних, прогностичних та аналітичних методів.

З 1991 року в Україні відбуваються значні трансформаційні зрушення в політиці та економіці. Країна пройшла три етапи змін в економіці: перший – раптової трансформації (1991 – 1993 рр.), другий – поглибленої трансформації (1994-1999 рр.), третій – глобальних трансформаційних зрушень (2000-2010) і увійшла в четвертий етап, пов'язаний з поступовим розвитком «зеленої економіки» та орієнтацією на сталий розвиток [3]. Таким змінам сприяє прийняття «Стратегії національної екологічної політики України на період до 2020 року», в якій визначено такі цілі: досягнення безпечного для здоров'я людини стану навколишнього середовища; підвищення рівня суспільної свідомості з питань охорони навколишнього природного середовища; поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної

безпеки; вдосконалення системи інтегрованого екологічного управління шляхом включення екологічної складової до програм розвитку секторів економіки; зменшення втрат біорізноманіття, формування екологічної мережі, розвиток заповідного фонду; забезпечення екологічно збалансованого використання природних ресурсів. [1].

Зараз в Україні основними платниками платежів за забруднення довкілля є підприємства, що виробляють та розподіляють електроенергію, газ і воду (44 % від сумарного обсягу по країні), видобувної промисловості (21 %), металургійного виробництва та виробництва готових металевих виробів (17 %). У сумарному обсязі фактично сплачених екологічних платежів дві третини суми надійшли від підприємств, розташованих у Східній та Південно-Східній частині України, де розташовані вугільний, металургійний і гірничо-переробний комплекс. Починаючи з 01.01.11 р., у зв'язку з набуттям чинності Податкового кодексу, замість загальнодержавного збору за забруднення навколишнього природного середовища ввійшов в дію екологічний податок. У Податковому кодексі, прийнятому в 2010 році, вдвічі збільшено ставки екологічного податку, запроваджено оподаткування викидів CO₂, для якого ставка податку становить 0,2 гривні за 1 тону (п. 243.4 ст. 243 Кодексу)[6].

Було визначено об'єкт і базу оподаткування, до складу яких входять:

- обсяги та види забруднювальних речовин, що викидаються в атмосферне повітря від стаціонарних джерел, що скидаються безпосередньо у водні об'єкти;
- види відходів, що розміщуються у спеціально відведених для цього місцях;
- обсяги і категорія радіоактивних відходів, що утворюються внаслідок діяльності суб'єктів господарювання або тимчасово зберігаються їх виробниками понад установлені ліцензією строк;
- обсяги електричної енергії, виробленої експлуатуючими організаціями ядерних установок (АЕС).

Податок вводиться поетапно: до 31.12.2012 ставки податку становили 50 %, до 31.12.2013 – 75 %, з 01.01.2014 – 100 % від ставок, передбачених Кодексом, і на даний момент не змінюється по відношенню з 2014 роком. Введена податкова система в Україні в частині податків за використання природних ресурсів та їх забруднення спрямована на зменшення використання ресурсів та утворення відходів. Значно збільшено ставки податку за викиди в атмосферне повітря забруднювальних речовин стаціонарними та пересувними джерелами, за скиди окремих забруднювальних речовин у водні об'єкти та за розміщення відходів, які з 01.01.2016 будуть перевищувати в 15-20 разів ставки, що діяли раніше. Передбачено зростання ставок податку в 8,5 раза за розміщення відходів, залежно від класу небезпеки та рівня небезпечності, при цьому в разі розміщення відходів на звалищах, які не забезпечують повного виключення забруднення атмосферного повітря або водних об'єктів, ставки додатково зростають в три рази.

До складу нової податкової системи входить надання податкових пільг для підприємств, що здійснюють господарську діяльність, пов'язану із наступною діяльністю: переробкою відходів до стадії утилізації; використанням вторинної сировини для подальшого виробництва; застосуванням пакувальних матеріалів, що не завдають шкоди навколишньому середовищу, а також повторне використання; впровадженням маловідходних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій; вкладенням коштів у розвиток «зеленого виробництва» і «зеленої продукції»;

впровадженням новітніх технологій; відновленням ландшафтних територій до їх первозданного стану тощо. [7].

Таким чином, можемо зробити висновок, введення екологічних податків в Україні стимулюватиме впровадження «зеленої економіки» в контексті переходу до сталого розвитку.

Використані джерела :

1. Геец В.М. Трансформация модели экономики Украины (идеология, противоречия, перспективы) / В. Геец. - М.: Логос, 1999. - 500 с.
2. Annual Energy Review, 2011. US Energy Information Administration. - 2011 - 390 с.
3. Буркинський Б.В.// «Зелена економіка» крізь призму трансформаційних зрушень в Україні / Б.В. Буркинський, Т.П. Галушкіна, В.Є. Реутов – Одеса: ІПРЕЕД НАН України - Саки: ПП «Фенікс», 2011. – 348 с.
4. Навстречу «зеленой экономике». Пути к устойчивому развитию и искоренению бедности. Доклад ЮНЕП, 2011 - 52 с. // Режим доступа: http://www.unep.org/greenconomy/portals/88/documents/ger/ger_synthesis_ru.pdf.
5. «Европа 2020» — стратегия социально-экономического развития Европейского Союза на период до 2020 года, 2010 // Режим доступа: http://eeas.europa.eu/delegations/ukraine/documents/eurobulletin/eurobullet_04_2010_uk.pdf
6. Яковлев Є.О., Скалецький Ю.М. Оцінка регіональних еколого–ресурсних та еколого-техногенних загроз національній безпеці України/ Є.О. Яковлев, Ю.М. Скалецький. – К.: НІСД, 2010. – С. 8, С. 10, 11
7. Концепція національної екологічної політики України на період до 2020 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2007 р. N 880-р.

О.І. Висоцький, М.О. Мельничук

ДІЯЛЬНІСТЬ ТА ВПЛИВ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА
ЕКОЛОГІЧНУ СИТУАЦІЮ В МІСТІ (ТОВ «МОТОРДЕТАЛЬ-КОНОТОП», М.
КОНОТОП)

Розглянуто діяльність машинобудівного підприємства ТОВ «Мотордеталь-Конотоп» та обсяги викидів забруднюючих речовин. Оцінено екологічний вплив даного підприємства на навколишнє середовище міста. Досліджено можливі шляхи зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин.

Ключові слова: машинобудування, машинобудівне підприємство, забруднюючі речовини, скиди, відходи, категорія небезпечності.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ВЛИЯНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В ГОРОДЕ (ООО «МОТОРДЕТАЛЬ-
КОНОТОП», Г. КОНОТОП)

Рассмотрена деятельность машиностроительного предприятия ООО «Мотордеталь-Конотоп» и объемы выбросов загрязняющих веществ. Оценено экологическое воздействие данного предприятия на окружающую среду города. Исследованы возможные пути уменьшения объемов выбросов загрязняющих веществ.

Ключевые слова: машиностроение, машиностроительное предприятие, загрязняющие вещества, сбросы, отходы, категория опасности.

THE ACTIVITY AND INFLUENCE OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES
ON THE ENVIRONMENTAL SITUATION IN THE CITY («MOTORDETAL-
KONOTOP», KONOTOP)

Discusses the activities of the engineering company «Motordaten-Konotop» and emissions of pollutants. Estimated environmental impact of enterprises on the environment of the city. Investigated possible ways of reducing emissions of pollutants.

Keywords: mechanical engineering, machine building plant, pollutants, effluents, waste, hazard category.

Вступ. Машинобудування – провідна галузь промисловості, яка забезпечує випуск різноманітних машин і устаткування для багатьох галузей господарства і населення. Машинобудування визначає науково-технічний прогрес у національній економіці, забезпечує її технічне переозброєння, інтенсифікацію і підвищення ефективності всього суспільного виробництва. Але в той же час ця галузь промисловості є одним з найнебезпечніших джерел забруднення навколишнього середовища. Це питання постає особливо гостро на початку ХХІ століття, оскільки глобальних проблем людства додалася ще й екологічна проблема.

Завдання та мета дослідження. Дослідити діяльність машинобудівного підприємства ТОВ «Мотордеталь-Конотоп» та обсяги викидів забруднюючих речовин. Основною метою роботи є екологічна оцінка впливу на навколишнє середовище та на здоров'я людей діяльності даного підприємства.

Матеріали та результати дослідження. Одним з найбільших підприємств міста Конотоп є ТОВ «Мотордеталь-Конотоп». Воно належить до машинобудівної

промисловості, зокрема має транспортну спеціалізацію. ТОВ «Мотордеталь-Конотоп» розташоване на окраїні міста Конотоп Сумської області в промисловому районі. Створене на базі колишнього державного підприємства, діяльність якого почалася в 1943 році, а починаючи з 1971 року зазнало глобальної реконструкції. На підприємстві виготовляють гільзи і втулки блоку циліндрів автомобільних, тракторних, корабельних, тепловозних і стаціонарних двигунів внутрішнього згоряння. Виробнича потужність підприємства становить 4,5 млн. гільз і втулок на рік.

«Мотордеталь-Конотоп» виробляє гільзи циліндрів по повному замкнутому технологічному циклу, включаючи ливарне і механічне виробництво. Лиття виготовляється з спеціально легованих чавунів, які забезпечують високі експлуатаційні характеристики продукції. Основні технології виробництва – виготовлення відливок зі спеціального чавуну. 100% лиття виробляється відцентровим способом. Мінімальна вага виливків 3 кг, максимальний – 1250 кг. Розмір виливків: мінімальний діаметр – 50 мм, максимальний – 600 мм, довжина від 250 – до 1500 мм. Виготовлення гільз циліндрів для двигунів внутрішнього згоряння діаметром від 55 до 600 мм.

Організаційно-технічною основою управління на підприємстві є система стандартів підприємства. У своєму складі завод має наступні виробництва:

1. Ливарне;
2. Механічне: точіння, фрезерування, шліфування та хонінгування;
3. Маркування деталей та покриття захисними сумішами;
4. Виробництво стисненого повітря та розрідженого кисню;
5. Деревообробне: виготовлення тари, дерев'яних конструкцій;
6. Допоміжне:
 - Виготовлення бітумної суміші та бетону;
 - Енергозбереження(енерготехнічне відділення);
 - Очищення промислових стоків та стокових вод;
 - Поліклініка;
 - Столова.

При роботі даного підприємства спостерігається забруднення атмосферного повітря, поверхневих вод та ґрунту. Зі всієї кількості забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря, близько 90 % становлять газоподібні речовини і близько 10 % - тверді та рідкі частинки.

На даному підприємстві спостерігаються такі основні забруднюючі речовини, що викидають в атмосферне повітря, як оксид та діоксин азоту, оксид вуглецю, пил нетоксичний та зола. У таблиці 1 наведено максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин та відповідні значення ГДК:

Таблиця 1

Максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин

Назва забруднюючої речовини	$C_{\text{макс}}$, мг/м ³	ДК _{мр} , мг/м ³	ГДК _{сд} , мг/м ³	Клас шкідливості речовини
NO	0.0004	0,6	0,04	3
CO	0.011	5,0	3,0	4
NO ₂	0.0007	0.085	0.04	2
пил	0,013	0,15	0,15	3
зола	0,001	0,5	0,05	3

Як видно із наведених даних, концентрації речовин, не перевищують значення максимально разових і середньодобових ГДК, що свідчить про ефективну роботу встановлених очисних споруд.

ТОВ «Мотордеталь-Конотоп» проводить забір води із комунальної мережі міста, а скидає відпрацьовані води до річки Єзуч, виконуючи попередню очистку.

Стічні води містять зважені речовини, хлориди, БСК 5, сульфати, азот амонійний, залізо, ХСК, сухий залишок, нітрати, нітроти, фосфати, нафтопродукти у концентраціях, поданих у таблиці 2. Враховуючи ці значення, вхідні дані і пропонувані формули, можна обчислити кількість забруднюючих речовин, що надходить до річки.

Таблиця 2

Склад і кількість забруднюючих речовин підприємства

Назва підприємства	Назва забруднюючої речовини	Концентрація забруднюючих речовин, мг/л	Витрата стічних вод, м ³ /с	Кількість забруднюючих речовин	
				г/с	кг/добу
ТОВ «Мотордеталь-Конотоп»	Зважені речовини	91,0	0,5	45,5	3,9
	БСК 5	58,7	0,5	29,4	2,5
	Хлориди	78,8	0,5	39,4	3,4
	Сульфати	126,9	0,5	63,5	5,5
	Азот амонійний	0,003	0,5	0,0015	0,0001
	Залізо	0,002	0,5	0,001	0,00009
	ХСК	138,9	0,5	69,5	6
	Сухий залишок	2165,6	0,5	1082,8	93,6
	Нітрати	10,5	0,5	5,25	0,45
	Нітроти	0,5	0,5	0,25	0,02
	Фосфати	2,9	0,5	1,45	0,13
	Нафтопродукти	1,4	0,5	0,7	0,06

Кількість забруднюючих речовин розраховують за формулами:

$$N_{з.р.} = C_{з.р.} \times Q, \text{ г/с}$$

$$N_{з.р.} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6, \text{ кг/добу}$$

де $C_{з.р.}$ – концентрація забруднюючої речовини, мг/л; Q – витрата стічних вод промисловості, м³/с.

$$N_{з.р.} = C_{з.р.} \times Q = 91,0 \times 0,5 = 45,5 \text{ г/с,}$$

$$N_{з.р.} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 45,5 \times 86400 \div 10^6 = 3,9 \text{ кг/добу;}$$

$$N_{БСК} = C_{з.р.} \times Q = 58,7 \times 0,5 = 29,4 \text{ г/с,}$$

$$N_{БСК} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 29,4 \times 86400 \div 10^6 = 2,5 \text{ кг/добу;}$$

$$N_{Хлоридів} = C_{з.р.} \times Q = 78,8 \times 0,5 = 39,4 \text{ г/с,}$$

$$N_{Хлоридів} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 39,4 \times 86400 \div 10^6 = 3,4 \text{ кг/добу;}$$

$$N_{Сульфатів} = C_{з.р.} \times Q = 126,9 \times 0,5 = 63,5 \text{ г/с,}$$

$$N_{Сульфатів} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 63,5 \times 86400 \div 10^6 = 5,5 \text{ кг/добу;}$$

$$N_{Азот амонійний} = C_{з.р.} \times Q = 0,003 \times 0,5 = 0,0015 \text{ г/с,}$$

$$N_{Азот амонійний} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 0,0015 \times 86400 \div 10^6 = 0,0001 \text{ кг/добу;}$$

$$N_{Залізо} = C_{з.р.} \times Q = 0,002 \times 0,5 = 0,001 \text{ г/с,}$$

$$N_{Залізо} = C_{з.р.} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 0,001 \times 86400 \div 10^6 = 0,00009 \text{ кг/добу;}$$

$$N_{ХСК} = C_{з.р.} \times Q = 138,9 \times 0,5 = 69,5 \text{ г/с,}$$

$$N_{\text{ХСК}} = C_{\text{з.р.}} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 69,5 \times 86400 \div 10^6 = 6 \text{ кг/добу};$$

$$N_{\text{Сухий залишок}} = C_{\text{з.р.}} \times Q = 2165,6 \times 0,5 = 1082,8 \text{ г/с},$$

$$N_{\text{Сухий залишок}} = C_{\text{з.р.}} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 1082,8 \times 86400 \div 10^6 = 93,6 \text{ кг/добу};$$

$$N_{\text{Нітрати}} = C_{\text{з.р.}} \times Q = 10,5 \times 0,5 = 5,25 \text{ г/с},$$

$$N_{\text{Нітрати}} = C_{\text{з.р.}} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 5,25 \times 86400 \div 10^6 = 0,45 \text{ кг/добу};$$

$$N_{\text{Нітрити}} = C_{\text{з.р.}} \times Q = 0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ г/с},$$

$$N_{\text{Нітрити}} = C_{\text{з.р.}} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 0,25 \times 86400 \div 10^6 = 0,02 \text{ кг/добу};$$

$$N_{\text{Фосфати}} = C_{\text{з.р.}} \times Q = 2,9 \times 0,5 = 1,45 \text{ г/с},$$

$$N_{\text{Фосфати}} = C_{\text{з.р.}} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 1,45 \times 86400 \div 10^6 = 0,13 \text{ кг/добу};$$

$$N_{\text{Нафтопродукти}} = C_{\text{з.р.}} \times Q = 1,4 \times 0,5 = 0,7 \text{ г/с},$$

$$N_{\text{Нафтопродукти}} = C_{\text{з.р.}} \times Q \times 86400 \div 10^6 = 0,7 \times 86400 \div 10^6 = 0,06 \text{ кг/добу}.$$

Дані розрахунки дають змогу зробити висновок про навантаження на річку, визначивши концентрації забруднюючих речовин, та налагодити систему спостережень за якістю води.

Таблиця 3

Забруднюючі речовини стічних вод р. Єзуч

Назва забруднюючої речовини	Фонова концентрація у водах річки, мг/дм ³	ГДК, мг/дм ³	Концентрація у стоках підприємства, мг/дм ³
Зважені речовини	60	20	91,0
БСК 5	6	3	58,7
Хлориди	35	50	78,8
Сульфати	40	50	126,9
Азот амонійний	1,3	0,1	0,003
Залізо	12	15	0,002
ХСК	32	30	138,9
Нітрати	1,5	1	10,5
Нітрити	0,06	0,002	0,5
Сухий залишок	17	20	2165,6
Фосфати	0,02	0,025	2,9
Нафтопродукти	5	8	1,4

Внаслідок діяльності даного підприємства здійснюється хімічне забруднення ґрунтів:

Таблиця 4

Площа хімічного забруднення ґрунтів внаслідок дії промислових викидів ТОВ
«Мотордеталь-Конотоп»

Забруднююча речовина	Відстань формування концентрації в межах ГДК, м	Площа забруднених ґрунтів, га
Сірчаний газ	1000	3140000
Сірководень	600	1130400
Оксид вуглецю	1550	7543850
Пил нетоксичний	500	78500
Сажа	600	1130400
Діоксид азоту	604,6	1147799,2

Висновки. Розвиток людства разом з науково-технічною революцією виявилися для біосфери подібним до вибуху, тому що вона адаптована до повільних і поступових впливів. Машинобудування є головною галуззю всієї промисловості, її серцевиною. Продукція підприємств машинобудування грає вирішальну роль у реалізації досягнень науково-технічного прогресу у всіх областях господарства. На частку машинобудівного комплексу припадає майже 30% від загального обсягу промислової продукції. В результаті збільшення попиту на продукцію машинобудування, перед нами постає дві основні проблеми.

По-перше, це проблема забезпеченості ресурсами, по-друге, проблема впливу діяльності машинобудівних підприємств на стан оточуючого середовища. Машинобудування є хоч і не найбільш забруднюючою галуззюнародного господарства, але викиди, що виникають при їх функціонуванні є дуже токсичними. При нерозумному підході відбувається порушення нормального функціонування всіх компонентів біосфери (повітря, води, ґрунту, тваринного і рослинного світу), а в особливих випадках під загрозою опиняється саме життя. Тому головним повинен стати підхід з екологічних позицій, що враховують інтереси не тільки сучасності, але й майбутнього:

1. Машинобудівні підприємства України потребують оновлення вже застарілого обладнання та запровадження нових технологій виробництва.

2. Необхідне встановлення нових очисних споруд, оскільки збільшуються обсяги виробництва, що спричиняє більшу частку викидів.

3. Для забезпечення розвитку машинобудівних підприємств необхідний швидкісний розвиток галузевих науково-дослідницьких і проектно-конструкторських організацій.

Здійснивши екологічну оцінку впливу на навколишнє середовище ТОВ «Мотордеталь-Конотоп», можна сказати, що він чинить помірний вплив на атмосферу, водні об'єкти та ґрунтовий покрив. На підприємстві діє система постів спостереження, які здійснюють контроль за викидами забруднюючих речовин.

Література

1. Ауров В.В. Методивимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник – Одеса, «ГЕС», 2002 – 284с.

2. Білявський Г.О. Основи екології: [підручник] / Білявський Г.О., Фур-дуй Р.С., Костіков І.Ю. – К.: Либідь, 2005.- 408 с.

3. Вредные вещества в промышленности: книга в 3 т. [справочник для химиков, инженеров, врачей] / [ред. Н. Лазарев, Э. Левин.] – Л.: Химия, 1963 – . – Т. 3: Неорганические и элементарорганические соединения.-608 с.

4. Гавриленко О.П. Екогеографія України: [навчальний посібник]/ О.П.Гавриленко. – К.: Знання, 2008.- 646 с.

5. Моніторинг довкілля: навч. посіб.: у 3-х ч. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – Ч. 1 – 3.
6. Омитриев М.Т., Казни на Н.И., Пиничина И.А., Санитарно – химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде.: Справ. – М.: Химия. 1989. – 368с.
7. Хільчевський В.В.. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: [навчальний посібник] /В. Хільчевський, С. Кондратюк. – К.: Либідь, 2002. – 382 с.

І.В.Косяк, О.І.Висоцький

УТВОРЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ СВИНЦЕВО–КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ
ТА МЕТОДИ ЇХ УТИЛІЗАЦІЇ НА ФІЛІЇ «БОРОДЯНСЬКЕ РАЙ ДУ» ДП «
КИЇВСЬКЕ ОБЛАСНЕ ДОРОЖНЕ УПРАВЛІННЯ»
ОБРАЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО–КИСЛОТНЫХ
АКУМУЛЯТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ УТИЛИЗАЦИИ НА ФИЛИАЛЕ
«БОРОДЯНСКОЕ РАЙ ДУ» ГП «КИЕВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ДОРОЖНОЕ
УПРАВЛЕНИЯ»
EDUCATION OF SPENT LEAD–ACID BATTERIES AND METHODS OF THEIR
UTILIZATION AT THE BRANCH OF BORODYANSKY RAY DU" STATE
ENTERPRISE "KYIV OBLAST ROAD ADMINISTRATION"

Розглянуто обсяги утворення відпрацьованих свинцево – кислотних акумуляторів на філії «Бородянське РАЙ ДУ». Досліджено спосіб переробки на даному підприємстві свинцево-кислотних акумуляторів, що включає розтин акумуляторів, відділення та переробку електроліту, подальшу переробку акумуляторного брухту

Ключові слова : дорожнє управління, автомобільний транспорт, відходи, свинцево – кислотний акумулятор, свинець, електроліт .

Рассмотрены объемы образования отработанных свинцово – кислотных аккумуляторов на филиале «Бородянское РАЙ ДУ». Исследован способ переработки на данном предприятии свинцово-кислотных аккумуляторов, включающий вскрытие аккумуляторов, отделение и переработку электролита, последующую переработку аккумуляторного лома .

Ключевые слова : дорожное управление, автомобильный транспорт, отходы, свинцово – кислотный аккумулятор, свинец, электролит .

Consider the amount of education of spent lead – acid batteries on the branch "Borodyansky RAY DU." Investigated a method of processing in the enterprise lead-acid batteries, including the autopsy batteries, separation and recycling of the electrolyte, further processing of battery scrap .

Keywords : road management, road transport, waste, lead – acid battery, lead, acid .

Автомобільний транспорт – це один з найважливіших компонентів суспільного та економічного розвитку, що поглинає значну кількість ресурсів і робить серйозний вплив на навколишнє середовище. Послуги транспорту грають важливу роль в економіці та повсякденному житті людей. Автомобільні дороги України – це народне надбання нашої країни й базовий елемент транспортної системи держави. Ступінь розвитку національної дорожньої мережі багато в чому визначає показники соціально-економічного розвитку країни.

Проте, при всій важливості транспортно-дорожнього комплексу як невід'ємного елементу економіки, необхідно враховувати його вельми значний негативний вплив на природні екологічні системи. Транспортно-дорожній комплекс – одне з найпотужніших джерел забруднення навколишнього середовища.

Оскільки на сьогоднішній день в транспортно – дорожній галузі України система поводження з відходами недосконала і низько ефективна , то предметом дослідження було обрано способи утилізації виробничих відходів , зокрема свинцево – кислотних

аккумуляторів, на підприємстві Філія «Бородянське районне дорожнє управління» ДП «Київське обласне дорожнє управління» ВАТ «ДАК «Автомобільні дороги України».

Філія «Бородянське районне дорожнє управління» ДП «Київське обласне дорожнє управління» ВАТ «ДАК «Автомобільні дороги України» створена як відособлений структурний підрозділ Дочірнього підприємства «Київське обласне дорожнє управління» відкритого акціонерного товариства «Державна акціонерна компанія «Автомобільні дороги України» утвореного відповідно до наказу Державної служби автомобільних доріг України від 15.07.2004 р.

Філія створена з метою забезпечення економічних інтересів та задоволення потреб держави, населення та оборони країни в удосконаленні і розвитку автомобільних доріг загального користування, розширення можливостей виробничого та соціального розвитку підприємства, підвищення ефективності використання матеріальних, фінансових та інших ресурсів на основі спільної діяльності, розподілу праці і кооперації.

В процесі виробничої діяльності філії «Бородянське рай ДУ» ДП «Київське обласне дорожнє управління» ВАТ «ДАК «Автомобільні дороги України» утворюються наступні відходи, які тимчасово зберігаються на території підприємства:

- відходи деревини;
- брукт чорних металів;
- шини відпрацьовані;
- відходи комунальні;
- лампи люмінесцентні;
- аккумулятори відпрацьовані;
- відпрацьовані технічні мастила.

Відповідно до висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи, дане підприємство відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.7.029-99 «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» (акт обстеження ДЗ «Бородянська рай СЕС від 01.11.12 р.).

За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи способи тимчасового зберігання відходів відповідно до їх виду, агрегатного стану та класу небезпеки відходів відповідають вимогам діючого санітарного законодавства України і за умови дотримання вимог може бути використаний в заявленій сфері застосування.

Обсяги утворення відпрацьованих аккумуляторів на підприємстві

Розрахунок обсягу утворення відпрацьованих свинцево – кислотних аккумуляторів розраховується за формулою:

$$N2 = n1 \times t1 / 1000 \times Na,$$

де $n1$ – кількість матеріалів, шт.;

$t1$ – маса аккумуляторів, кг;

Na – нормативний термін експлуатації аккумуляторів на списання = 2 роки.

$$N2 = 15 \times 55 / 1000 \times 2 = 0,411 \text{ т/рік},$$

$$N2 = 12 \times 38 / 1000 \times 2 = 0,228 \text{ т/рік},$$

$$N2 = 5 \times 25 / 1000 \times 2 = 0,061 \text{ т/рік},$$

$$N2 = 0,411 + 0,228 + 0,061 = 0,7 \text{ т/рік}.$$

Тобто, загальний обсяг утворення відпрацьованих свинцево – кислотних аккумуляторів на підприємстві становить 0,7 т / рік.

Свинцево-кислотний акумулятор або свинцево-кислотна акумуляторна батарея (англ. Lead-acid battery) — електричний акумулятор з категорії вторинних батарей, принцип роботи якого заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю в кислому сірчаному середовищі. До складу цього відходу найчастіше входять наступні компоненти:

- свинець
- сульфат свинцю
- сульфід свинцю
- діоксид свинцю
- сурма
- сірчана кислота
- дистильована вода
- полівінілхлорид
- поліпропілен

Практично всі перераховані вище речовини, потрапляючи в навколишнє середовище здатні завдати їй величезної шкоди. Найбільшу небезпеку серед компонентів відпрацьованих свинцевих акумуляторів представляє свинець та його сполуки.

Одним з головних складових акумулятора є речовина, що проводить електричний струм, - електроліт, найчастіше у вигляді розведеного сірчаною кислотою чистого свинцю. Іншою шкідливою складовою побудови акумулятора є свинець, який у випадки накопичення у великих кількостях веде до забруднення повітря.

Електроліт - це сірчана кислота яка знищує багато органічних речовин, особливо органічні тканини і текстиль. У разі безпосереднього контакту з сірчаною кислотою у людей можуть виступити опіки шкіри, запалення кон'юнктивітів, а вдихання парів веде до сильного подразнення дихальних доріг, пухлини легень а також блювоти.

Одна тонна електроліту виводить із придатного для користування стану 25000 м³ води й 1 га землі, яка втрачає свою придатність для землеробства на 5-10 років.

Забруднення навколишнього середовища відходами свинцево – кислотними акумуляторами призведе і до проникнення в організм людини свинцю. Свинець - сильна отрута. Він здатний вражати більшість органів і систем організму людини. У випадку проникнення шкідливих кількості свинцю в організм людини, що може викликати пошкодження нервів, нирок і навіть інгібувати синтез гемоглобіну чи призвести до летального результату.

Утилізація свинцево – кислотних акумуляторів на підприємстві

На філії «Бородянське районне дорожнє управління» ДП «Київське обласне дорожнє управління» ВАТ «ДАК «Автомобільні дороги України» відпрацьовані свинцево – кислотні акумулятори, згідно дозволу на розміщення відходів, тимчасово зберігаються на території підприємства у спеціально відведеному місці. При цьому, обов'язково ведеться первинний облік відходів, забезпечується повне збирання та сортування, згідно чинного законодавства не допускається знищення акумуляторів самостійно, так як в Україні існує відповідна технологія. Відпрацьовані акумулятори належать до 2 класу небезпеки і передаються підприємством для утилізації, згідно з укладеною угодою, МПП «Рада».

На МПП «Рада» спосіб переробки свинцево-кислотних акумуляторів включає розтин акумуляторів, відділення та переробку електроліту, подальшу переробку акумуляторного брухту, що включає плавку шихти, що містить акумуляторний лом, кокс і флюси, в шахтній печі при подачі кисневмісного дуття з безперервним отриманням

чорнового свинцево – сурм'яного сплаву, що містить мідь, олово, миш'як і інші домішки, і мідь вмісного штейна, рафінування чорнового сплаву від олова і миш'яку з отриманням мідьвмісного і свинцево-сурм'яного сплавів і рафінування чорнового сплаву від міді з отриманням сплавів, в які олово і миш'як вводять в якості легуючих компонентів. Плавку здійснюють в шахтній печі, в шихту крім акумуляторного брухту, з якого видаляють сірнокислотний електроліт, входять флюси (вапняк і залізовмісний флюс), а також кокс, використовуваний як паливо і вуглецевий відновлювач. В результаті плавки отримують відвальний шлак, свинцевмісний пил і штейн, що направляються на самостійну переробку, і чорновий свинцево-сурм'яний сплав, який направляють на подальше рафінування. При рафінуванні зі сплаву ліквациєю, а при необхідності і сульфидування видаляють мідь, а потім окислювальним шляхом лужним рафінуванням олово і миш'як. Промпродукти рафінування піддають самостійній переробці, наприклад мідні шлікери, плавлять в короткобарабанних печах з отриманням штейнів, придатних для мідного виробництва, а лужні знімання направляють на гідрометалургійну переробку. Крім того, мідні шлікери повертають на плавку. У цьому випадку частина міді виводиться зі штейном шахтних печей. Цей спосіб прийнятий за прототип.

Недоліком даного способу є необхідність повної переробки промпродуктів рафінування (мідь-, миш'як-та олововмісних) в окремому циклі, що ускладнює технологію і вимагає додаткових трудовитрат і витрати реагентів. При плавці передача тепла із зони високих температур до ванни свинцево – сурм'яного сплаву здійснюється за рахунок вертикального потоку гарячого металу, поступово осідає нижче рівня штейна виведеного з печі. У печі відбувається часткове рафінування свинцево – сурм'яного сплаву від міді за рахунок зниження розчинності міді в свинці при падінні температури. Однак проплав печі по свинцево-сурм'яному сплаву не корелює з температурою процесу і висотою ванни сплаву в печі. Тому при переохолодженні донного слою при низькому виробництві и холодному ході печі відбувається випадання мідних шлікерів в сифоні печі і підвищення в'язкості свинцю, що ускладнює його випуск і розливання. При підвищенні температури процесу і зростанні продуктивності печі відбувається зростання температури свинцево – сурм'яного сплаву, підвищується розчинність міді в ньому, що викликає зростання кількості оборотів і трудовитрат при рафінуванні .

В ході наших досліджень , ми дійшли висновку ,що відходи акумуляторних батарей - це державна екологічна проблема. Використані акумулятори , класифікуються як відходи, шкідливі для навколишнього середовища. Нехтування існуючими проблемами поводження з виробничими відходами в транспортно – дорожній галузі України є джерелом існування невинуватених ризиків шкідливого впливу викидів в атмосферу отруйних речовин відпрацьованих газів, скидів у водоймища, ризиків для стійкого розвитку суспільства , пов'язаних із потенційними перешкодами для реалізації Енергетичної стратегії України й перекладанням економічного тягаря щодо поводження з відходами на майбутні покоління.

Використані джерела :

5. Орнатський Н.П. Автомобільні дороги і охорона природи. М.: Транспорт, 1982.- С.176.
6. Гончаренко Ф.П., Прусенко Є.Д., Скорченко В.Ф. Експлуатаційне утримання та ремонт автомобільних доріг за складних екологічних умов. Міністерство освіти і науки України. К., 1999.- С. 342.

7. Исаева Н. В., Сердюк А.И. Проблемы и перспективы электрохимической переработки свинцово-кислотных аккумуляторов // Экотехнологии и ресурсосбережение. Киев. 2005. № 5.
8. Исаева-Парцвания Н.В., Сердюк А.И., Ступин А.Б. Выбросы вредных веществ при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов в электролитах на основе кремнефтористоводородной кислоты // Вѣсник Донецького університету. Сер. А. Природничі науки. Донецьк. 2005. Вип. 2. Ч. 2.
9. Електронний ресурс : <http://www.ecopromservice.com.ua>

УДК 378.147:004.75

Н.А. Шевчук, доц.. (НТУУ «КПІ»), М.О. Канар, студент (НТУУ «КПІ»)

ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІСТЬ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ**N. A. Shevchuk, assoc (NTUU "KPI"), M.O. Kanar, a student (NTUU "KPI")
ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND ENERGY SAVING OF CLOUD
COMPUTING**

У статті розглянуто використання хмарних обчислень заради екологічної безпеки; представлені основні переваги використання хмарних технологій; зображено прогнозоване зменшення викидів CO₂; показані результати досліджень міжнародних компаній на процентну частку екологічно чистої енергії.

Ключові слова: хмарні обчислення, технології, електроенергія, автоматизація, екологічність, хостинг.

В статье рассмотрено использование облачных вычислений ради экологической безопасности; представлены основные преимущества использования облачных технологий; изображено прогнозируемое уменьшение выбросов CO₂; показаны результаты исследований международных компаний на процентную долю экологически чистой энергии.

Ключевые слова: облачные вычисления, технологии, электроэнергия, автоматизация, экологичность, хостинг.

The article discusses the use of cloud computing for environmental safety, it presents the main advantages of cloud technologies and shows the predicted decrease of CO₂ emissions; the research shows the rating of international companies on their percentage of clean energy.

Keywords: cloud computing, technology, electricity, automation, environmental friendliness; hosting.

Вступ. На сьогоднішній день, актуальним питанням в сфері науки є оптимальність використання хмарних обчислень для збереження екологічності та енергетичної цінності навколишньої середовища.

Суть концепції хмарних технологій полягає в наданні кінцевим користувачам віддаленого динамічного доступу до послуг, обчислювання ресурсів і додатків (включаючи операційні системи та інфраструктуру) через Інтернет. Розвиток сфери хостингу було зумовлено потребою в програмному забезпеченні і цифрових послугах, якими можна було б управляти зсередини, але які були б при цьому більш економічними і ефективними за рахунок економії на масштабі.

Більшість сервіс-провайдерів пропонують хмарні обчислення у формі VPS-хостингу, віртуального хостингу, і ПО-як-послуга (SaaS). Хмарні послуги довгий час надавалися у формі SaaS, наприклад, Microsoft Hosted Exchange і SharePoint.

Не можна не визнати, що технології хмарних обчислень мають величезний потенціал, тому що всі сучасні комп'ютерні продукти постійно збільшують свої вимоги до технічного оснащення комп'ютера користувача, що неминуче веде до значних витрат на апгрейд. Особливою вимогливою до системних ресурсів стає ігрова індустрія. Так що дана технологія дозволяє вирішити проблему надмірної вимогливості додатків до

ресурсів кінцевого користувача. Використання такої технології проходить також, для зменшення використання енергоресурсів.

Завданням та метою дослідження є розгляд актуальності використання хмарних обчислень заради екологічної безпеки та зменшення енерговитрат.

Результати досліджень. Сьогодні багато розробників програмних продуктів пропонують програми для бізнесу на хмарній платформі. Серед таких рішень - офісні пакети, системи для управління взаємовідносинами з клієнтами, а також галузеві програми для управління продажами, виробництвом, логістикою. Наприклад, для кожного напрямку логістики розроблені окремі продукти: автоматизація складу, автоматизація транспортної логістики та автоматизація тендерних закупівель.

Так чому ж так багато підприємств переходять в хмари? Відповідь проста. Хмарні інструменти підвищують продуктивність роботи, скорочують витрати підприємств, а, крім цього, пропонують користувачеві багато інших переваг.

Отже, розглянемо основні переваги хмарних технологій:

1. Аварійне відновлення. При використанні хмарних технологій компаніям не потрібно турбуватися про проблеми аварійного відновлення систем. Постачальники таких рішень всі турботи по підтримці працездатності систем беруть на себе, до того ж неполадки усуваються дуже швидко. За результатами досліджень Aberdeen Group, підприємства, які використовували хмари, вирішували проблеми з відновлення своїх систем в чотири рази швидше, ніж інші компанії.

2. Автоматичне оновлення програмного забезпечення. За результатами досліджень, в 2010 році британські компанії витрачали 18 робочих днів на місяць на підтримку «нехмарних» систем та управління їх безпекою. Постачальники ж хмарних сервісів самостійно відповідають за підтримку і оновлення серверів, у тому числі гарантують збереження даних.

3. Відсутність капітальних витрат. Хмарні рішення не вимагають капітальних інвестицій на придбання серверів і їх підтримку, а оскільки вони дуже швидко впроваджуються, від замовника потрібні мінімальні зусилля, щоб «запустити» проект.

4. Розширення масштабів взаємодії. Хмарні технології дозволяють всім співробітникам компанії, незалежно від їх поточного місцезнаходження, синхронізувати роботу з документами і додатками, працюючи в режимі реального часу.

5. Робота з будь-якої точки світу. Для роботи з хмарною системою потрібно тільки мобільний пристрій і доступ до мережі Інтернет.

6. Управління документами. За даними одного іноземного видання, 73% працівників розумової праці взаємодіють з людьми, що знаходяться в інших часових поясах і регіонах, принаймні, раз на місяць. Якщо компанія не використовує хмари, співробітники змушені обмінюватися файлами по електронній пошті, в результаті чого створюється безліч версій одного і того ж документа. Хмарні рішення дозволяють зберігати всі файли в одному місці, і співробітники можуть одночасно працювати в одній центральній копії, а також спілкуватися один з одним в момент внесення змін. Така кооперація підвищує загальну продуктивність роботи.

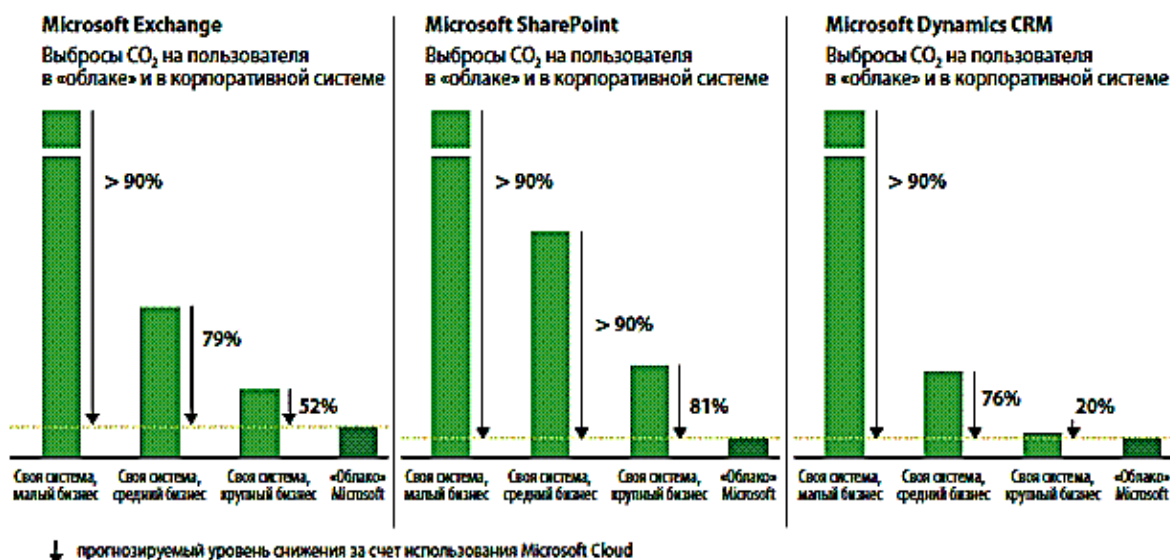
7. Збереження інформації. Відомо, що щорічно в аеропортах губляться десятки тисяч ноутбуків. Разом з ноутбуками втрачається цінна і конфіденційна інформація. Якщо інформація зберігається в хмарі, то при втраті пристрою не відбувається втрати даних.

8. Конкурентоспроможність. Хмари дозволяють компаніям діяти швидше в екстрених ситуаціях, ніж їх конкуренти. Підприємства, які не користуються хмарними

сервісами, у разі збою системи змушені вдаватися до резервного копіювання і задіяти складні процедури з відновлення даних, а це повільна і кропітка робота.

9. Екологічність. Дослідження показують, що при використанні хмарних технологій, щонайменше, на 30% знижуються розміри викидів вуглекислого газу в навколишнє середовище і споживання енергії, що дає додатковий бонус бізнесу. Кожен день ми користуємося різними сервісами в мережі, які використовують технологію хмарних обчислень (наприклад, Gmail або Facebook). Ця технологія зберігає всю інформацію на віддалених серверах, що дозволяє робити багато справ прямо у вікні звичайного браузера. Для зберігання таких великих обсягів інформації використовуються дата-центри, які найбільше залежні від електричної енергії.

Для виробництва цієї самої енергії в основному використовується переробка вугілля, від якої в атмосферу виділяється велика кількість вуглекислого газу. Організація Грінпіс опублікувала звіт про енергоспоживання найбільших дата-центрів Google, Facebook, Apple, Amazon, Microsoft та інших компаній. До слова, працюючи на повну потужність, всі ці центри обробки даних здатні споживати 31 гігават потужності, якої б вистачило на забезпечення електроенергією всіх житлових будинків у Великобританії.



Источник: Accenture, WSP, 2010

Рис. 1 Прогнозоване зменшення викидів CO₂ компанії Microsoft за рахунок використання «хмари»

У підсумку найчистіші хмари виявилися у Google і Facebook. Це пояснюється тим, що вони активніше використовують поновлювані джерела енергії, переробляючи енергію сонця, вітру і води. Процентна частка екологічно чистої енергії в дата-центрах цих двох гігантів становить 39,4% і 36,4%. Для порівняння, iCloud - хмарний сервіс компанії Apple, використовує 15,3% чистої енергії, і від нього намагаються не відставати Microsoft (13,9%) і Amazon (13,5%). Також цікаво, що в 2010 році кількість викидів вуглекислого газу компанією Google склало 1,2 млн. тон, але ще більше викидів було у Amazon - 1,4 млн. тон.

Розвиток хмарних технологій супроводжується будівництвом нових і нових дата-центрів, яким для стабільної роботи потрібно більше енергії. Так в період між 2005 і 2010 роками енергоспоживання центрів обробки даних у всьому світі збільшилося на 56%.

Компанія Facebook провела цілий комплекс заходів щодо збільшення енергетичної ефективності, починаючи від реорганізації апаратного забезпечення до реконструювання будинків. Таким чином для регулювання температури в кімнатах з серверами використовувалася технологія випарного охолодження замість звичайних кондиціонерів. Але на цьому Facebook не зупиняється і вже зараз веде будівництво новітнього дата-центру біля гідроелектростанції в Швеції. А Google тим часом уклала 20-річний контракт з компанією володіє вітрогенераторами, яка забезпечуватиме 100 мегаватами електроенергії центри обробки даних Google в штатах Оклахома і Айова.

Company	Clean Energy Index	Coal	Nuclear	Energy Transparency	Infrastructure Siting	Energy Efficiency & GHG Mitigation	Renewables & Advocacy
	NA	NA		A	C	B	D
	13.5%	33.9%	29.9%	F	F	D	F
	15.3%	55.1%	27.8%	D	F	D	D
	56.3%	20.1%	6.4%	C	C	C	D
	36.4%	39.4%	13.2%	D	B	B	C
	39.4%	28.7%	15.3%	B	C	B	A
	19.4%	49.7%	14.1%	C	D	B	C
	12.1%	49.5%	11.5%	C	D	C	D
	13.9%	39.3%	26%	C	D	C	C
	7.1%	48.7%	17.2%	D	D	C	D
	23.6%	31.6%	22.3%	C	C	C	C
	4%	33.9%	31%	B	C	C	C
	21.3%	35.6%	12.8%	F	D	F	D
	56.4%	20.3%	14.6%	C	B	B	B

Рис. 2 Результати досліджень міжнародних компаній на процентну частку екологічно чистої енергії

Висновки

Зараз наша країна переживає добу реформ, не тільки в зовнішньому плані. Також, зміни торкнулись цін на енергетичну та вугільну промисловість. Збільшення цінової політики змусить підприємства використовувати більш вигідніші технології зберігання та передачі даних, такі, як хмарні обчислення. Використання хмарних обчислень на

сьогоднішній день, тільки набирає обертів, дуже скоро всі масштабні компанії будуть використовувати тільки їх. Адже, це не тільки зменшує викиди вуглекислого газу та витрачання ресурсів, а й зменшить кошти витрачені на електроенергію.

Список використаних джерел

1. Mell, Peter and Grance, Timothy. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. Available: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>.
2. Martin, Richard J. and Hoover, Nicholas. (2008). Guide To Cloud Computing. Available: <http://www.informationweek.com/cloud/>.
3. Cloud Computing Group. (2011). Who invented the term Cloud Computing?. Available: <https://groups.google.com/forum/cloud-computing/>.

УДК 628.3.575

Н.А. Шевчук к.т.н., доцент (НТУУ «КПІ»), О.Й. Радецька студент (НТУУ «КПІ»)

**ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТУ «ЕКОНАДІН» ЯК СОРБЕНТА ТА
ДЕСТРУКТОРА НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ**

Загалом біодеструкція це процес, за допомогою якого мікроорганізми хімічно перетворюють сполуки, такі як вуглеводні нафти на більш прості речовини. Хоча деякі продукти можуть бути більш складними, в ідеалі вуглеводні будуть перетворені в діоксид вуглецю, нетоксичні водорозчинні речовини і нову мікробну біомасу. Забруднення нафтовими вуглеводнями, однак, може стимулювати зростання таких організмів і викликати зміни в структурі мікробних спільнот в забрудненій зоні.

Ключові слова: біодеструкція, біопрепарати, біомаса, вуглеводні, смоли, мікроорганізми.

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОПРЕПАРАТА «ЭКОНАДИН» КАК СОРБЕНТА И
ДЕСТРУКТОРА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

В общем биодеструкция это процесс, с помощью которого микроорганизмы химически превращают соединения, такие как углеводороды нефти на более простые вещества. Хотя некоторые продукты могут быть более сложными, в идеале углеводороды будут преобразованы в диоксид углерода, нетоксичные водорастворимые вещества и новую микробную биомассу. Загрязнение нефтяными углеводородами, однако, может стимулировать рост таких организмов и вызывать изменения в структуре микробных сообществ в загрязненной зоне.

Ключевые слова: биодеструкция, биопрепараты, биомасса, углеводороды, смолы, микроорганизмы.

**APPLICATION OF THE BIOLOGICAL PREPARATION "EKONADIN" AS A
SORBENT AND DESTRUCTOR OF OIL CONTAMINATION**

In general biological degradation is the process whereby microorganisms chemically transform compounds such as petroleum hydrocarbons into simpler products. Although some products can actually be more complex, ideally hydrocarbons would be converted to carbon dioxide, nontoxic water-soluble products, and new microbial biomass. Pollution by petroleum hydrocarbons, however, may stimulate the growth of such organisms and cause changes in the structure of microbial communities in the contaminated area.

Key words: biological degradation, biological preparations, biomass, hydrocarbons, pitches, microorganisms.

Вступ. У зв'язку з інтенсивним розвитком промисловості проблема охорони навколишнього середовища з кожним роком стає все більш важливою та актуальною. Нераціональне природокористування та активне втручання людини в природні процеси сприяють виникненню критичних ситуацій екологічного характеру як в локальному, так і в регіональному масштабах, які прогресують внаслідок діяльності промислових підприємств, серед яких особливе місце займають об'єкти нафтогазового комплексу. Для вирішення екологічних проблем розробляються методи біологічного очищення стічних

вод, ґрунтів, біопереробки промислових відходів, біодеградації нафтових забруднень та ін.

Останнім часом були розроблені й почали активно застосовуватись аеробні та анаеробні методи очищення стічних вод за допомогою мікроорганізмів, а також нижчих та вищих рослин.

Завданням та метою дослідження є розглянути особливості використання біологічних препаратів по деструкції вуглеводнів нафти на прикладі вітчизняного біопрепарату «Еконадін».

Результати дослідження. Однією з найважливіших екологічних проблем паливно-енергетичного комплексу є аварії на нафтопроводах, що відбуваються через зношення матеріалу обладнання, а також під час транспортування. На практиці існує два основних способи ліквідації таких аварій: механічний та фізико-хімічний. Перший передбачає повне вилучення забрудненого шару ґрунту з місця аварії з наступним його перевезенням і утилізацією або відкачка нафтопродукту з глибинних горизонтів. Другий ґрунтується на використанні сорбентів, здатних зв'язувати нафтопродукти і нейтралізувати їх шкідливу дію.

Селекцію бактерій, що окислюють вуглеводні, з метою створення на їх основі препаратів для очищення екологічних систем від нафтових забруднень проводять з колекцій природних штамів мікроорганізмів-деструкторів, виділених у різних ґрунтово-кліматичних регіонах України та у місцях, тривалий час забруднених нафтою і нафтопродуктами. Такий підхід дозволяє одержати штами мікроорганізмів, які добре адаптовані до вуглеводневого забруднення і стійкі до різних несприятливих факторів навколишнього середовища, та створити нові препарати з використанням цих мікроорганізмів. Вибір найбільш перспективних штамів здійснюють за такими критеріями як можливість штамів доповнювати один одного по здатності до біодеградації різних груп нафтових вуглеводнів, їхня нафтоокислююча активність у залежності від температури, а також від властивості навколишнього середовища (рН, солоність, присутність солей різних важких металів, фенолу, формальдегіду, інших токсичних компонентів) на життєздатність та нафтоокислюючу активність цих штамів.

Найбільш перспективним напрямком ліквідації нафтового забруднення є метод біодеструкції, який полягає у використанні мікроорганізмів-деструкторів. За останні роки для цих цілей запропоновано декілька десятків препаратів, деякі з них: «Нафтокс», «Uni-rem», «Деворойл», «Родобел», «Родобел-Т», «Десна», «Родекс». Я б хотіла зупинитися на вітчизняному препараті «Еконадін» та розглянути його основні характеристики.

«Еконадін» - бактеріальний препарат, що проявляє сорбційну і деструктивну активність по відношенню до вуглеводнів нафти та інших біорезистентних забруднювачів. Препарат виробляється науково-виробничим підприємством «Еконад» в м. Одеса, реєстрація в Держстандарті 15.08.2008, № 05.03.02-07/522651. Він являє собою порошок коричневого кольору, дисперсний або з волокнистими включеннями, плавучий та гідрофобний. В основі препарату – бактерії-деструктори вуглеводнів нафти, іммобілізовані за спеціальною технологією на органічному субстраті – торфі. Складається препарат з: целюлози, лігніну, протеїну, кальцію, нітроамофоски. Адсорбенти на основі торфу здатні зібрати розливи з будь-якої поверхні і утримувати їх, не даючи повторного розповсюдження.

Механізм дії препарату при очищенні ґрунту полягає не тільки у біохімічній деструкції нафти і нафтопродуктів високоактивними бактеріями, але і в активізації природних мікробних біоценозів продуктами метаболізму. Наявність у складі препарату

органічного носія на перших етапах очищення ґрунту поповнює органогенний шар, що відновлює та посилює порушені нафтовим забрудненням біохімічні процеси у циклі основних біогенних елементів (вуглевод, азот та інші). Наявність у препараті кальцію дозволяє збалансувати кислотно-лужну рівновагу, що покращує фізико-хімічний стан ґрунту та підвищує деструктивну активність мікроорганізмів у відношенні до залишкових концентрацій нафти.

Бактеріальний препарат багатоцільового призначення, виготовлений на основі бактерій-деструкторів, забезпечує очищення навколишнього середовища від екологічно шкідливих забруднень (нафтопродуктів, пестицидів). Препарат стимулює ріст рослин та покращує санітарно-гігієнічні показники води та ґрунту за рахунок антагоністичної дії на ряд патогенних для людини мікроорганізмів.

Біотехнологічний метод з використанням біопрепарату «Еконадін» застосовується у єдиному комплексному рішенні ліквідації нафтового розливу після збору основного забруднення механічними засобами. Використання біотехнології із застосуванням препарату «Еконадін» в арсеналі засобів для швидкого реагування при ліквідації нафтового забруднення води та ґрунту дозволяє:

- блокувати у стислі строки забруднення і попереджувати його розповсюдження;
- ліквідувати забруднення з мінімальними екологічними збитками;
- забезпечувати подальшу дію по відновленню природних біоценозів із

залученням і стимуляцією самоочищуючих біологічних механізмів.

Препарат призначений:

- для швидкої ліквідації розливів нафти, нафтопродуктів, газового конденсату на поверхні води в акваторіях портів, у відкритому морі, на озерах, водосховищах і ставках, особливо для ліквідації забруднень у місцях, недоступних механічним засобам збору нафтопродуктів, на заплавах, болотах;
- для очищення берегової смуги, забрудненої нафтопродуктами у результаті аварійних розливів на воді, в тому числі у рекреаційних зонах (на пляжах);
- для ліквідації нафтового забруднення донних відкладень;
- для глибокого очищення нафтовміщуючих стічних вод підприємств;
- для використання на об'єктах нафтодобування та нафтопереробки з метою очищення та знешкодження нафтовміщуючих рідких та твердих відходів бурових свердловин, нафтошламів;
- для очищення забруднених нафтопродуктами ґрунтів;
- для ліквідації нафтового забруднення на різних поверхнях (метал, бетон, асфальт) при технологічних проливах на водному, залізничному транспорті та автотранспорті;
- для використання на металооброблюючих підприємствах; у котельнях, на теплоелектростанціях, тобто, на усіх підприємствах, де застосовуються нафтопродукти (бензин, мазут, дизельне паливо та інші).

Безперечними перевагами цього методу є ефективність, економічність, екологічна безпека, технологічна гнучкість і відсутність вторинних забруднень. Необхідна кількість препарату 1:4, 1:8 (1 кг препарату на 4-8 кг нафтопродуктів). При значному забрудненні необхідна кількість препарату визначається наступним чином:

Визначається середня товщина плівки нафтопродукту на твердій поверхні, воді або ґрунті h (мм) приблизно визначається площа нафтової плями S (м²) розраховується об'єм нафтопродукту по формулі:

$$V_{\text{н}} = h \times S$$

Тоді необхідна кількість препарату складає по об'єму:

$$V = (1 \dots 2) \times V_n$$

При товщині плівки забруднень 0,1 см і температурі навколишнього середовища близько 15°C економічна витрата при аварійних розливах складає 0,2-0,3 кг/м³. Утилізація нафтонасичених сорбентів здійснюється спалюванням або компостуванням з ґрунтом. Але даному препарату утилізація непотрібна.

При ліквідаціях нафторозливів також використовують сорбуючі бонові загородження в поєднанні з природним сорбуючим матеріалом – соломою.

Таблиця 1. Зміна групового складу залишкової нафти при деструкції (нафта Качанівського родовища)

	Груповий склад нафти, %			
	Метано-нафтенові вуглеводні	Нафтенно-ароматичні вуглеводні	Смоли	Асфальтени
Контроль (нафта 100%)	71,8	16,0	9,2	3,0
Через 6 діб біорозкладу	37,7	17,8	30,7	14,3
Через 1 місяць біорозкладу	21,1	8,7	33,6	28,7
Через 3 місяці біорозкладу (залишкова нафта 8%)	3,59	0,8	42,3	53,3

Визначення степені деструкції нафти ваговим способом визначають за наступною формулою:

$$D, \% = \frac{P_k - P_i}{P_k} * 100\%$$

Де D – степінь деструкції нафти, % ;

P_k – деструкція без мікроорганізмів;

P_i – деструкція з використанням мікроорганізмів.

Головними компонентами нафти, які є об'єктом мікробної дії, виявляються насичені вуглеводні. Біодеструкція сирої нафти, що містить до 70% насичених вуглеводнів, відбувається інтенсивніше ніж нафтопродукти, де їх 6-10%. У тих випадках, коли переважає фракція ароматичних вуглеводнів, швидкість бактеріального розкладу нафтопродукту ще менша.

Встановлено, що температура, при якій відбувається деструкція, впливає на швидкість реакції розщеплення вуглеводнів та на характер продуктів, які утворюються в процесі біорозкладу. Найбільша активність біорозкладу спостерігається при температурі 25-300°C. Але в природних умовах при різних кліматичних та регіональних характеристиках навколишнього середовища деструкція нафтозабруднення відбувається повільніше, при цьому важливо, щоб адаптований мікробний комплекс, іммобілізований на сорбенті, був стійкий до температурних коливань.

Висновок: Метод біодеструкції дозволяє за короткий термін локалізувати вуглеводневу пляму та запобігти її розтіканню, досягаючи високої ефективності очищення і складає близько 99 %. В результаті сорбції утворюються стійкі агрегати, які легко вилучаються з поверхні механічними методами. Сорбент зменшує небезпеку

повторного забруднення поверхні в результаті десорбції вуглеводнів. Відпрацьовані сорбенти можуть використовуватися як для дорожнього покриття, замінюючи ґрунтову добавку, так і у виробництві пористого керамічного будівельного матеріалу.

Література:

1. Эффективные сорбенты для ликвидации нефтяных разливов / В.Ж. Арене, О.М. Гридин // Экология и промышленность России. — 2006. — № 2. — С. 30 — 37.
2. Хохлова Л.Й., Швець Д.І., Хохлов А.В., Опенько Н.М. Вивчення процесів біодеструкції нафтопродуктів консорціумом мікроорганізмів // Доповіді НАН України. -2001. -№4. – С.197-200.
3. Khohlova L., Shvets D., Kravchenko O., Openko N., Khohlov A. Biocarbon sorbents – new type of sorbents on the basis on vegetative raw with oil adsorption properties. International seminar "ENDOECOLOGY 2000". "Sorption Methods and Technologies in Settlement of Ecological and Endoecological Problems of the Chernobyl Accident". 14-17 Guly, 2000, Kyiv. Abstracts.

УДК 553.97

**К.т.н. Т.В. Гребенюк (НТУУ «КПІ»), Студент М. А. Кольцов (НТУУ «КПІ»)
ТОРФ ЯК ДОСТУПНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ ДЛЯ УКРАЇНИ В ПЕРІОД
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ****ТОРФ КАК ДОСТУПНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ ДЛЯ УКРАИНЫ В
ПЕРИОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИЗИСА****PEAT AS AN AVAILABLE ENERGY SOURCE FOR UKRAINE DURING THE
ENERGY CRISIS PERIOD**

Розглянуто історичну ретроспективу торфової промисловості, сучасну практику використання торфу як енергоресурсу (в Україні та за кордоном), економічний, екологічний та соціальний фактори його використання. Проаналізовано динаміку торф'яного сектору промисловості України за роки незалежності та причини її сучасного становища. З моменту свого зародження торф'яна промисловість України пережила кілька етапів свого розвитку і наразі перебуває в критично занедбаному стані, а торф як вид палива складає не більш ніж 1% від усього енергоресурсного балансу України. Особливо стан цього сектору економіки погіршився в результаті віднесення усіх торфовищ до особливо цінних земель на законодавчому рівні.

Ключові слова: торфова промисловість, спад виробництва торфопродуктів, криза галузі, земельний кодекс, системні інвестиції.

Рассмотрена историческая ретроспектива торфяной промышленности, современная практика использования торфа как энергоресурса (в Украине и за рубежом), экономический, экологический и социальный факторы его использования. Проанализирована динамика торфяного сектора промышленности Украины за годы независимости и причины ее современного положения. С момента своего зарождения торфяная промышленность Украины пережила несколько этапов своего развития и сейчас находится в критически запущенном состоянии, а торф как вид топлива составляет не более 1% от всего энергоресурсного баланса Украины. Особенно состояние этого сектора экономики ухудшилось в результате отнесения всех торфяников к особо ценным землям на законодательном уровне.

Ключевые слова: торфяная промышленность, спад производства торфопродуктов, кризис отрасли, земельный кодекс, системные инвестиции.

The article considers the historical retrospective of peat industry, the modern practice of using peat as an energy source (in Ukraine and abroad), economic, environmental and social factors of its use. The dynamics of the peat industry of Ukraine during the years of independence and the reasons for its current situation are analyzed. Since its inception peat industry of Ukraine has experienced several stages of development and is now in critical rundown state, and peat as fuel is not more than 1% of the total energy balance of Ukraine. Especially the status of this sector of the economy has deteriorated as a result of classification of all peatlands in valuable land at the legislative level. The purpose of this article is to structure arguments in favor of the development of this sector of the Ukrainian energy in conditions of deep energy crisis and as more ecooriented alternative to coal in the quieter times to indicate the possible ways out of the systemic crisis in the industry.

Key words: peat industry, peat products production decline, industry crisis, the land code,

systematic investments.

Вступ

Зараз, на початку 2015 року, кожен громадянин України відчуває у найближчому майбутньому примару енергетичної кризи – банальної нестачі палива для насичення ним економіки та комунальної сфери. У цієї проблеми може бути маса рішень різного плану, серед яких – використання нових (або добре забутих старих) джерел енергії. Найбільш доступним з них в північно-західній частині України є торф. У торфу, як у енергоресурсу є кілька беззаперечних переваг відносно вугілля - низька собівартість виробництва, екологічна чистота згорання (мала доля сірки), повне горіння (малий залишок золи), численні способи використання крім паливного (добрива, сировина хімічної промисловості і т.д.) [1]. Саме з цієї причини торф вибрано як предмет дослідження в даній роботі.

Метою є структуризація аргументів на користь розвитку даного сектору української енергетики як легкодоступне паливо в умовах глибокої енергетичної кризи та як більш екоорієнтовану альтернативу вугіллю на більш спокійні часи, а також викладення деяких можливих шляхів виходу з системної кризи в галузі.

Викладення основного матеріалу

Торф є продуктом відмирання та неповного біохімічного розпаду переважно болотних рослин в умовах підвищеної вологості. Ця органічна порода - перший елемент у ланцюгу "торф - буре вугілля - кам'яне вугілля - антрацит". В якості палива за своїми характеристиками торф схожий на буре вугілля, відрізняючись, зокрема, наявністю вільної целюлози і здатністю розрізатися вручну. Він є відновлюваним ресурсом - щорічно у світі утворюється майже 3.0 млрд. м³ торфу, що приблизно в 120 разів більше, ніж використовується [2]. Найбільш торф активно використовується у Фінляндії, Ірландії, Канаді, Німеччині.

В Україні виявлено більше ніж 1500 родовищ торфу із середньою глибиною залягання в 1.4 м і сумарними запасами, за різними даним, від 1.8 до 2.5 млрд. т, з яких більш ніж половина придатна до розробки. Частина торфовищ була осушена ще за часів СРСР, після чого вони були кинуті напризволяще. Саме через такі невикористані родовища відбувається переважна частина торф'яних пожеж. При цьому, однак, до самозаймання торфовища не здатні [6].

Актуальність

Як результат - в даний момент ми маємо практично невикористовувану область енергетики, яка в такому стані так само загрожує інфраструктурі цілих регіонів і здоров'ю громадян.

Започаткування торфової промисловості відносять до XII-XIII ст., коли в Голандії і Шотландії стали використовувати торф для опалення приміщень. З XVI-XVII століть видобуток торфу розпочато у Франції, Швеції, Німеччині. Торфоздобувки на Східній Слобожанщині розпочаті під Воронежем у 1700 році, в 1703 – під Азовом. На території України торф видобували з кінця XVIII – початку XIX століття. Як галузь торфова промисловість набула розвитку з 1929 року як складова частина плану ГОЕЛРО – новонародженій промисловості Радянського Союзу були необхідні місцеві джерела палива. Однак після відкриття тюменських родовищ нафти торф почав втрачати свої позиції, а починаючи з 1980-тих галузь була вже збитковою по всій території СРСР [3].

Після 1991 року, в умовах економічної свободи, навіть нечисленні торфоорієнтовані електростанції перейшли на російський газ, як більш дешевий, чистий

та простий у використанні (на відміну від порохнявого та технологічно вимогливого в зберіганні торфу). До того ж в зонах навколо заводів запаси сировини вже були значно видобуті, що збільшувало витрати на транспортування. Також серйозного удару усій українській торфовій промисловості завдала аварія на ЧАЕС, поруч з якою знаходяться значні поклади торфу.

Одного з найсильніших ударів по торфовій промисловості завдало віднесення усіх торфовищ України до особливо цінних земель (див. статтю 150 Земельного кодексу України), формально – з метою захисту торфовищ від недостатньо контрольованої розтрати. В наслідок цього їх стало практично неможливо використовувати.



Рисунок 1 – графік видобутку торфу в Україні з 2003 по 2010 рік у тис.тон

Як можна побачити на графіку (Рис.1) [6], після піку видобутку в 2005 році (майже 650 тисяч тон) увесь торфовий сектор стрімко пішов на спад, досягнувши рекордно низьких 350 тисяч тон видобутку в 2008 році. У подальшому ситуація незначно покращилася (за даними ДК «Укрторф» в 2010 році було видобуто 459 270 тон торфу), однак це було скоріш локальним піком, ніж показником стабільного росту галузі. На момент 2011 року [5] галузь у цілому не тільки не розвивалася, але й продовжувала деградувати – закривалися працюючі заводи та родовища. В 2011 році законопроект щодо зміни ст.150 ЗК України пройшов через Верховну Раду, але не був підписаний президентом Януковичем. З усіх підприємств «Укрторфу» виходять на самоокупність тільки два – «Волиньторф» та «Рівнеторф», усі інші вже багато років є збитковими. Торфобрикетні заводи «Черкаситорф» та «Чернігівторф» не навантажені на повну потужність внаслідок відсутності ринку збуту продукції – торф у регіонах був майже повністю витіснений газом. В «Київторфу» інша проблема – відсутність ділянок під розробку. Очевидно, отримати 250 га в Київській області під розробку – майже неможливо. В 2014 році «Укрторф» частково почав оновлюватися (була відновлена робота Смолинського торфобрикетного заводу), однак радикальних змін на краще не відбулося.

Встановлено, що наразі торф'яна промисловість України знаходиться в занедбаному стані, отже – її необхідно створювати з нуля на абсолютно інших засадах.

Торф наразі є недооціненим в Україні – як з економічної, так і з екологічної точки зору. За оцінками фахівців використання замість вугілля торфу в котельнях для обслуговування житлового фонду зменшує в 3-4 рази витрати по експлуатації цих котелень. Дослідження показали, що 1 тонна торфу у вигляді торфобрикетів замінює 1.6

тон бурого вугілля. Торф є одним з відновлювальних природних ресурсів. Щорічний приріст запасів торфу у родовищах, що допоки не використовувалися, перевищує 60 млн. тон. За роки промислової розробки торф'яних покладів було використано не більше ніж 10% усіх торф'яних ресурсів. Використання торфу в якості палива більш екобезпечно, ніж використання вугілля, мазуту чи сланцю. Встановлено, що при заміні вугілля, сланців та мазуту на торф забруднення атмосферного повітря викидами оксидів сірки зменшується: у порівнянні з вугіллям – в 4-24 рази (в залежності від зольності та конкретного вугільного басейну); сланцем – в 9 разів, мазутом – в 6 разів, а викид твердих завислих часток – в 2-19 разів у порівнянні з вугіллям та у 36 разів – у порівнянні зі сланцем [5]. Зола, що залишається – повністю утилізується в якості добрива.

Таблиця 1. Запаси торфу по областях України

Адміністративна область	Кількість родовищ, усього	Кількість розроблених родовищ	Загальні запаси, тисяч тон	Підтверджені запаси, тисяч тон	Видобуток, тисяч тон
Рівненська	330	46	361951	135822	207
Волинська	226	86	372153	160706	206
Чернігівська	198	88	250019	63925	92
Житомирська	187	59	83707	31791	31
Львівська	128	46	200050	67360	86
Сумська	115	53	101456	55511	3
Хмельницька	80	30	61519	24214	-
Тернопільська	76	27	102124	26375	25
Київська	51	14	147810	36978	10
Полтавська	49	20	69806	27230	1
Вінницька	47	8	33728	3713	-
Черкаська	37	12	52127	22346	26
Івано-Франківська	35	13	13324	5228	20
Херсонська	3	1	2726	1664	6
Україна у цілому	1562	503	1852500	662863	713

Джерело – [5]

Для відродження українського торфопрому необхідно, як мінімум, звернутися до досвіду країн, що є наразі лідерами у цій сфері – насамперед Фінляндії. Видобутком торфу фіни займаються вже більше 120 років, однак масштабний та радикальний розвиток фінська торфова промисловість отримала тільки в кінці 60 років XX століття в результаті державної програми по розвитку торф'яної галузі. Основним інструментом держави при цьому була активна інвестиційна політика, яка доповнювалася рішучими діями підприємців. В 1963 році державне підприємство, що до цього моменту займалося забезпеченням державних залізниць паливом (дровами) Valtion polttoainetoimisto отримало свою сьогоднішню назву VAPO, у 1968 році ним був початий промисловий розвиток виготовлення та споживання торфу. За рішенням фінського парламенту VAPO були надані кошти на придбання торфозаготівельних машин та обладнання, а також на прийом на роботу необхідних (зокрема – закордонних) спеціалістів. В 1974 році державна рада Фінляндії схвалила програму розвитку, у відповідності до якої були подвоєні встановлені в 1971 році плани що до видобутку торфу. Було прийнято рішення вийти до 1980 року на рівень щорічного видобутку в 20 млн. кубометрів. Ця мета була досягнута, щоправда, тільки в 1986 році. Як ми бачимо, за досить короткий час у державі була створена інфраструктура біоенергетики, що досить ефективно виконує свої задачі з забезпечення потреби держави в енергії на основі місцевих видів палива. На даний момент держава зменшує свою участь в торф'яній галузі (VAPO є власністю держави

тільки на 50.1%). Близько мільйон фінів опалює свої помешкання торфом в більш ніж 50 містах та комунах, саме торфом виробляється близько 5% електроенергії у країні, прямо та побічно торф утворює об'єм робіт на 12000 людино-років, а народне господарство країни щорічно отримує за рахунок торфу 530 млн. євро [8].

Після Фінляндії по видобутку торфу (за даними на 2009 рік [8]) йдуть Ірландія та Білорусь. Характерною рисою ірландської моделі є можливість паралельного використання одного торф'яника великим торфовидобувним підприємством для продажу та місцевими фермерами (вручну) для опалення помешкань та для підвищення якості ґрунту. Білоруська ж економіка до 70-х років минулого століття була переважно торфоорієнтованою, за рахунок великих його покладів. Наразі ця галузь економіки Білорусі повністю знаходиться у державній власності. Основним клієнтом білоруських торфовидобувних підприємств є сільське населення, що використовує торф переважно для опалення своїх домівок.

Як вказує досвід вищезгаданих країн, розвиток торфової промисловості призводить до низки непрямих позитивних наслідків, які умовно можна розділити на економічні, екологічні та соціальні.

- До економічних можна віднести зниження цін на паливо у регіоні, пожвавлення конкуренції між виробниками палива, притік інвестицій, зниження експлуатаційних витрат котельних (за оцінками фахівців – в 3-4 рази).[7]

- До екологічних – зменшення шкідливості викидів ТЕЦ/котельних/пічей, що перейдуть з вугілля на торф (щоправда, при переході на торф з газу шкідливість дещо підвищиться), ліквідація пожежонебезпечних (осушених, часто – ще за часів Радянського Союзу) ділянок торфовищ.

- До соціальних – появу нових робочих місць у регіоні, зниження цін на паливо для населення, збільшення інвестиційної привабливості регіону, можливі інвестиції власне торфовидобувних підприємств у соціальну сферу.

Наразі на долю торфу у всеукраїнському балансі енергоносіїв, що використовуються, припадає не більше 1%. Значна частина продукції реалізується як сільгосппродукція, а не паливо.

Кроками, які могли б реанімувати українську торф'яну промисловість, могли б бути:

- Корекція статті 150 Земельного кодексу України щодо особливо цінних земель з метою виводу тієї чи іншої частини торфовищ з їх реєстру.

- Залучення інвестицій до сектору. Без зовнішнього інвестування створити достатню кількість підприємств принципово неможливо.

- Заохочення малого та середнього бізнесу (насамперед фермерів) до використання торфу як палива. Наприклад, шляхом зниження вартості торфосумісних твердопаливних котлів та обслуговування.

- Перехід ТЕЦ та котельних малих міст/селищ міського типу на вищезгадані котли. Цей пункт, разом з попереднім, допоможе забезпечити як старі державні, так і нові приватні підприємства галузі покупцями.

- Створення в Україні власної промислової бази для конструювання, виготовлення та ремонту торфовидобувної техніки. В якості першого етапу цієї схеми можна розглядати підвищення кваліфікації вітчизняних інженерів на профільних підприємствах за кордоном (у Фінляндії, Німеччині, Канаді, тощо).

- Комплексне використання різних «зелених» ресурсів, таких як власне торф, вітер, сонячна енергія, енергія малих річок, тощо.

Висновки

Отже торф, як і нафта, є надзвичайно цінною хімічною сировиною, використовувати яку в якості палива чи добрива дуже просто, але надзвичайно марнотратно. Тому гіпотетична система видобутку торфу, яка може бути створена на теренах України, тільки під час глибокої економічної кризи може використовуватися як джерело енергоресурсів або сільськогосподарської сировини. В подальшому ця система має бути доповнена потужною науковою складовою (лабораторіями, дослідницькими центрами, в найкращому випадку – інститутами), на базі якої буде можливе виробництво різноманітних продуктів органічної хімії.

Список використаних джерел

1. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / За ред. В. С. Білецького. — Донецьк: Донбас, 2004.
2. В.І. Саранчук, М.О.Ільяшов, В.В. Ошовський, В.С.Білецький. Основи хімії і фізики горючих копалин. - Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – с. 640.
3. Чуханов З. Ф., Хитрин Л. Н., Энерготехнологическое использование топлива, М., 1956
4. A. F. Bowman, Soils and the Greenhouse Effect, 1990
5. Рогаль О.К. Торф паливний. – [Інтер. рес.] Режим доступу: <http://torf-zt.com.ua/torf-palivnij/>
6. Е. Вешняковская. Торф как национальная идея. – «Наука и жизнь» - [Інтер. рес.] Режим доступу: <http://torfdom.com.ua/torf-kak-nacionalnaya-ideya-e-veshnyakovskaya-nauka-i-zhizn/>
7. Фомина О. Торфонедоработка. – «UaEnergy» - [Інтер. рес.] Режим доступу: <http://uaenergy.com.ua/post/7176/torfonedorabotka/>
8. Рейно Котты. Промышленная добыча торфа в Финляндии. – «Интерэнерго» - [Інтер.рес.] Режим доступу: <http://ieport.ru/28251-promyshlennaya-dobycha-torfa-v-finlyandii.html>

УДК

Н.І. Жукова, М.О. Мельничук

ЗМЕНШЕННЯ ШУМУ ВІД ШАХТНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК
ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВІБРОДЕМПФЕРУВАННЯ

Розглянуто проблему боротьби з шумом, що виникає при роботі шахтних вентиляційних установок. Досліджено один із методів боротьби з проблемою – метод вібродемпфірування. Оцінено його ефективність та запропоновано найбільш ефективний матеріал для використання у шахтних вентиляційних установках.

Ключові слова: вібрація, шум, шахтні вентиляційні установки, джерела вібрації, вібродемпфірування, модуль динамічної пружності, коефіцієнт спаду.

УМЕНЬШЕНИЕ ШУМА ОТ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВИБРОДЕМПФИРОВАНИЯ

Рассмотрено проблему борьбы с шумом шахтных вентиляционных установок. Исследовано один из методов борьбы с проблемой – метод вибродемпфирования. Оценено его эффективность и предложено самый эффективный материал для использования в шахтных вентиляционных установках.

Ключевые слова: вибрация, шум, шахтные вентиляционные установки, источники вибрации, вибродемпфирование, модуль динамической упругости, коэффициент спада.

NOISE REDUCTION FROM COAL MINE VENTILATION SYSTEMS BY
APPLYING THE METHOD OF VIBRATIONFREE

The problem of suppression of the noise that occurs in coal mine ventilation systems. Investigated one method of combating the problem – the method vibrationprone. Evaluated its effectiveness and suggested the most effective material for use in mine ventilation systems.

Keywords: vibration, noise, mine ventilation systems, sources of vibration, vboogieman, the dynamic module of elasticity, coefficient of recession

Вступ. Науково-технічний прогрес сприяв впровадженню різноманітної техніки у виробничі процеси, деякі з них пов'язані з вібрацією. Одним з таких процесів є робота вентиляційних установок, що використовуються для провітрювання шахт. Вібрацією називають рух матеріальної точки або механічної системи, при якому почергово зростають і спадають за часом значення величини, що характеризує цей рух. Проявляється у вигляді механічних коливань пружних тіл чи звуку[1].

Завдання та мета дослідження. Дослідити джерела виникнення вібрації та шуму при роботі шахтних вентиляційних установок та розглянути шляхи її усунення. Основною метою даної роботи є оцінка методу вібродемпфірування для усунення шуму, що виникає, при роботі шахтних вентиляційних установок та вибір найбільш ефективної вібродемпфіруючої пасти для даного виду обладнання.

Матеріали та результати дослідження. Вібрація в вентиляційних установках виникає внаслідок відсутності статичної і динамічної рівноваги робочих коліс вентиляторів, роторів електродвигунів, також пульсацій повітряного потоку у вентиляторах і повітропроводах. Крім того, джерелом вібрації є підшипники котіння, а також несоосність валів вентилятора і приводу.

Вібрації передаються будівельним конструкціям та, розповсюджуючись по них,

можуть призвести до виникнення структурного шуму в сусідніх і навіть віддалених від вентиляторів приміщень.

Частота вібрації може бути інфразвуковою та звуковою. Інфразвукова вібрація відчувається у вигляді коливання і є причиною додаткового шуму через вібрації погано закріплених предметів. Дія ж звукових вібрацій проявляється у вигляді шуму[2].

Вентиляційні повітропроводи та корпуси вентиляторів виготовляються зі сталі, це матеріал з малими втратами на внутрішнє тертя. Тому, вони мають підвищену здатність до утворення вібрації та її передачі. Внаслідок їх роботи утворюється шум, який має максимальний рівень тиску – 87 дБ. Згідно «Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99» це значення перевищує допустимий рівень шуму для даного виду робіт, що становить 78 дБ. Внаслідок цього, у працівників виникає розсіювання уваги, зниження працездатності та ін. Шум негативно впливає на стан здоров'я, викликаючи підвищення тиску, безсоння, зниження слуху, хронічні хвороби та віддалені наслідки.

Одним з найбільш ефективних методів боротьби з шумом є вібродемпферування. Так як на резонансних частотах амплітудах вібрації коливної системи визначається її активним опором, тоді, за рахунок штучного збільшення активних втрат у системі, можна суттєво зменшити вібрації, а внаслідок цього і шум[3].

Оскільки металічні конструкції мають досить широкий спектр власних коливних частот, послаблення коливань на резонансних частотах призводить до зменшення вібрації та шуму не на окремих частотах, а в широкому спектрі частот.

Збільшення втрат енергії в системі досягається шляхом нанесення на металічну поверхню шарів пружно-в'язких матеріалів, що мають більші втрати на внутрішнє тертя.

Ефективність вібродемпфіруючого покриття визначається пружно-в'язкими параметрами матеріалу, що наноситься η та динамічним модулем пружності E .

Пружно-в'язкий параметр матеріалу можна визначити за формулою:

$$\eta = \omega \times \frac{\mu}{c}, \quad (1)$$

де ω — кутова частота коливань, T^{-1} ; μ — коефіцієнт в'язкого тертя, $Pa \cdot s$; c — жорсткість системи, N/m .

В наш час широко використовують два види вібродемпфіруючого покриття – жорсткі та м'які. До жорстких відносяться жорсткі, тверді пластмаси та пасти, дія яких обумовлена їх деформаціями у поздовжньому напрямку. Динамічний модуль пружності таких матеріалів $E \approx 10^3 \text{ Н/м}^2$. Акустичний ефект при використанні жорсткого покриття забезпечується на низьких та середніх частотах (в середньому до 1000 Гц). Дія м'яких вібродемпфіруючих покриттів, до яких відносять гуму, деякі пасти та пластмаси, обумовлене головним чином деформацією покриття по його товщі, яка повинна бути не менше двох – п'яти потужностей металічної поверхні. Величина E у таких матеріалів близько 10^7 Н/м^2 , а частотний діапазон їх використання – більше 1000 Гц.

Зниження шуму вібродемпфіруючими покриттями здійснюється не лише за рахунок збільшення внутрішніх втрат, але і через підвищення звукоізоляції стінок конструкції, особливо при нанесенні шарів великої товщини. Для ефективного використання необхідно наносити шар покриття, потужність якого у 5 – 7 разів більше товщини матеріалу, з якого виготовлено конструкцію.

Зниження шуму, що досягається при нанесенні вібродемпфіруючого покриття, може бути приблизно визначено за формулою:

$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{\eta_2}{\eta_1} \right), \quad (2)$$

де η_2 – коефіцієнт втрат металічної поверхні з покриттям; η_1 – коефіцієнт втрат

металічної поверхні без покриття.

Коефіцієнт втрат

$$\eta_2 = \frac{E_p(\delta_p/\delta_m)^2}{E_m}, \quad (3)$$

де E_p , E_m – динамічні модулі пружності відповідно покриття та металу, Н/м²; δ_p , δ_m – товщина відповідно покриття та металу, м.

В таблиці 1 наведено значення динамічного модуля пружності та коефіцієнта втрат для різних вібродемпфіруючих покриттів.

Таблиця 1

Матеріал	Щільність, кг/м ³	Динамічний модуль пружності E_p , Н/м ²	Коефіцієнт втрат	Частотний діапазон ефективного зниження шуму, Гц
ВД-17-58	1860	$6 \cdot 10^8$	0,44	До 1000
ВД-17-59	1760	$8,2 \cdot 10^8$	0,3	До 1000
ВД-17-63	1700	$3,9 \cdot 10^5$	0,23	До 1000
Азбокартон	1000	$5,8 \cdot 10^8$	0,065	До 1000
Агат (листовий)	---	10^9	0,33	До 1000
Антивібрит -2	1500	$3 \cdot 10^9$	0,44	До 1000
Антивібрит-3	---	$3,6 \cdot 10^9$	0,23	До 1000
ШВІМ-18	--	$6 \cdot 10^7$	0,39	До 1000
ШВІМ-19	---	$8 \cdot 10^7$	0,54	До 1000
Гума марок:				
615	530	$1,8 \cdot 10^5$	0,27	Більше 1000
922	70	$3 \cdot 10^6$	0,35	Більше 1000
1002	750	10^7	0,6	Більше 1000
10731	---	$8 \cdot 10^6$	0,33	Більше 1000

Як видно з вище наведених формул, ефективність вібродемпфіруючого покриття залежить від E_p та η_2 , а також від співвідношення товщини покриття та металу [4].

Так, наприклад, розрахуємо величину зниження шуму від повітропроводу при використанні таких матеріалів, як гума марки 1002 товщиною 3 мм та вібродемпфіруючого покриття ВД-17-59 – 7 мм.

Установка виготовлена зі сталі, товщина стінки $\delta_m = 1$ мм. При розрахунках по формулах (2) і (3) величини E_m та η_1 для сталі приймаються рівними відповідно $2 \cdot 10^{11}$ Н/м² та 10^{-3} . Отже, зниження шуму від повітропроводу шляхом використання гумового покриття 1002, при $E_p = 10^7$ Н/м² та $\delta_p = 3$ мм:

$$\eta_2 = \frac{E_p(\delta_p/\delta_m)^2}{E_m} = \frac{10^7 \times (3/1)^2}{2 \times 10^{11}} = 4,5 \times 10^{-4},$$

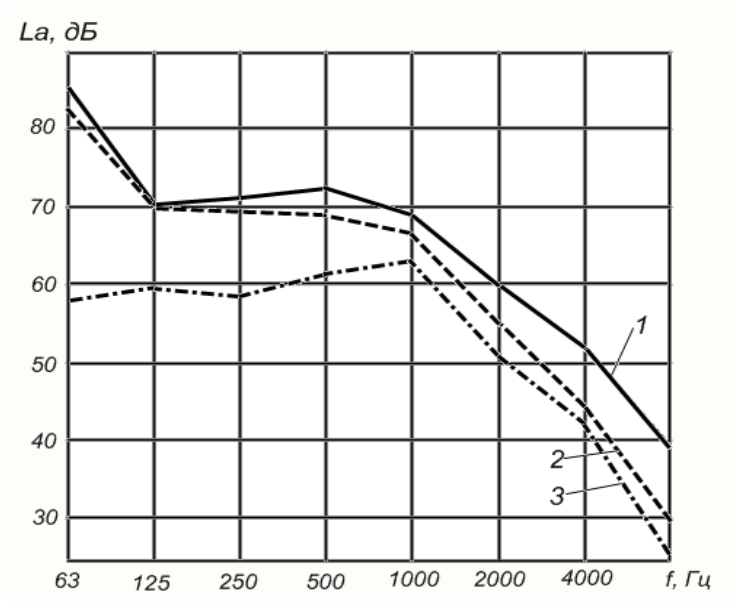
$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{\eta_2}{\eta_1} \right) = 20 \lg \left(\frac{4,5 \times 10^{-4}}{10^{-3}} \right) \approx 7 \text{ дБ}.$$

Зниження шуму від повітропроводу шляхом використання вібродемпфіруючої пасти ВД-17-59, при $E_p = 8,2 \cdot 10^8$ Н/м² та $\delta_p = 7$ мм:

$$\eta_2 = \frac{E_p(\delta_p/\delta_m)^2}{E_m} = \frac{8,2 \times 10^8 \times (7/1)^2}{2 \times 10^{11}} = 0,2 \times 10^{-1},$$

$$L = 20 \lg \left(\frac{\eta_2}{\eta_1} \right) = 20 \lg \left(\frac{0,2 \times 10^{-1}}{10^{-3}} \right) \approx 26 \text{ дБ}.$$

На Рисунку 1 відображено зменшення вібрації при нанесенні пасти ВД-17-59 та приклеювання шару гуми.



- 1 – до нанесення покриття; 2 – після прикріплення шару гуми товщиною 3 мм; 3 – після нанесення шару пасти ВД-17-59 товщиною 7 мм.

Рисунок 1 – Спектри віброприскорення стінки металічного повітропроводу

Слід відмітити, що покриття з м'яких матеріалів найбільш ефективно на високих частотах, так як завдяки порівняно невисокому модулю пружності довжина пружної хвилі у покриттях стає спів розмірною з товщиною матеріалу саме на високих частотах, що є необхідною умовою ефективності м'яких покриттів.

В якості прикладу, ми розглянули застосування вібродемпфіруючої пасти ВД-17-59. Можна сказати, що використання дає зниження шуму у широкому діапазоні частот. Вона може бути нанесена на будь-яку поверхню, в тому числі й на такі складні, як поверхні елементів вентиляційних систем. На Рисунку 2 відображено ефективність використання вібродемпфіруючої пасти ВД-17-59, при нанесенні на стінки повітропроводів та корпуси вентиляторів.

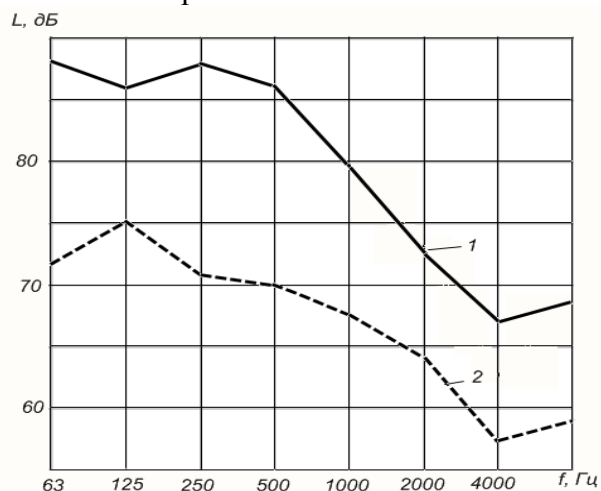


Рисунок 2. Спектри шуму в приміщенні вентиляційної камери до (1) та після (2) нанесення пасти ВД-17-59 на стінки повітропроводів та корпусів вентиляторів.

Також необхідно мати на увазі, що ефективне зниження шуму від застосування пасти буде отримано лише в тому випадку, якщо досліджувана поверхня, на яку планується нанесення вібродемпфіруючої пасти, буде домінуючим джерелом шуму по відношенню до інших джерел.

Висновки.

1. В роботі доведено, що застосування вібродемпфіруючої пасти ВД-17-59 забезпечує підвищення активних втрат енергії на стінках повітропроводу, за рахунок чого зменшується величина шуму.
2. Використання даного пасти дозволяє зменшити енергетичне забруднення виробничих приміщень, що в свою чергу, сприяє підвищенню працездатності працівників та запобігає погіршення здоров'я персоналу.
3. Широке застосування такого матеріалу сприяє подовженню терміну експлуатації вентиляційних установок, у зв'язку з тим, що він грає роль захисного покриття, що запобігає руйнуванню і корозії вентиляційних систем.

Література

1. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці: Навч. посіб. — 2-ге вид., стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
2. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: Навч. посіб. — 4-те вид., випр. і доп. — К.: Знання, 2006. — 319 с.
3. Апостолюк С.О., Джигирей В.С., Соколовський І.А. та ін. **Промислова** екологія: Навч. посіб. — 2-ге вид., виправл. і доповн. — К.: Знання, 2012. — 430 с.
4. Юдин Е.Я., Терехин А.С. Борьба с шумом шахтных вентиляционных установок. — 2-е изд. перераб. и доп. М., Недра, 1985. — 191 с.

І.В.Косяк, Н.І.Жукова

«ПРОЕКТУВАННЯ ЗАХОДІВ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД ТА УТИЛІЗАЦІЇ
СИРОВАТКИ З УТВОРЕННЯ БІОГАЗУ НА ПІДПРИЄМСТВІ «КАГМА» »

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И
УТИЛИЗАЦИИ СЫВОРОТКИ С ОБРАЗОВАНИЯ БИОГАЗА НА ПРЕДПРИЯТИИ
«КАГМА» »

«DESIGNING ACTIVITIES WASTEWATER TREATMENT AND RECYCLING
OF THE SERUM WITH THE FORMATION OF BIOGAS IN THE ENTERPRISE
«KAGMA» »

Розглянуто діяльність молокопереробного підприємства ПрАТ «Кагма» та запропоновано технологію очищення стічних вод з одержанням біогазу.

Ключові слова :молокопереробне підприємство, стічні води, сироватка, метанове бродіння, аеробне очищення, біогаз.

Рассмотрена деятельность молокоперерабатывающего предприятия ЧАО «Кагма» и предложена технология очистки сточных вод с получением биогаза.

Ключевые слова :молокоперерабатывающее предприятие, сточные воды, сыворотка, метановое брожение, аэробное очищение, , биогаз.

Discusses the activities of milk processing enterprises of PJSC "Kagma" and the technology of wastewater treatment with biogas.

Keywords :milk processing plant, waste water, whey, methane fermentation, anaerobic purification,biogas.

Молочна промисловість — галузь харчової промисловості, що об'єднує підприємства з виробництва молока та різних молокопродуктів. До складу промисловості входять підприємства з виробництва тваринного масла, суцільномолочної продукції, молочних консервів, сиру, сухого молока, бринзи, морозива, казеїну та іншого.

Під час виробництва молочних продуктів утворюється значна кількість сироватки, близько 90 % від об'єму молока. Вона містить до 50 % сухих речовин молока, в т.ч. до 5 % лактози, жир, білок, амінокислоти, органічні кислоти. Відомі різні методи утилізації сироватки – ультрафільтрація, сушка, виробництво етилового спирту та інших продуктів.

Через відсутність досконалих ресурсозберігаючих технологій ці методи майже не застосовуються. Актуальним є пошук альтернативних інтегрованих засобів утилізації сироватки та ефективного очищення стічних вод від забруднюючих речовин.

У зв'язку з цим, актуальним є дослідження процесу метанового бродіння та аеробного очищення відходів молочного виробництва і розробка на цій основі комплексної ресурсозберігаючої технології, що знайде широке застосування у промисловості.

Як об'єкт досліджень було обрано молокопереробне підприємство ПрАТ «Кагма». Дане підприємство знаходиться за адресою : Київська область, м. Кагарлик, вул. Карла Маркса 14.

Щодоби заводом переробляється до 100 м³ молока. У таблиці 1 наведені дані про річний випуск продукції на підприємстві.

Таблиця 1 - Річний випуск продукції

№	Вид продукції	Випуск продукції, т/рік
1	Продукція з нежирного молока	35
2	Продукція з незбираного молока	9300
3	Масло солодковершкове	260

Асортимент продукції налічує понад 80 одиниць. Продукція представлена торговими марками «КАГМА», «ЗДОРОВ'Я», «ЮНІОР» – молоко, в т.ч. пряжене, кефір, ряжанка, закваска, йогурт, сметана, масло, сир кисломолочний, солодка сиркова маса.

Технологічні процеси випуску молочної продукції на даному підприємстві вимагають значне використання артезіанської води обсягом 76000,0 м³/рік.

В процесі виробничої діяльності молокопереробного підприємства ПрАТ «Кагма» утворюються наступні відходи, які тимчасово зберігаються на території підприємства:

- відходи деревини;
- брухт чорних металів;
- шини відпрацьовані;
- відходи комунальні;
- лампи люмінесцентні;
- акумулятори відпрацьовані;
- стічні води.

Найбільшу небезпеку серед становлять стічні води, які утворюються в процесі роботи і мийки технологічного обладнання, трубопроводів та виробничих приміщень. Стічні води після миття технологічного обладнання направляються в каналізацію на вигріб (яма 50 м³), з послідовним вивезенням на поля фільтрації. Річний обсяг стоків підприємства складає 50, 2 тис. м³. З цього об'єму в міську каналізаційну мережу скидається 6,4 тис. м³/рік, а решта (43,8 тис. м³/рік) стічних вод зливається у вигрібну яму і в подальшому вивозиться на орендовані поля фільтрації.

Враховуючи якісний склад стічних вод підприємства (таблиця 2) та відсутність технології їх очищення можна зробити висновки про нанесення шкоди довкіллю.

Таблиця 2 - Характеристика стічних вод підприємства «Кагма»

Показник	Од. вимір.	Значення	ГДК
Температура	°С	+9	+40
рН	од.	6,8	6,5-9,0
Завислі речовини	мг/дм ³	328,35	221,4
ХСК	мгО/дм ³	473,48	875,0
БСК-5	мгО/дм ³	252,58	250,0
Хлориди	мг/дм ³	124,23	350,0
Сульфати	мг/дм ³	40,37	270,0
Нітрити	мг/дм ³	0,26	0,7
Нітрати	мг/дм ³	2,74	45,0
Азот	мг/дм ³	6,67	14,17
Фосфати	мг/дм ³	9,76	10,0
СПАР	мг/дм ³	0,13	7,686
Нафтопродукти	мг/дм ³	0,17	10,0
Залізо	мг/дм ³	0,42	2,5

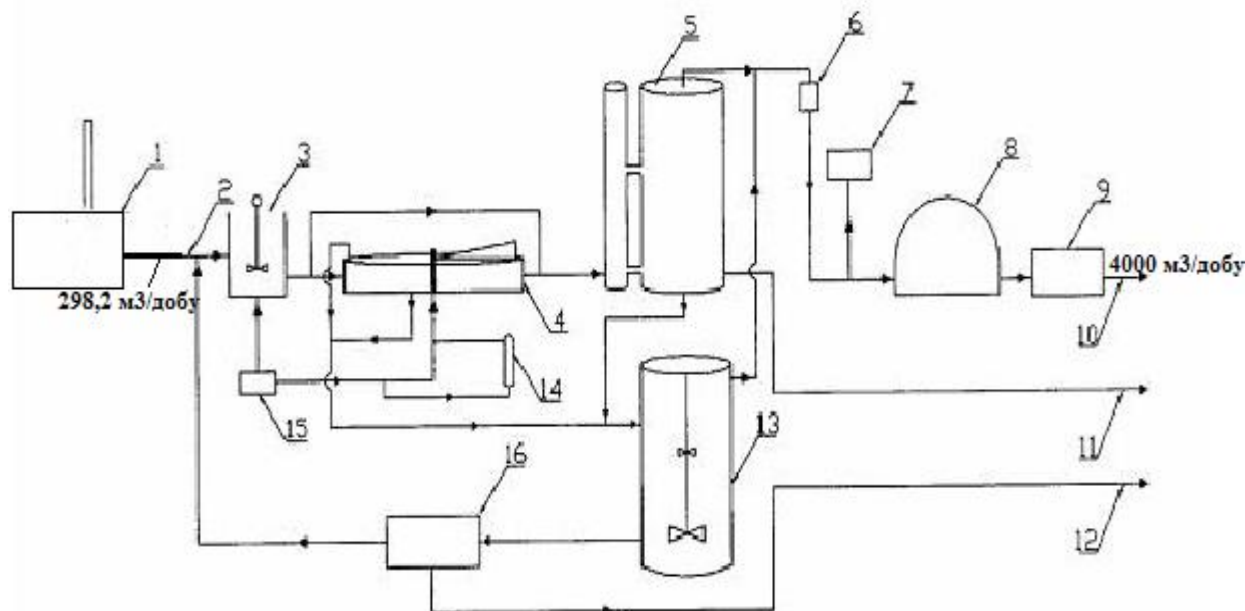
Враховуючи вищенаведене пропонується технологія очищення стічних вод з одержанням біогазу і подальшої його утилізації на когенераційних установках. Запропонована технологія – це метанове бродіння, як попередня стадія очищення

концентрованих стоків з наступним аеробним доочищенням. При цьому утвориться біогаз із вмістом метану до 80% , який пропонується використовувати на власній міні ТЕЦ.

Для підприємства була рекомендована технологічна схема очищення, яка включає розподіл потоку на дві фракції по вмісту завислих речовин і жирів, де основний потік з концентрацією завислих речовин з концентрацією менше 200 мг/дм^3 надходить на метановий реактор типу UASB - реактор з висхідним потоком, через шар анаеробного мулу, а флотошлам з вологістю біля 95 % проходить обробку в метановому реакторі класичного типу.

Для початку ферментації концентрат необхідно підігріти до мезофільної (35°) або термофільної ($53\text{--}54^\circ$) температури. Оскільки лактоза у сироватці вже в значній мірі розкладалася на галактозу та глюкозу, ферментація по зрівнянню з іншими видами субстрату протікає набагато швидше, час перебування потоку в метановому реакторі в залежності від температурного режиму та якісних характеристик стічних вод знаходиться у діапазоні 22– 48 годин.

На рисунку 1 наведена технологічна схема очищення високонцентрованих стічних вод та утилізації сироватки із видобутком біогазу .



1 – ПрАТ «Кагма»; 2 – високонцентровані стічні води й сироватка; 3 – усереднювач – буферний резервуар; 4 – флотатор; 5 – метановий реактор типу UASB; 6 – газоочищення; 7 – аварійний факел; 8 – газгольдер; 9 – доочищення газу та газорозподільний пункт; 10 – біогаз; 11 – очищені стічні води; 12 – зневоднений шлам; 13 – метановий реактор класичного типу; 14 – реактор насичення кисню; 15 – приготування реагентів; 16 – зневоднення зброджувального субстрату.

Рисунок 1 - Система очищення високонцентрованих стічних вод та утилізації сироватки із видобутком біогазу

Отриманий біогаз від очищення стічних вод та утилізації сироватки направляється до біогазової міні ТЕЦ на базі газопоршневих двигунів GE Jenbacher.

Базова структура міні-ТЕЦ GE Jenbacher включає в себе енергоблоки, що складаються з двигуна і генератора, а також теплообмінники для утилізації надлишкового тепла. Використання всіх джерел тепла - охолоджуючої рідини двигуна, масла, і енергії вихлопних газів - підвищує енергоефективність міні-ТЕЦ GE Jenbacher. Запатентована система газоподачі LEANOX забезпечує стабільну роботу двигуна, незважаючи на хімічні коливання компонентного складу біогазу. Таким чином, можливе отримання теплової енергії у вигляді гарячої води з гнучким температурним графіком або у вигляді насиченої пари з необхідними параметрами для опалення або технологічних потреб виробництва. Схема біогазової міні ТЕЦ наведена на рисунку 2.

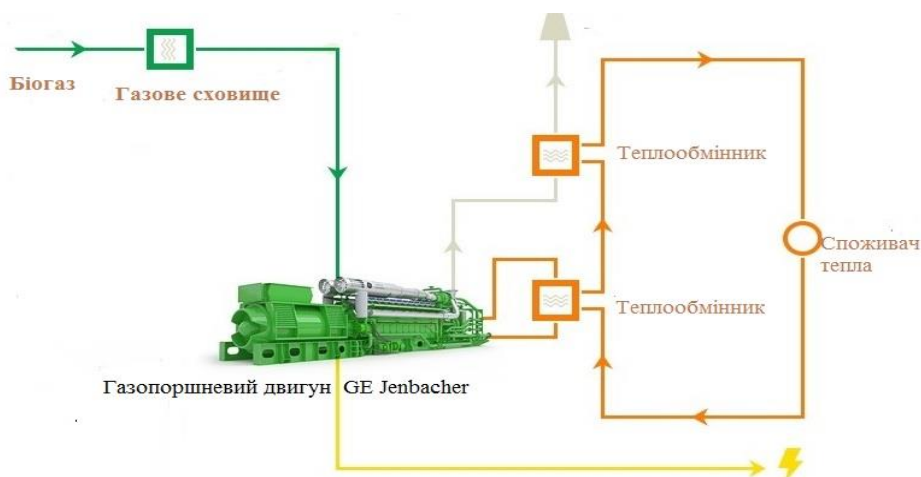


Рисунок 2 – Схема біогазової міні ТЕЦ

Річний економічний ефект від впровадження технології на молочному заводі становить 1530 тис. грн., термін окупності – 0,42 року, при капітальних витратах 800 тис. грн.

Висновки:

1. Впровадження технологічної схеми очищення стічних вод підприємств молочної промисловості дозволяє ефективно очистити стоки та одночасно використовувати відходи виробництва.
2. Запропонована установка дозволяє утилізувати відходи виробництва та отримувати біогаз обсягом 4 000 м³/добу.
3. Річний економічний ефект від впровадження запропонованої технології складає близько 1,5 млн. грн.

Використана література:

1. Пушкін С.П., Дуднікова І.І. Моніторинг навколишнього середовища : Підручник / - К.: Видавництво Європейського університету , 2007 .- ч.1,2,3.
2. Запольський А.К. Екологізація харчових виробництв: Підручник / Запольський А.К., Українець А.І.. – К.: Вища школа, 2005. – 423 с.
3. Васюкова Г.Т. Екологія: Підручник/ Васюкова Г.Т.,Ярошева О.І. – К.:Кондор, 2009. – 524с.
4. ПрАТ «Кагма» [Електронний ресурс] : офіційний сайт ПрАТ «Кагма».- 2011-2013. – Режим доступу: <http://www.kagma.ua>

Шевчук Н. А., Шабельник І. Ю.

СПОСІБ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ФІЛЬТРАТУ НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

В даній статті досліджено спосіб захисту від забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод фільтратом з полігонів твердих побутових відходів. Розглянуто доцільність застосування протифільтраційних екранів.

Ключові слова: полігон ТПВ(твердих побутових відходів), фільтрат, протифільтраційний екран.

Шевчук Н. А., Шабельник И. Ю.

СПОСОБ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ФИЛЬТРАТА НА ПОЛИГОНЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В данной статье исследован способ защиты от загрязнения почв, поверхностных и подземных вод фильтратом из полигонов твердых бытовых отходов. Рассмотрена целесообразность применения противофильтрационных экранов.

Ключевые слова: полигон ТБО (твердых бытовых отходов), фильтрат, противофильтрационный экран.

Shevchuk N. A., Shabelnyk I. Y.

METHOD OF FILTRATE DISPOSITION ON THE HARD DOMESTIC WASTE LANDFILLS

This article investigates means of soil, ground and surface water protection from pollution by means of filtrates from hard domestic waste landfills. Appropriateness of impervious screen usage was examined.

Key words: hard domestic waste landfill, filtrate, impervious screen.

Проблема накопичування, переробки та утилізації побутових відходів залишається складною через відсутність науково-обґрунтованих концептуальних рішень, щодо інженерного екологічного захисту навколишнього середовища. Тому актуальними є дослідження, пов'язані з питаннями захисту довкілля від фільтрату сховищ та полігонів.

З фільтратом ТПВ до довкілля надходить значна кількість забруднювачів, серед яких найбільш небезпечними є важкі метали, нафтопродукти та пестициди. Окремою специфікою характеризуються продукти розкладу та гниття органічних речовин, які є джерелом надходження надлишкових кількостей біогенних елементів, зокрема фосфатів та кислот амонію.

Типовим інженерним методом захисту навколишнього середовища від фільтрату полігонів та звалищ є облаштування протифільтраційних екранів, прокладених по дну і бортах полігону. Як матеріали для екранів використовують асфальт, полімери, бетон, плівки, глини та цеоліти [1].

Діючі сховища та полігони ТПВ в Україні побудовані за недосконалими проектами і сховища несуть потенційну загрозу навколишньому природному середовищу. Так, полігон м. Житомира не обладнаний протифільтраційним екраном та не має системи відведення та очищення фільтрату. В результаті стоку поверхневих вод відбувається поширення забруднення з території складування відходів. Внаслідок цього у підземних водах прилеглих територій спостерігається підвищення нормативних значень твердості, лужності та хімічного споживання кисню (ХСК) [2].

Автори [3] вивчали зміну хімічного складу підземних вод в зоні впливу полігонів ТПВ м. Чернівці, на яких також зберігають промислові відходи. На об'єкті спостерігається тенденція до збільшення загальної мінералізації, вмісту заліза та

органічних речовин (збільшення ХСК у 10 разів). Встановлено кореляцію між зміною ХСК та вмістом іону амонію, при чому перевищення нормативу сягає 28 разів. Окрім цього, виявлено ознаки забруднення поверхневих вод важкими металами (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni).

Аналіз екологічного стану ґрунтового покриву в санітарно-захисній зоні Львівського сміттєзвалища та поза нею показав [4], що в більшості проб концентрації важких металів перевищують норми. У всіх досліджених пробах виявлені перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) за вмістом міді, яке змінюється в межах 1,6–41,3 ГДК навіть поза межами санітарно-захисної зони. Встановлено, що екологічний та санітарно-гігієнічний стан поверхневих вод незадовільний. Серед рекомендацій, наданих авторами [4] для покращення екологічного стану територій впливу Львівського сміттєзвалища є перекриття поверхні звалища слабкофільтрувальними ґрунтами.

Мідь, свинець та кадмій виявлено у підземних водах в зоні промислових відвалів Горлівського хімічного заводу. Основними факторами, що впливають на поширення забруднення, визнано сорбційні та ємнісні характеристики прилеглих ґрунтів та наявність геохімічних бар'єрів [5].

Хімічний склад фільтратів полігонів промислових та побутових відходів надзвичайно різноманітний. Серед макрокомпонентів фільтратів слід відзначити амоній, залізо, хлориди, органічні речовини, концентрації яких у десятки разів перевищують ГДК. У довготривалій перспективі амоній ідентифіковано як найбільш значимий компонент [6, 7], оскільки його концентрація не знижується протягом 30 років після закриття полігону [8]. Амоній у фільтраті з'являється в результаті розкладу білків та амінокислот, причому основна частина органічного азоту у фільтраті представлена іонами амонію у концентраціях 800–3500 мг/л [6, 7]. Природної деградації амонію не існує, тому його концентрація може знижуватися лише внаслідок незворотної адсорбції на поверхні матеріалу протифільтраційного екрану.

Важкі метали присутні у фільтраті полігонів як побутових, так і промислових відходів. Їх концентрації знижуються за рахунок адсорбції на компонентах ґрунту та осадження при взаємодії з аніонами, присутніми у фільтраті або ґрунтовому розчині (сульфати, сульфід, карбонати) [7]. Внаслідок цього концентрації основних важких металів (кадмію, плумбуму, барію, кобальту) суттєво знижуються. Як правило, концентрації найбільш токсичних металів сягають лише 0,05 мг/л [6], і найбільше навантаження на затримуючу здатність екранів припадає на менш токсичні компоненти – залізо, мідь, цинк, нікель. В довготривалій перспективі ймовірно виснаження ємності матеріалу екрану саме по цим елементам. Наприклад, у роботі [7] у ґрунтових водах виявлені плумбум, хром та кадмій в районі дослідного полігону нижче межі визначення, тоді як концентрації міді і цинку перевищували ГДК.

Полігон має гарантувати високий рівень екологічної захищеності довкілля і життєдіяльності людини. Основною спорудою полігону є чаша складування із захисним ізолювальним екраном.

Існує декілька типів захисних і протифільтраційних екранів: ґрунтові (глиняні одношарові, глиняні двохшарові з дренажним прошарком, ґрунтобітумно-бетонні), бетонні, залізобетонні (із залізобетонних плит, із полімербетона, бетоноплівкові), асфальтобетонні (одношарові з бітумним покриттям, двохшарові з дренажним прошарком, з покриттям бітумно-латексною емульсією), асфальтополімербетонні, плівкові (із поліетиленової плівки стабілізованої, із поліетиленової плівки стабілізованої двохшарової з дренажним прошарком).

Широко використовують в якості протифільтраційного екрану дві мінеральні

глини – бентоніт та палигарскіт (одні з найдоступніших та найдешевших мінеральних глин).

Бентоніти – це корисні копалини, високодисперсні, мають розвинену поверхню і для них, крім йонного обміну, можливий перебіг процесів фізичної та молекулярної сорбції [9]. Це жовто- зеленуватого кольору глина, щільна, в'язка, у вологому стані з характерним раковистим зламом. Головні породотвірні мінерали бентонітової глини: кальцієвий монтморилоніт, кварц і карбонати, в окремих випадках містить незначну кількість палигарскіту.

Палигарскіт – це світло-сіра глина, у вологому стані має зеленуватий відтінок, легка, за слабого натиску розсипається на дрібні уламки. Головними породотвірними мінералами є палигарскіт (близько 95 %), монтморилоніт (близько 15 %) і кварц (близько 5 %) [10].

Але практика показала, що адсорбційної здатності протифільтраційних екранів з мінеральних глин з низькими коефіцієнтами фільтрації недостатньо для гарантування екологічної безпеки підземних та поверхневих вод в зоні впливу полігонів ТПВ та сховищ промислових відходів. Полігони необхідно оснащувати системами відведення та знешкодження фільтратів та застосовувати комплексні бар'єри з кількох матеріалів з низькою проникністю, різною пористістю, питомою поверхнею та високою адсорбційною здатністю щодо компонентів фільтратів.

Зараз почали застосовувати протифільтраційні екрани з поліетиленової плівки, котра найбільш дешевша і екологічно надійна. Результати досліджень по довговічності свідчать, що майже за 35-літній період експлуатації споруд поліетиленові плівки не змінили своєї структури, еластичності та міцності. Це дозволяє прогнозувати довговічність екранів із поліетиленової плівки не менше 50 років.

Висновки. Встановлено, що застосування протифільтраційних екранів на полігонах твердих побутових відходів забезпечує можливість мінімізувати забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод фільтратом.

Широкого застосування набули поліетиленові плівки через свою низьку ціну та надійність. Але аналіз показав, що для убезпечення навколишнього середовища необхідне облаштування полігонів та сховищ багат шаровими протифільтраційними екранами з низькою проникністю, різною пористістю та високою адсорбційною здатністю як щодо іонів, так і щодо крупних органічних молекул та іонів амонію.

Список літератури

1. Kreith, F. Handbook of solid waste management [Text] / F. Kreith, G. Tchobanoglous (Ed.). – New York : McGraw-Hill, 2002. – 950 p.
2. Годовська, Т. Б. Еколого-економічний аналіз менеджменту твердих побутових відходів на прикладі Житомирської області [Текст] / Т. Б. Годовська, В. П. Фещенко // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2010. – № 2. – С. 220–227.
3. Николаев, А. М. Вплив полігонів твердих побутових відходів міста Чернівці на підземні і поверхневі води, ґрунти та донні відклади водотоків [Текст] / А. М. Николаев // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наукових праць. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 664–667.
4. Волошин, П. Аналіз впливу Львівського сміттєзвалища на природне середовище [Текст] / П. Волошин // Вісник Львівсько- го університету. Серія геологічна. – 2012. – Випуск 26. – С. 139–147.

5. Киселев, Н. Н. Исследование контаминационных процессов в зоне промывалов Горловского химического завода [Текст] / Н. Н. Киселев, В. Ф. Филатов, Н. А. Дуброва, О. Ю. Квашук // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2008. – № 2. – С. 199 – 210.
6. Ерошина, Д. М. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах [Текст] / Д. М. Ерошина, В. В. Ходин, В. С. Зубрицкий, А. Л. Демидов. – Минск : БелНИЦ „Экология”, 2010. – 152с.
7. Varank, G. Migration behavior of landfill leachate contaminants through alternative composite liners [Text] / G. Varank, A. Demir, S. Top et al. // Science of the Total Environment – 2011. – Vol. 409, Issue 17. – P. 3183–3196. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.044
8. Kruempelbeck, J. G. Long-term behaviour of municipal solid waste landfills in Germany [Text] : Proceedings of Sardinia 99 / J. G. Kruempelbeck // Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. – 1999. – Vol. 1. – P. 27–36. doi: 10.1002/bate.199904440
9. Запольський А.К., Мішкова Н.А., Астрелін І.М. та ін. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К.: Лібра, 2000
10. Грим Р.Э. Минералогия и практическое использование глин. – М.: Мир, 1967. – 511 с.

Н.И. Жукова, В.А. Носова, О.В. Петренко

ВЫБОР ВЕНТИЛЯЦИОННОГО РЕЖИМА ПРИ ПОЖАРЕ НА ШАХТЕ. УСТОЙЧИВОСТЬ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЕНТЛЯЦИИ

Рассмотрена одна из возможных аварийных ситуаций на горном предприятии – пожар, годовые тенденции возникновения пожаров на шахтах Украины. Предложены основные вентиляционные режимы, применяемые при пожаре на шахте. Наведены основные расчетные формулы для определения устойчивости и стабилизации вентиляции при пожаре на шахте.

Ключевые слова: горное предприятие, аварийная ситуация, пожар, вентиляционный режим, устойчивость, стабилизация, депрессия.

ВИБІР ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО РЕЖИМУ ПРИ ПОЖЕЖІ НА ШАХТІ. СТІЙКІСТЬ І СТАБІЛІЗАЦІЯ ВЕНТЛЯЦІЇ

Розглянута одна з можливих аварійних ситуацій на гірничому підприємстві – пожежа, річні тенденції виникнення пожеж на шахтах України. Запропоновано основні вентиляційні режими, застосовувані при пожежі на шахті. Наведені основні розрахункові формули для визначення стійкості та стабілізації вентиляції при пожежі на шахті.

Ключові слова: гірниче підприємство, аварійна ситуація, пожежа, вентиляційний режим, стійкість, стабілізація, депресія.

SELECT VENTILATION MODE AT THE FIRE AT THE MINE. STABILITY AND STABILIZATION OF VENTILATION

Considered one of potential accidents in the mine fire, the annual trends in the occurrence of fires in mines of Ukraine. Proposed basic ventilation modes used in the fire at the mine. Induced basic calculation formulas for determining the stability and stabilization of ventilation in a fire at the mine.

Keywords: mining enterprise, emergency, fire, ventilation mode, stability, stabilization, and depression.

Как известно, угольная промышленность Украины является одной из наиболее опасных отраслей народного хозяйства. Ухудшение горно-геологических условий и дисциплины на угольных шахтах приводят к росту аварийных ситуаций с тяжелыми экономическими и социальными последствиями. Одной из таких ситуаций могут быть пожары на шахте.

Выполнив анализ аварийности на шахтах Украины за 1995-2015 гг. можно утверждать, что за этот период произошло 2739 аварий и аварийных ситуаций. Из 1779 аварий подземные пожары составляют около 53. Следует отметить, что их среднегодовое количество за 1995 - 2005 и 2006 - 2015 гг. имеет тенденцию к снижению, что доля этих пожаров в общем числе аварий уменьшается значительно меньшими темпами и за указанные периоды составляет соответственно 54,5 и 39,8%

Таблица 1 – Статистика крупнейших аварий на шахтах Украины за 2006 – 2015 гг.

Год	Количество пожаров	Количество погибших
1	2	3
2006	2	21
2007	4	119
2008	2	23
2009	3	27

Продолжение таблицы 1

1	2	3
2010	-	-
2011	2	84
2012	1	7
2013	-	-
2014	1	7
2015	1	34

Проанализировав статистические данные, можно прийти к выводу, что пожары на горных предприятиях приводят к большим ущербам, понижению эффективности производства, потери человеческих жизней. Поэтому вопрос выбора режима вентиляции при пожарах на шахтах является ключевым в решении и устранении этой проблемы.

Выбор вентиляционного режима при пожаре

При возникновении пожара к вентиляции предъявляются требования защиты людей от пожарных газов (при выводе их из шахты и во время работ по ликвидации пожара), предупреждения распространения пожара по сети горных выработок и недопущения образования взрывоопасных газоздушных смесей. Выбор вентиляционного режима при пожаре зависит от места его возникновения, скорости его распространения, интенсивности выделения метана и образования горючих газов в очаге пожара, схемы вентиляции шахты и отдельных ее участков, путей вывода людей из подземных выработок и подхода к месту пожара с целью его ликвидации, наличия средств регулирования воздушными струями.

При пожарах могут применяться следующие вентиляционные режимы:

- неизменный по дебиту и направлению;
- ослабленный или усиленный по дебиту и неизменный по направлению;
- реверсивный в целом по шахте или на отдельных участках с изменением количества воздуха;
- нулевой, при котором прекращается доступ воздуха к очагу пожара путем выключения вентиляторов или с помощью перемычек.

Сохранение неизменного вентиляционного режима рекомендуется при возникновении пожара на пластах с обильным выделением метана с целью предупреждения образования взрывоопасной метановоздушной смеси.

Ослабленный вентиляционный режим используется в том случае, когда на пожарный участок поступает большее количество воздуха по сравнению с тем количеством, которое необходимо для разбавления взрывоопасных газов до безопасной концентрации. Этот режим позволяет уменьшить скорость распространения образовавшихся газов и снизить интенсивность пожара. Однако в этом случае изменение режима проветривания нарушает газовую динамику в выработанном пространстве, что может вызвать увеличение потенциальной опасности взрыва. Практическими исследованиями установлено, что уменьшить количество воздуха, поступающего на пожарный участок, необходимо путем закорачивания струи, а не установкой перемычки на поступающей к лаве струе. Установка перемычки приводит к уменьшению атмосферного давления в зоне сопряжения лавы с вентиляционным штреком и к усилению притока метана из выработанного пространства.

Усиленный вентиляционный режим используется в том случае, когда количество воздуха, поступающее в выработки, не обеспечивает разбавления взрывоопасных газов,

выделяющихся из обнаженного массива, а дополнительное поступление горючих газов от сухой перегонки увеличивает вероятность взрыва.

Реверсирование вентиляционной струи возможно в начальной стадии пожара, возникшего в главных воздухоподающих выработках (в стволе, штольне и др.), с целью обеспечения свежим воздухом людей при выводе их на дневную поверхность. Реверсирование струи, как правило, приводит к уменьшению количества воздуха, поступающего в шахту, на 30—40 %, что может создавать опасные ситуации (особенно на газовых шахтах). Поэтому после вывода людей восстанавливается нормальный режим проветривания, если это не противоречит принятым мерам по локализации и тушению пожара. Реверсирование струи в пределах участка чаще применяется для обеспечения наиболее благоприятных условий работы горноспасателей при возведении перемычек, ограничения распространения пожара, его тушения. Иногда реверсирование струи на участке используется для тушения пожара, так как оно позволяет вернуть в очаг пожара образовавшиеся газы с существенно уменьшенным содержанием кислорода и повышенным содержанием инертных газов, что и способствует ликвидации очага горения.

Нулевой режим вентиляции применяется в негазовых шахтах. При этом режиме очаг пожара и образовавшиеся газы распространяются по выработкам очень медленно и из-за недостатка кислорода активность пожара уменьшается. При выключенном вентиляторе главного проветривания движение воздуха в выработках происходит за счет естественной тяги. Это обстоятельство необходимо учитывать при выводе людей из шахты и определении путей подхода к очагу пожара, так как направление движения воздуха при выключенном вентиляторе может смениться на противоположное.

При любом режиме вентиляции необходимо постоянно контролировать концентрацию газов, с тем чтобы своевременно принять меры по предупреждению взрывов газа.

Особенностью выбора режима вентиляции является то, что каждый из них эффективен при определенных условиях и абсолютно недопустим при других. Поэтому правильный выбор вентиляционного режима основан на подробном изучении ситуации при которой возник пожар. На данный момент, не существует подходящего режима для всех условий.

Устойчивость и стабилизация вентиляции при пожаре

При возникновении пожара происходит нагрев воздушной струи, что вызывает появление тепловой депрессии. Если очаг пожара расположен в вертикальной или наклонной выработке, по которой идет восходящая струя, тепловая депрессия совпадает по направлению с депрессией вентилятора и усиливает тягу воздуха, создавая устойчивый вентиляционный режим. Если по выработке струя идет вниз, то тепловая депрессия будет противодействовать работе вентилятора, что может привести к опрокидыванию вентиляционной струи. Последнее может произойти и в том случае, когда очаг пожара расположен в горизонтальной выработке, а нагретый воздух далее движется по наклонной выработке вниз.

Тепловая депрессия зависит от места пожара, его размеров, температуры в очаге пожара, скорости движения нагретых газов, высоты нагреваемого столба воздуха. При разработке мероприятий по обеспечению устойчивой вентиляции необходимо знать величину дополнительной тепловой депрессии (вызываемой пожаром), Определяемой по формуле:

$$h_g = p_a \left[\exp \left(- \sum_1^k \frac{g \Delta z_i}{R_2 T_2} \right) - \exp \left(- \sum_1^k \frac{g \Delta z_i}{R_1 T_1} \right) \right] \quad (1)$$

где p_a — среднее атмосферное давление в контуре выработок, Па; Δz_i — разность высотных отметок 1-й выработки, для которой определяется депрессия, м; R_1, R_2 — газовая постоянная воздуха в выработках до и после возникновения пожара; T_1, T_2 — средняя гармоническая температура воздуха соответственно до и после возникновения пожара, °C; g — ускорение свободного падения, м/с²; k — число выработок в контуре.

Тепловая депрессия, вызванная пожаром, определяется по формуле Б.И. Медведева:

$$h_2 = p_a \left[\exp \left(- \sum_1^k \frac{g \Delta z_i}{R_2 T_2} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

Приращение температуры воздуха на некотором расстоянии от очага пожара определяется по формуле:

$$\Delta t = \Delta t_{оч} e^{0,0175/V_B^{0,64}} \quad (3)$$

где $t_{оч}$ - приращение температуры воздуха в очаге пожара по отношению к температуре до возникновения пожара, °C; V_B - скорость движения воздуха, м/с; e - основание натуральных логарифмов.

Чаще шахтная вентиляционная сеть представляет собой сложное соединение выработок, поэтому для установления заданного вентиляционного режима необходимо выполнить расчет перераспределения воздуха за счет тепловой депрессии в допустимых пределах или определить, до каких пределов нужно изменить сопротивление горных выработок, чтобы создать устойчивое направление движения воздуха в заданных ветвях.

Проанализировав статистические данные о крупнейших авариях на шахтах Украины и численности жертв, можно сделать вывод, что проблема пожаров на угольных предприятиях должна быть обязательно решена в кратчайшие сроки, с целью недопущения человеческих потерь, экономического ущерба и негативного экологического воздействия. Предложены варианты вентиляционных режимов при пожаре, которые являются достаточно эффективными, но только для точно определенной ситуации.

Литература

1. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело. - М.: Недра, 1979. – 320 с.
2. Ушаков К.З., Медведов И.И. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра, 1987. -362
3. Взрывные и буровзрывные работы в шахтах, карьерах и рудниках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.resurs.org.ua>.
4. Орлов Н.В. Ликвидация сложных подземных аварий / Н.В. Орлов, Н.Д. Зрелый, А.Л. Романчук // Техника. – Киев, 1981. – 182 с.

УДК 622.1/.2

Терентьев О. М., Стрельцова И. М.

**ПИТОМА ПОВЕРХНЕВА ЕНЕРГІЯ, ЯК ОДИН З КЛЮЧОВИХ ПАРАМЕТРІВ
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

У статті представлено результати досліджень критеріїв руйнування гірських порід Грифітса, Ірвіна, Орована та інших. На основі їх аналізу визначено, один із ключових параметрів руйнування - питому поверхневу енергію. Створено математичну модель енергоємності руйнування, яка відрізняється тим, що враховує довжину критичної тріщини та питому поверхневу енергію.

Ключові слова: питома поверхнева енергія, енергоємність, руйнування, гірські породи.

Терентьев О. М., Стрельцова И. Н.

**УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ, КАК ОДИН ИЗ КЛЮЧЕВЫХ
ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОДНОЙ**

В статье представлены результаты исследований критериев разрушения горных пород Гриффитса, Ирвина, Орована и других. На основании их анализа определен один из ключевых параметров разрушения - удельная поверхностная энергия. Создана математическая модель энергоёмкости разрушения, которая отличается тем, что учитывает длину критической трещины и удельную поверхностную энергию.

Ключевые слова: энергоёмкость, разрушение, горные породы, удельная поверхностная энергия.

O. Terentev, I. Streltsova

**THE SPECIFIC SURFACE ENERGY AS ONE OF KEY PARAMETERS OF
ROCKS BREAKING**

The article presents the results of rock breaking criteria research by Hryfits, Irwin, Orovan and others. Based on their analysis one of the key parameters destruction identified - a specific surface energy. The mathematical model of the energy intensity of destruction, wherein, taking into account the critical crack length and specific surface energy.

Keywords: energy, breaking, rocks, the specific surface energy.

Вступ.

Математичні моделі для вирішення задач теорії руйнування представлені у роботах Кулона, Сен-Венана, пізніше Грифітса, Прандтля, Ірвіна, Орована, Райса, Мора, Треска, Шлейхера, Новацького, Журкова, Шемякіна, Панасюка, Фрідмана [1-8] та інших. Відомі моделі критеріїв руйнування побудовані на методах механіки суцільних середовищ. Вони ураховують енергетичні та міцнісні параметри руйнування. У більшості з них виділено питому поверхневу енергію (ППЕ), як параметр, що визначає умови розкриття тріщин та руйнування гірських порід. Тому доцільно, побудувати математичну модель одного з ключових енергетичних параметрів - енергоємності руйнування гірських порід, яка б ураховувала питому поверхневу енергію.

Завдання дослідження — побудова математичної моделі енергоємності руйнування гірських порід в залежності від питомої поверхневої енергії.

Мета дослідження — зниження енергоємності руйнування гірських порід за рахунок зменшення питомої поверхневої енергії.

Результати досліджень.

Дослідження механіки руйнування твердих тіл розпочато у трудах Алана Грифітса (початок XX ст.). У його роботі [1] вперше процес руйнування пов'язано не з константами матеріалу, а з довжиною тріщини. Алан Грифітс проводив дослідження для пластини одиничної товщини. Висунув гіпотезу, що тріщина у твердому тілі розвивається під навантаженням за умови, що швидкість вивільнення потенційної енергії деформації більша за приріст питомої поверхневої енергії (ППЕ) тіла:

$$\left| \frac{\partial W}{\partial l} \right| \geq \frac{\partial U}{\partial l}, \quad (1)$$

де W – потенційна енергія деформації пластини, Дж;
 l – півдовжина тріщини, м;
 U – питома поверхнева енергія тріщини (для пластини одиничної товщини), Дж/м.

Критична довжина тріщини (критерій руйнування Грифітса) K_{Gr} , м [9-10]:

$$2 \cdot l \geq K_{Gr} = 2 \cdot \gamma \cdot E / \sigma^2, \quad (2)$$

де γ – питома поверхнева енергія, Дж/м²;
 E – модуль Юнга, Па;
 σ – напруження розтягу, Па.

З аналізу (1-2) витікає, що основними параметрами, які впливають на процес руйнування гірських порід є міцнісні характеристики та ППЕ. При руйнуванні потенційна енергія деформації пластин W перетворюється в ППЕ новоутворених частин твердого тіла. Проте, доцільно провести додаткові дослідження по узгодженню розмірностей лівої та правої частини. У праці [11] у критерії Грифітса не враховано вплив пластичної деформації на процес утворення тріщини. Тому, при розрахунку руйнуючих напружень за критерієм Грифітса отримують завищені результати.

Критерій Орована, м [9-10]:

$$2 \cdot l \geq K_{GrO} = 2 \cdot \gamma_{ef} \cdot E / \sigma^2, \quad (3)$$

де γ_{ef} – ефективна ППЕ, яка складається з суми ППЕ γ та енергії пластичних деформацій $\gamma_{пл}$.

Критерій Орована відрізняється від критерію Грифітса наявністю ефективної ППЕ, що дозволяє урахувати пластичні деформації. Це наближає математичну модель (3) до реального процесу. Але є ті ж самі недоліки, що і в (2): розмірності лівої і правої частини не узгоджено.

У роботі [2] Ірвіном запропонований універсальний критерій руйнування, Дж/(м²·√м):

$$K_{Ip} = \sqrt{E \cdot \gamma / (1 - \mu^2)}, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона, в.о.

У (4) на відміну від попередньо вказаних критеріїв додатково враховано відношення пластичних до повздовжніх деформацій, пов'язані коефіцієнт інтенсивності напружень та ППЕ. Проте, розмірність критерію має не скомпенсований метр під коренем. Це вказує на недостатність або надлишок параметрів у правій частині рівняння і потребує додаткових досліджень.

Ірвін сформулював силовий критерій руйнування суть якого полягає в тому, що тріщина отримує можливість руйнування, коли коефіцієнт інтенсивності напружень K досягає критичної величини $K_0 = \text{const}$, Дж/(м²·√м) [3]:

$$K = K_0. \quad (5)$$

Формула (5) відповідає ідеальному пружному руйнуванню. Для урахування довжини пластичної зони вводять поправку Ірвіна в основі якої лежить ідея збільшення довжини тріщини на половину довжини пластичної зони - радіус r , м [3]:

$$r = \left(2 \cdot \pi \cdot \sigma^2 \right) / K^2, \quad (6)$$

де σ - межа текучості, Па.

Перевагами теорії руйнування Ірвіна (та Орована, так як вони незалежно один від одного прийшли до однакових результатів досліджень) є те, що:

- виконано перехід від ідеального матеріалу в моделі Грифітса до реальних матеріалів;
- ураховано через прийнятий підхід квазікрихкого руйнування, що зона нелінійних ефектів мала в порівнянні з довжиною тріщини;
- визначено радіус пластичної зони навколо верхівки тріщини.

Недоліками є те, що не враховано геометричні розміри масиву та тріщини, можливість їх взаємодії при руйнуванні. Також розмірності лівої та правої частини (6) не співпадають. Радіус пластичної зони виведено з похибкою.

З аналізу представлених вище критеріїв руйнування, зроблено висновок, що ППЕ є одним з ключових параметрів, від якого залежить перебіг процесу руйнування гірських порід та утворення тріщин.

За дослідженнями [1, 12] мірою опору матеріалу руйнуванню є коефіцієнт поверхневого натягу. Він застосовується до рідин. У механіці руйнування твердого тіла цей коефіцієнт має іншу фізичну інтерпретацію. Це величина, яка є відношенням енергії W на межі матеріалу до одиниці поверхні S при постійній температурі та є ППЕ γ , Дж/м²:

$$\gamma = \frac{W}{S}. \quad (7)$$

У кількісному вигляді γ є роботою, що необхідна для створення одиниці нової поверхні матеріалу, що по суті є виникненням тріщин. Їх утворення і зростання

супроводжується формуванням двох берегів. Внаслідок чого на утворення одиниці площі потрібно енергії 2γ . Ця ідея виражена у формулі довжини критичної тріщини, м [5]:

$$l_k = \frac{2 \cdot \gamma \cdot E}{\pi \cdot \sigma_T^2}, \quad (8)$$

де E – модуль Юнга, МПа;

σ_T – теоретична межа міцності, МПа.

Тріщина починає зростати після досягнення теоретичної межі міцності σ_T . Зростання тріщини відбувається з утворенням нових поверхонь, ППЕ яких дорівнює роботі міжатомних сил в об'ємі a^3 (a – параметр кристалічної решітки, м), віднесений до площі a^2 , Дж/м² [4, 12]:

$$\gamma = \frac{\sigma_T^2 \cdot a}{2 \cdot E}. \quad (9)$$

З аналізу (7-9) зроблено висновок, що ППЕ є ключовим чинником у процесі руйнування гірських порід і пов'язана з розривом міжмолекулярних зв'язків. Це видно з досліджень Морозова, Дж/м² [6]:

$$\gamma = \frac{a \cdot \sigma_T}{2}. \quad (10)$$

На основі (8) побудовано математичну модель енергоємності руйнування, що враховує питому поверхневу енергію та довжину критичної тріщини, Дж/м³:

$$E_p = \frac{l_{kp} \cdot \pi \cdot \sigma_T^2}{2 \cdot \gamma}, \quad (11)$$

де l_{kp} – довжина критичної тріщини, м.

Враховано наявність тріщин в породі через параметр l_{kp} . В механіці руйнування довжина тріщини вважається критичною, якщо при її розвитку кількість виділеної пружної енергії більше кількості енергетичних витрат пластичної деформації [13].

Як відомо [7], зміна питомої поверхневої енергії впливає на руйнування твердого тіла. У відомих дослідженнях ППЕ розглядається як «константа матеріалу». Вчені надають їй різну інтерпретацію. Згідно експериментальних даних [5], ППЕ залежить від оточуючого матеріал середовища і впливає на швидкість поширення тріщини. Ці експериментальні дані спростовують припущення, що ППЕ є «константою матеріалу».

Висновки

1. З аналізу критеріїв руйнування Ірвіна, Орована, Грифітса та інших, визначено, що питома поверхнева енергія є одним з ключових параметрів, від якого залежить процес руйнування гірських порід та утворення тріщин.

2. Створено математичну модель енергоємності руйнування гірських порід, яка відрізняється тим, що ураховує довжину критичної тріщини та питому поверхневу енергію.

Перелік посилань

1. Griffith A. A. The phenomena of rupture and flow in solids [Text]/ A. A. Griffith. - Philosophical Transaction of the Royal Society of London. Series A, vol. 221 – 1921. - pp 163-198.
2. Irvin G. R. Fracture [Текст]/ G. R. Irvin. - Springer encyclopedia of physics, vol. 6, 1958, pp 551-590.
3. Партон, В. З. Механика разрушения: От теории к практике [Текст] / В.З. Партон. - М. : Наука, 1990. – 240 с. (Проблемы науки и технического прогресса) - ISBN 978-5-382-00157-9.
4. О прогнозировании разрушения горных пород [Журков С. Н., Куксенко В. С., Петров В. А. и другие]. - Изв. АН СССР, серия Физика земли № 6, 1977 г., 8 с.
5. Пестриков В. М. Механика разрушения твердых тел [Текст]/ В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. - Санкт-Петербург : Профессия, 2002. – 300 с. - ISBN: 5-93913-022-4.
6. Морозов Е. М. Механика деформируемых тел и конструкций [Текст]/ Е. М. Морозов. - М. : Машиностроение – 1975, 476 с.
7. Irvin G. Analysis of Stresses and Straines Near the End of Crack Traversing a plate/ G. Irvin. - J. Appl. Mech., Vol. 24, № 3 - 1957, p. 361-364.
8. Obreimow I. W. Eine Methode zur Herstellung einkristalliger Metalle [Текст]/ I. W. Obreimow, L. W Schubnikow Z. - Phys., 1924.- 289 p.
9. Владимиров В. И. Физическая теория прочности и пластичности металлов [Текст]/ В.И. Владимиров. – М. : ЛПИ, 1975, 206 с.
10. Яковлев П. В. Обоснование критерия прочности при расчетах зубчатых передач [Текст]/ П. В. Яковлев. - Казанская наука, №4, 2010. - с. 16 - 22. - ISSN 2078-9955.
11. Гарипов Т. Т. Моделирование процесса гидроразрыва пласта в пороупругой среде [Текст]/ Т. Т. Гарипов. - Математическое моделирование, том 18, №6, 2006. - с. 53-69.
12. Вакуленко А. А. О распространении трещин в полимерах [Текст]/ А. А. Вакуленко. - Механика эластомеров, том 2, выпуск 268, 1978. – с. 5 - 12.
13. Петров В. А. Физические основы промышленной безопасности [Текст] / В.А. Петров. - Санкт-Петербург: Наука и техника, 2005, №9, с. 17-19.

УДК 622.236.9

О. М. Терентьев, д.т.н., професор,
П. А. Гонтарь, аспірант,
Національний технічний університет України «КПІ»

ВИБУХО-МЕХАНІЧНЕ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД КОНЦЕНТРОВАНИМ УДАРНИМ ЯДРОМ

Приведено результати зміни пружних властивостей гірських порід внаслідок навантажень концентрованим ударним ядром. Визначено, що коефіцієнт зниження амплітуди ультразвукового сигналу 0,6...1,0 свідчить про вертикальну орієнтацію внесеної тріщинуватості. Отримано необхідну кількість вибухових навантажень (4...6) для зниження енергоємності вибухо-механічного руйнування вибою.

Ключові слова: комбіноване руйнування, вибухо – механічне руйнування, послаблення гірських порід, технологічна тріщинуватість, комплексна тріщинуватість, енергоємність руйнування.

Приведены результаты изменения упругих свойств горных пород вследствие нагружений концентрированным ударным ядром. Определено, что коэффициент снижения амплитуды ультразвукового сигнала 0,6...1,0 свидетельствует о вертикальной ориентации технологических трещин. Получено необходимое количество взрывных нагружений (4...6) для снижения энергоемкости разрушения забоя на 10 мм глубины механического разрушения забоя.

Ключевые слова: комбинированное разрушение, взрыво - механическое разрушение, ослабление горных пород, технологическая трещиноватость, комплексная трещиноватость, энергоемкость разрушения.

Rocks' elastic properties change under the influence of combined explosive - mechanical stressing was showed. Was established that ultrasonic signal amplitude decrease coefficient 0,6...1,0 demonstrates vertical orientation of technological fracturing. The necessary quantity of explosion stressing (4...6) was determined for specific energy decreasing to drill a 36 mm well 10 mm deep.

Key words: combined fracturing, explosive-mechanical fracturing; rocks weakening; technological fracturing, complex fracturing, specific energy of fracturing.

Вступ. На видобуток паливно-енергетичних ресурсів та будівельних матеріалів в Україні за період 2014 року витрачено 9600 млн. кВт·год електроенергії [1]. Руйнування гірських порід (ГП) при бурінні свердловин на 90 % забезпечують станки шарошкового типу [2]. При цьому темпи руйнування ГП досягли свого піку, і подальша оптимізація мало можлива. Тому проводяться пошуки комбінацій механічних та немеханічних способів з метою зниження енергоємності руйнування ГП. Актуальність проблеми підтверджена постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлювальних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010 - 2015 роки» [3].

Завдання та мета дослідження. Метою роботи є зниження питомої енергоємності руйнування гірських порід вибухо-механічними навантаженнями за рахунок утворення внесеної тріщинуватості, додатково до природної.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні завдання:

- експериментальні дослідження впливу кількості навантажень вибою концентрованим ударним ядром та температури вибуху на міцнісні властивості ГП;
- визначення необхідної кількості вибухових навантажень концентрованим ударним ядром на вибій для зниження енергоємності руйнування.

Результати дослідження. Запропоновано вибухо - механічне руйнування ГП. Поєднання вибухових та механічних (обертювих) навантажень формує сукупність внесеної та природної тріщинуватостей у вибої. За рахунок цього знижуються міцнісні властивості ГП і відповідно знижуються витрати енергії на механічне руйнування. Для реалізації вибухо-механічного руйнування важливо визначити руйнівний ефект вибухового навантаження. Необхідно підібрати масу заряду так, щоб забезпечити зону руйнування та попередити пошкодження ріжучого інструменту комбінованої дії. Очікуваний ефект вибухового руйнування полягає у формуванні внесеної тріщинуватості у вибої, додатково до природної, для зниження питомої енергоємності його руйнування.

Для формування вибухових навантажень виготовлено заряди вибухової речовини (ВР), рисунок 1. Заряди ВР циліндричної форми з алюмінієвим облицюванням товщиною 0,3 мм для забезпечення ефекту Манро [4]. Алюміній вкрито оксидною плівкою, для запобігання реакції з компонентами ВР.

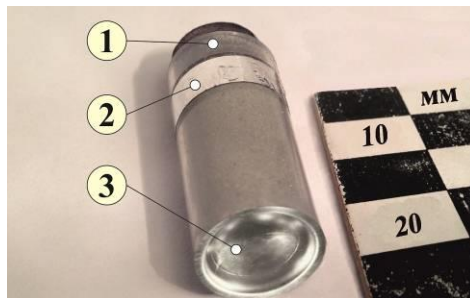


Рисунок 1 – Заряд вибухової речовини для вибухо-механічного руйнування гірських порід: 1 – забійка; 2 – електродне кільце; 3 – облицювання.

Електродне кільце 2 зв'язане з електронним запалом заряду та забезпечує його ініціювання всередині ріжучого інструменту вибухо - механічної дії. Відомо [5], що обертання кумулятивних зарядів є причиною виникнення коливань кумулятивного струменю. Внаслідок цього знижується його швидкість та тиск. Тому облицювання 3 виконано у формі півсфери для фокусування концентрованої ударної хвилі, а не струменю. Маса ВР складає 0,45 гр, щільність заряду - 500 кг/м^3 . У якості ВР обрано суміш магнію Mg та перхлорату калію KClO_4 у співвідношенні 30 % до 70 %. При такому співвідношенні скорочується час детонації до 0,04 с [6], а отже збільшується швидкість та тиск продуктів детонації. Суміш є стійкою до механічного впливу, тобто придатна до механізованого заряджання. Не втрачає детонаційних властивостей під час тривалого зберігання.

Визначення швидкості проходження повздовжніх ультразвукових хвиль в зразках ГП проведено згідно з ГОСТ 21153.7-75. Використано метод тіньової дефектоскопії. При цьому випромінювач та приймач ультразвукових хвиль розташовані на одній акустичній осі з протилежних сторін зразків ГП. Так результати вимірювань відображають пружні властивості зразків по всій товщині.

Для досліджень виготовлено зразки габро, граніту та пісковика, рисунок 3. Структура обраних ГП є зернистою, а отже напрямок прикладання навантажень не

впливає на характер руйнування. Згідно з ГОСТ 30629-99 визначено мінералогічний склад зразків ГП та фізико-механічні властивості, таблиця 1. Склад габро: плагіоклаз (лабрадор) – 63...65 %; піроксен – 27...29 %; апатит – 4 %; кварц – 0,5 %. Склад граніту: мікроклін (калієвий польовий шпат) – 35...40 %; амфібол (рогова обманка) – 20...30 %; плагіоклаз – 12...15 %; кварц – 16...20 %; біотит – 2...3 %. Пісковик складається з кварц - польовшпатного уламкового матеріалу з розміром зерен 0,10...0,25 мм, що зцементований глинисто-слюдистим та карбонатним цементом. Згідно з таблицею 1 ГП підібрано таким чином, що формується градієнт міцності: від найбільш міцної – габро ($\sigma_{ст} = 220$ МПа) до найменш міцної – пісковик ($\sigma_{ст} = 130$ МПа). Це дозволило порівняти зміну пружних властивостей в ГП під дією вибуху - механічних навантажень.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості зразків обраних ГП

Гірська порода	Розмір зерен, мм	ρ , кг/м ³	σ , МПа	η , %
1	2	3	4	5
Габро	0,1...3	3030	220	0,3...0,9
Граніт	0,1...5	2680	180	1,1...1,6
Пісковик	0,1...0,25	2600	130	2,9...3,1

Зміну тріщинуватості забезпечено зміною кількості вибухових навантажень. Згідно з результатами зменшення швидкості ультразвукових хвиль відбулося в наступних діапазонах: для габро на 64...173 м/с, або $\leq 2,0$ %; для граніту на 94...165 м/с, або $\leq 2,5$ %; для пісковика на 18...346 м/с, або $\leq 8,0$ %. Отримані відхилення пов'язані з тим, під областю тріщинуватості ГП ущільнюються завдяки наявності у своєму складі пластичних мінералів (лабрадор, мікроклін) та глинисто-слюдистого цементу. Під областю ущільнення залишається ГП з природною тріщинуватістю. Так на зміну швидкості ультразвукових хвиль впливають усі 3 області, з яких лише одна має комплексну тріщинуватість. Тому діапазон зниження швидкості ультразвукових хвиль в зразках ГП не перевищує 8 % і становить 100...340 м/с. За результатами досліджень побудовано криві залежностей швидкості ультразвукових хвиль від кількості вибухових навантажень, рисунок 4.

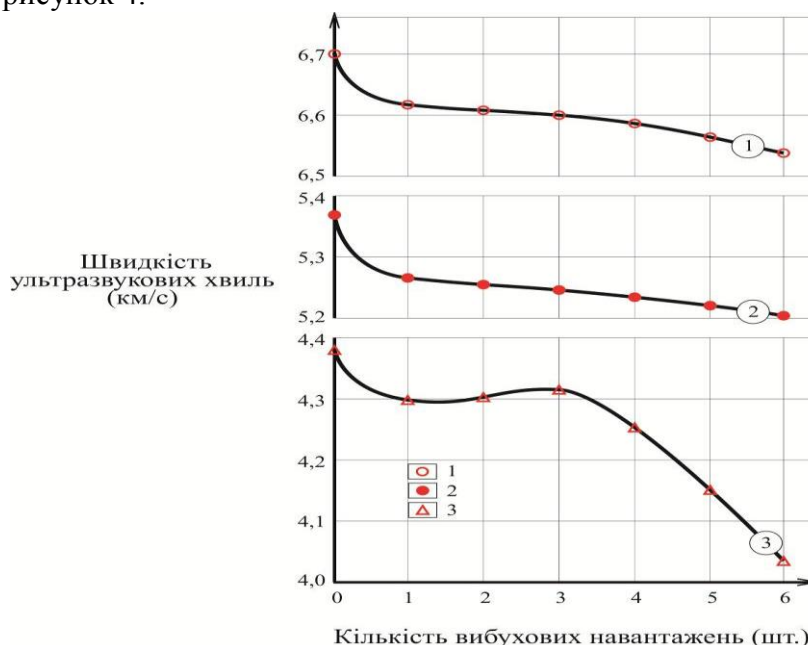


Рисунок 4 - Залежність швидкості розповсюдження повздовжніх ультразвукових хвиль в зразках ГП від кількості вибухових навантажень: 1 – габро; 2 – граніт; 3 – пісковик.

З діапазону отриманих значень швидкостей визначено їх середні арифметичні значення (опірні точки). Кількість точок рівна 7, чого достатньо для побудови залежностей $V_p=f(n)$ з використанням кубічної кривої Без'є [7]. З рисунка 4 визначено, що найбільший руйнівний ефект забезпечують 4...6 вибухових навантажень. Це значення відповідає необхідній і достатній кількості вибухів на 10 мм глибини вибухо - механічного руйнування обраних зразків ГП.

Залежності швидкості ультразвукових хвиль від кількості вибухових навантажень поділяються на 3 ділянки. Перша ділянка характеризується експоненціальним падінням кривої зі зниженням швидкості повздовжніх хвиль на 100 м/с для усіх зразків ГП. На цій ділянці відбувається руйнування поверхні зразків ГП з формуванням зколів та мікротріщин. Пластичні властивості окремих мінералів не встигають реалізуватися завдяки близькості до епіцентра вибуху. Так пластичні деформації перетворюються на квазіпластичні та крихкі під впливом швидкості вибухового навантаження $\approx 5...10$ км/с [4]. Внаслідок вибуху продукти детонації нагнітаються в мікротріщини, поглиблюючи їх. Так поверхні зразків утворюються золи глибиною до 0,5 мм та формуються внесені мікротріщини, рисунок 5, 6. Тангенс кута падіння для зразків габро та граніту ($\text{tg}(20^\circ) = 0,36$) майже в 2 рази нижчий ніж у пісковика ($\text{tg}(40^\circ) = 0,84$). Це пояснюється переважанням пластичних властивостей пісковика у порівнянні з габро та гранітом завдяки глинистому середовищу.

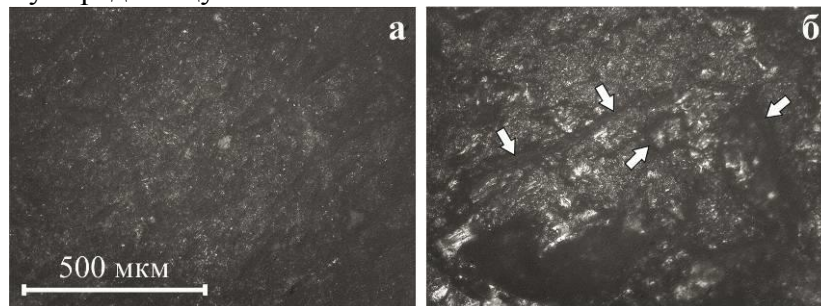


Рисунок 5 – Поверхня зразків габро: а - до навантажень концентрованим ударним ядром; б – після навантажень. Кратність мікроскопа х400.

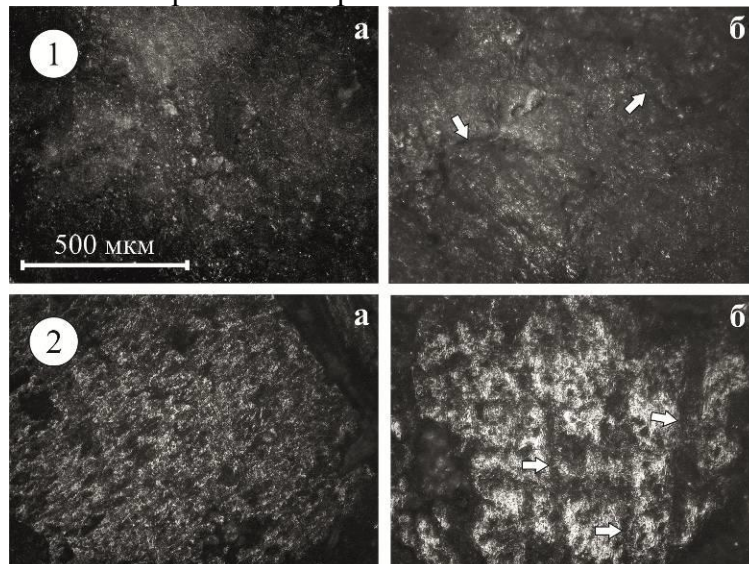


Рисунок 6 - Поверхня зразків граніту в межах мінералів мікрокліну 1 та амфіболу 2: а - до навантажень концентрованим ударним ядром; б – після навантажень. Кратність мікроскопа х400.

Під час руйнування поверхневих шарів в зразках ГП (перша ділянка) під комплексною тріщинуватістю формується ядро ущільнення. Про це свідчить друга ділянка від 1 до 3 вибухових навантажень. Так для зразків габро та граніту продовжується падіння, але більш полого з тангенсом кута $\text{tg}(85^\circ) = 11,43$. Ущільнення пояснюється наявністю пластичних мінералів у складі зразків ГП: габро - плагіоклаз; граніт – мікроклін. Температура продуктів детонації (понад 3000 К) викликає пластичні деформації плагіоклазу та мікрокліну, температура плавлення яких не перевищує 1800 К та 1500 К [8] відповідно. Наявність пластичного глинистого середовища та пористості 2...6 % у структурі пісковика зумовило більш інтенсивне ущільнення. Що відображається зростанням функції з тангенсом кута $\text{tg}(73^\circ) = 3,27$. Адекватність такої поведінки пісковика підтверджена дослідями [9], де зафіксовано перехід від крихкої деформації до в'язкої (пластичної) зі зростанням навантаження.

Зі стисненням лабрадора та мікрокліна їх напружений стан зростає, і при досягненні межі міцності на стиснення 120...170 МПа [8] вони руйнуються. Рівень комплексної тріщинуватості збільшується, про що свідчить третя ділянка, де відбувається падіння функції. Для габро та граніту кути падіння майже рівні з тангенсами $\text{tg}(76^\circ) = 4,00$ та $\text{tg}(84^\circ) = 6,31$. Межа міцності основного мінерала глинистого середовища пісковика каолініта не перевищує 60 МПа [8]. Тому третя ділянка для пісковика відзначається падінням функції з $\text{tg}(37^\circ) = 0,75$, що відображає появу мікротріщин, рисунок 7.

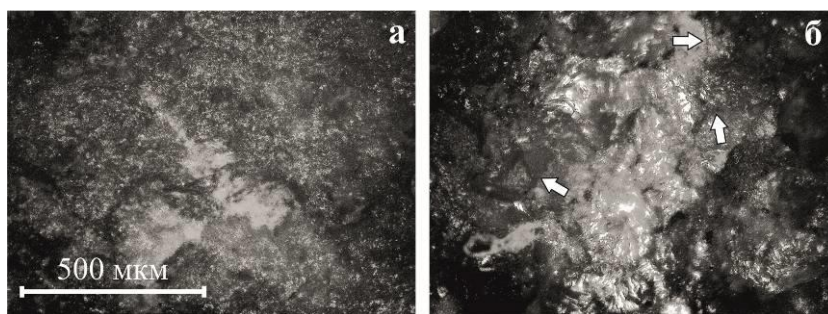


Рисунок 7 – Поверхня зразків пісковика: а - до вибухових навантажень; б – після вибухових навантажень. Кратність мікроскопа $\times 400$.

За значеннями швидкості ультразвукових хвиль у зразках ГП без внесеної тріщинуватості розраховано пружну анізотропію. Так значення пружної анізотропії для зразків габро рівне 0,45 %, для зразків граніту - 0,15 %, для зразків пісковика - 1,1 %. Значення для пісковика майже в 2 рази перевищує граніт та габро у зв'язку з наявністю видимих магістральних тріщин та наявністю пластичного глинистого середовища. В цілому отримані значення свідчать про однорідність та цілісність зразків ГП.

Під час вимірювань швидкості ультразвукових хвиль зафіксовано, що амплітуда сигналу зменшилась в з 14,0 до 8,0 дБ. Згідно з [10], коефіцієнт затухання сигналу від 0,6 до 1,0 свідчить про наявність тріщин з кутом від 50° до 90° . Ці тріщини можна вважати вертикальними. Під час вибухових навантажень продукти детонації нагнітаються саме в вертикальні тріщини, розпираючи їх стінки. Це викликає поглиблення та розвиток системи внесеної тріщинуватості. На поверхні зразків з'являється рельєфність з утворенням впадин та нерівностей. Різці інструменту вибухо - механічної дії здатні чіплятися за них, покращуючи руйнівний ефект.

Висновки. 1. Зафіксовано експоненційне падіння швидкості ультразвукових хвиль від кількості вибухових навантажень в діапазонах:

- для габро на 64...173 м/с, або $\leq 2,0$ %;
- для граніту 94...165 м/с, або $\leq 2,5$ %;
- для пісковика на 18...346 м/с, або $\leq 8,0$ %.

2. Визначено, що зміна амплітуди ультразвукового сигналу з 14,0 до 8,0 дБ вказує на вертикальну орієнтацію комплексної тріщинуватості з кутами падіння 50°...90°.

3. Встановлена мінімальна кількість вибухових навантажень (4...6) для зниження енергоємності механічного руйнування вибою на глибину 10 мм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Структура споживання електричної енергії по Україні. [Електронний ресурс] / Державне підприємство НЕК «Укренерго» – Режим доступу: http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=183607&cat_id=35379
2. Решетняк, С. П. Буровое и горнотранспортное оборудование железорудных карьеров России и стран СНГ [Текст] / С. П. Решетняк, А. В. Самолазов, Н. И. Паладеева // Горная промышленность. – 2009. – №5. – 18с.
3. Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки [Електронний ресурс]: постанова КМУ від 01.03.10 р. 243. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-%D0%BF>
4. Физика взрыва [Текст] / С. Г. Андреев, А. В. Бабкин, Ф. А. Баум и др. ; под ред. Л. П. Орленко. – 3-е изд., перераб. - М. : Физматлит, 2002. – 656 с. - ISBN 5-9221-0220-6.
5. Прищепенко, А. Б. Шипение снарядов [Текст] / А. Б. Прищепенко. – М. : Директ Медиа, 2012. – 155 с. – ISBN 978-5-99036-461-5.
6. Быстров, И. В. Краткий курс пиротехники [Текст] / И. В. Быстров. – М. : Оборонгиз, 1940. – 223 с.
7. Херн, Д. Компьютерная графика и стандарты OpenGL [Текст] / Д. Херн, М. П. Бейкер. – М. : Вильямс, 2005. – 1168 с. – ISBN 5-8459-0772-1.
8. Костов, И. Минералогия [Текст] / И. Костов. – М. : Мир, 1968. – 584 с.
9. Стефанов, Ю. П. Моделирование поведения консолидированных и высокопористых геологических средств в условиях сжатия [Текст] / Ю. П. Стефанов // Вестник ПГТУ. – 2007. - №15. – С. 156 – 169.
10. Голф-Рахт, Т. Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов [Текст] / Т. Д. Голф-Рахт. – М. : Недра, 1986. – 608 с.

Ю.В. Гурська, студентка
Національний технічний університет України «КПІ»
Науковий керівник В.В. Задвернюк, ст. викладач каф. ТЕ ІЕЕ
Національний технічний університет України «КПІ»

АНАЛІЗ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В МІСТІ КИЄВІ

Дослідження твердих побутових відходів у місті Києві, способи їх утилізації. Проаналізовано стан сміттєспалювальних заводів у місті Києві. Основні проблеми утилізації сміття. Досвід інших країн.

АНАЛИЗ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ КИЕВЕ

Исследование твердых бытовых отходов в городе Киеве, способы их утилизации. Проанализировано состояние мусоросжигательных заводов в Киеве. Основные проблемы утилизации мусора. Опыт других стран.

ANALYSIS OF SOLID HOUSEHOLD WASTE IN KIEV

The study of solid household waste in Kiev, methods of their utilization. The state of combustion plants in Kiev. The main problem of recycling waste. Experience in other countries.

Вступ

Одним з найактуальніших питань в українських містах є проблема збільшення кількості побутових відходів, що негативно впливає на санітарно-епідеміологічні умови навколишнього середовища та їх утилізація. Тому досить важливим є знайти шляхи ефективної, комплексної ліквідації всіх видів відходів з мінімальним негативним впливом на природу. Дослідимо сучасний стан утилізації ТПВ на прикладі міста Києва та проаналізуємо перешкоди на шляху до підвищення ефективності цього процесу.

У світовій практиці найбільш поширеним є термічний метод знешкодження твердих побутових відходів з виробленням в подальшому електричної та теплової енергії.

Оцінка інформації з питань утилізації побутового сміття свідчить, що в найрозвинутіших країнах Європи та США, обсяг термічної переробки ТПВ становить понад 30%. Наприклад в Данії працює 31 сміттєспалювальний завод.

Утилізація сміття спалюванням є досить швидким методом, який не забруднює стічні води. Впливаючи на атмосферу в межах встановлених природоохоронних норм, даючи можливість використовувати сміття як додатковий енергоносіє та сировину для будівельних конструкцій.

Останнім часом термічні технології зазнали суттєвих змін, які мають мінімально негативний екологічний ефект за рахунок удосконалення процесів горіння, очищення димових газів, повного використання зола шлакових відходів та скрапу.

Завдання та мета дослідження.

Дослідивши сучасний стан ліквідації твердих побутових відходів, зробити певні висновки та опираючись на досвід інших країн, дізнатись про методи підвищення ефективності процесу сміттєспалювання.

Результати досліджень

Запровадження термічної технології утилізації сміття в Україні започатковане в 1984 році після введення в експлуатацію сміттєспалювальних заводів у містах Севастополі, Харкові, Дніпропетровську та Києві, де використовувалось технологічне обладнання чеського виробництва. Основним їх недоліком вважалося непродуманість використання отриманої теплової енергії та шлакових відходів. Відхилення від проекту на стадії будівництва, повна залежність експлуатаційної надійності основного обладнання та систем газоочищення від постачальника не дали змоги ефективно

використовувати потужності котлоагрегатів і звести до мінімуму обсяги шкідливих викидів в атмосферу. Станом на сьогодні працює тільки 2 заводи – в місті Києві та Дніпропетровську. Заводи в Харкові та Севастополі демонтовані.

Відповідно до рішення Київської міської ради від 18.03.2004 №90/1300 «Про затвердження порядку збирання та транспортування відходів в м. Києві» визначено порядок поводження з ТПВ та встановлено, що підприємства-перевізники відходів мають здійснювати вивезення твердих побутових відходів виключно на полігон №5, який належить ВАТ «Київспецтранс» або сміттєспалювальний завод, який є філіалом АК «Київенерго». Основною діяльністю цих підприємств є діяльність по утилізації ТПВ. Лише на цих підприємствах промислова переробка ТПВ здійснюється за усіма нормами та правилами, що не допускають забруднення навколишнього середовища. Розглянемо загальний процес роботи при спалюванні ТПВ на заводі «Енергія».

Філіал «Завод «Енергія» Київенерго» (надалі «Завод») введений в дію у січні 1988 року. Найвища встановлена проектна потужність заводу по спалюванню ТПВ з урахуванням коефіцієнту використання котлоагрегатів $k=2,7$ складає 350 тис. тонн на рік при калорійності відходів 2040 ккал/кг. Потужність заводу при умові спалення відходів з калорійністю 1100 ккал/кг (фактично наявна на даний час в м. Києві) складає 175 тис. тонн на рік. Технологічна операція перемішування відходів в межах 700-900°C. Зазначений температурний діапазон забезпечує «втрати при прожарюванні» при 1000°C в відходах сміттєспалювання не більше 10%.

Процес спалювання відходів супроводжується утворенням не тільки теплової енергії у вигляді пари, яку можна корисно використовувати для інших технологічних процесів, наприклад опалення та для власних потреб заводу, але й золи, шлаку та димових газів.

Відходи сміттєспалювання після видалення в них металобрухту вивозяться на полігон для захоронення. Спресований металобрухт реалізується на підприємствах чорної металургії.

Відходи сміттєспалювання порівняно з первинно завезеними відходами є безпечні в бактеріологічному відношенні і при певних умовах можуть бути використані в багатьох виробничих процесах як сировина.

З часу введення заводу в дію перероблено 2857,3 тис. тонн відходів. Таким чином, на захоронення було вивезено не більше 1 млн. м³ відходів сміттєспалювання. З початку експлуатації заводу з відходів було видалено і відправлено на переробку підприємствам чорної металургії близько 5 тис. тонн металобрухту.

Технологічний процес спалювання відходів передбачає використання частини теплової енергії, що виробляється при цьому, на власні потреби заводу. Надлишок теплової енергії у зимовий період реалізується промисловими підприємствами та установами соціальної сфери міста, розташованих поряд з заводом. Але восени та влітку існує надлишок теплової енергії у вигляді пари, який на даний час після охолодження через аероконденсаційну установку повертається в технологічний процес у вигляді конденсату. Характеристика ТПВ в місті Києві приведена в наступних таблицях.

Таблиця 1 - Утворення та ТПВ за матеріалами

	Утворено			Утилізовано, оброблено (перероблено)			Спалено з метою отримання енергії, тис. тонн		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
Хімічні осади та залишки	3201,7	3001,2	2392,3	96,0	55	36,1	1,0	0,3	3,5
Осад промислових стоків	9801,9	4880,5	4054,3	1907,1	2223,7	2222,7	0,0	0,1	0,1
Металічні відходи	8245,5	8696,8	7354,3	8148,1	7825,2	6773,7	0,0		
Скляні відходи	37,4	48,1	40,1	12,1	16,5	14	—		
Паперові та картонні відходи	156,4	175,4	147	49,2	41,1	37,2	1,5	0,8	0,5
Гумові відходи	32,8	30,9	29,8	15,4	13,3	8,5	0,1	0,1	0,1
Пластикові відходи	37,2	170,3	39,3	62,3	57,3	55,4	0,0	0,4	0,5
Деревні відходи	712,4	763,5	761,5	101,9	88,8	89,6	244,5	359,2	331,5
Текстильні відходи	20,7	18,8	11,8	2,3	1,2	1,6	0,2	0,1	0,2
Непридатне обладнання	26,6	20,8	0,4	8,9	5,4		0,2		

Таблиця 2 - Основні показники поводження з відходами

	Утворено	Утилізовано, оброблено (перероблено)	Спалено	Видалено в спеціально відведених місцях та об'єкти	Наявність на кінець року у спеціально відведених місцях чи об'єктах та на території підприємств, тис. тонн
2011	447641,2	153687,4	1054,5	277106,8	14422372,1
2012	450726,8	143453,5	1215,9	289627,4	14910104,7
2013	448117,6	147177,9	918,7	288121,1	15167368,9

Таблиця 3 - Порівняльна характеристика викидів забруднюючих речовин стаціонарними джерелами філіалу "Заводу "Енергія" ПАТ "Київенерго"

	2011 рік	2012 рік
Метали та їх сполуки	1,919	2,078
Суспендовані тверді частинки	14,542	14,93
Сполуки азоту	46,71	43,025
Сполуки сірки	2,261	4,483
Оксид вуглецю	42,66	53,056
Неметанові ЛОС	0,008	0,008
Метан	13,507	12,03
Інші	6,279	8,002

Таблиця 4 - Фракційний склад ТПВ м. Києва 2012 рік

Розмір фракції, мм	Відсотковий вміст фракції (за масою)				
	Всього	В т.ч. вторсировини	В т.ч. залишок		
			Всього	В т.ч. горючі компоненти	В т.ч. органічних відходів для компостування
Менше 20	10,36	0,04	10,32	0,38	9,94
20-40	14,79	0,26	14,52	0,84	13,68
40-60	18,14	2,16	16,03	1,91	14,12
60-80	16,32	8,76	7,56	1,82	5,74
80-100	14,78	11,25	3,52	2,01	1,51
100-150	10,11	8,87	1,23	0,47	0,76
150-200	3,79	3,79			
200-250	3,56	3,56			
Більше 250	8,17	8,17			

Фізичні і хімічні властивості ТПВ залежать від кількості їх основних складових: паперових та харчових відходів. Паливні показники ТПВ в зимовий період та весняний вище ніж в літній та осінній. В майбутньому планується покращення паливних показників за рахунок відносного збільшення горючих компонентів (папір, пластмаса, шкіра, текстиль, деревина) і зменшення баласту (відсів, кістки, метал, каміння, скло).

Теплота горіння ТПВ за своїми величинами наближається до відповідних величин торфу і деяких сортів бурого вугілля, що засвідчує доцільність його спалювання як палива.

При використанні теплової енергії, отриманої при спалюванні ТПВ, економія умовного палива складає близько 290 кг.

Матеріальний баланс процесу спалювання ТПВ

Баланс можна записати у такому вигляді:

$$\text{ТПВ} = \text{Теплова енергія} + \text{Відходи}$$

За рік на завод, в середньому, поступає 157465,39 тонн ТПВ. Після спалювання відходів ми отримуємо $173,212 \cdot 10^3$ Гкал теплової енергії та 3443,551 тонн зол та шлаку.

Висновок. Нажаль, у Києві досі немає системи стимулювання підприємств, які здійснюють вивезення відходів відповідно до заданого рішення Київради, а не скидають тверді побутові відходи у найближчі яри та лісосмуги. Водночас сміттєспалювальний завод «Енергія» працює лише на 40-50% від проектних потужностей, в той час, як кошти місцевого бюджету витрачаються на очищення засмічених територій.

В процесі експлуатації заводу виявлено ряд проблем, які пов'язані як з недоліками проекту, котрий вже не відповідає зростаючим вимогам сучасності, так і організаційно-технічним, фінансово-економічним питанням в системі санітарної очистки м. Києва.

Досвід закордонних країн показує, що наприклад в Японії, сортування сміття на «горючий» та «негорючий» підвищило ефективність використання побутових відходів до 90%. В Швеції за рахунок введення закону про заборону захоронення органічних відходів, модернізації процесу спалювання на заводах та правильного сортування сміття 20% тепlopостачання країни здійснюється від сміттєспалювальних заводів, при чому Швеція спалює сміття й інших країн, які оплачують спалювання їх сміття.

Можливість заводу на сьогодні, при вирішенні питання реалізації теплової енергії складає близько 232 тис тонн на рік та 30 млн. кВт електричної енергії на рік. Крім того, діючий тариф 15,6 грн/м³, не дозволяє вести в повному обсязі роботи, що пов'язані з реконструкцією та покращенням технологічного процесу спалювання ТПВ. Проте якщо тарифи будуть підвищені до розумних меж, то для підприємств із продуктивністю 200 тис. тонн твердих побутових відходів на рік виробництво теплової енергії стає досить вигідним. Для комплексного вирішення проблеми ліквідації сміття потрібно не лише модернізувати процес утилізації термічним шляхом, але й розвивати свідомість населення про важливість участі в цьому процесі за рахунок сортування сміття. Сьогодні, чинним законодавством України надання «зеленого тарифу» для виробників електричної енергії з твердих побутових відходів не передбачено. Закон України також не передбачає контролювання та покарання за неорганізованість в поводженні з ТПВ, як наприклад, в Німеччині. Це є вагомою перешкодою не лише для реалізації першого в Україні проекту з побудови сучасного підприємства з переробки відходів, але й для реконструкції існуючих заводів.

Список використаних джерел

1. «Управление отходами и обращение с ними» / Н.В. Нечипорук, В.Н. Кобрин, С.А. Вамболь, Е.А. Полищук, В.Ю. Колосков, 2008.

2. «Особенности образования твердых бытовых отходов в Украине» / Михайленко В. П., Алексеев И. Л., Денафас Г., 2012.
3. «Інформація за IV квартал 2012 р. про об'єкти, які є найбільшим забруднювачами в м. Києві» [Електронний ресурс] / Сайт Київської міської ради – Режим доступу: <http://kmr.gov.ua/divinfo.asp?Id=3284>
4. «Утворення та утилізація відходів за категоріями матеріалів» [Електронний ресурс] / Сайт Державної служби статистики України – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2014/ns_rik/ns_u/utvut_u2013.html.

УДК 504.60

А.Г. Бойко, студентка 4 курсу
Національного технічного університету України „КПІ“ ІЕЕ,
Козьяков Н.І., доцент НТУУ „КПІ“ ІЕЕ, науковий керівник

ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ЗБАГАЧЕННЯ БІОГАЗУ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ БИОГАЗА EFFECTIVE METHOD FOR ENRICHING BIOGAS

Актуальність збагачення біогазу з подальшим його використанням
Актуальность обогащения биогаза с последующим его использованием
Actuality of biogas enrichment with its further use

Ключові слова: біогаз, збагачення біогазу, молекулярне сито, цеоліт, адсорбція з перемінним тиском, метан.

Ключевые слова: биогаз, обогащения биогаза, молекулярное сито, адсорбция с переменным давлением, метан.

Keywords: biogas, biogas enrichment, molecular sieve, zeolite, pressure swing adsorption, methane.

Вступ. Останнім часом із-за газової кризи з головним імпортером природного газу, підвищення тарифів на енергоносії в Україні все більш актуальним становиться розвиток альтернативної енергетики, певне місце якої займає використання біогазу (біогаз – це газ, який утворюється при мікробіологічному розкладанні метановим угрупованням біомаси, біовідходів, твердих або рідких органічних відходів [1]).

Завдання. Спектр використання біогазу дуже широкий. Його застосовують для отримання тепла шляхом прямого спалювання, комбінованого вироблення тепла й електроенергії за допомогою когенераційних установок і збагачення до якості природного газу, що дозволяє ним користуватися як паливом – це схематично показано на рис. 1. Але перед тим, як застосовувати біогаз, треба його очистити (збагатити), бо пряме його використання без попередньої обробки здатне привести до корозії металу обладнання, а також до засмічення форсунок на газових приладах. Тому виникає потреба в ефективних, простих і економічно вигідних способах збагачення біогазу.

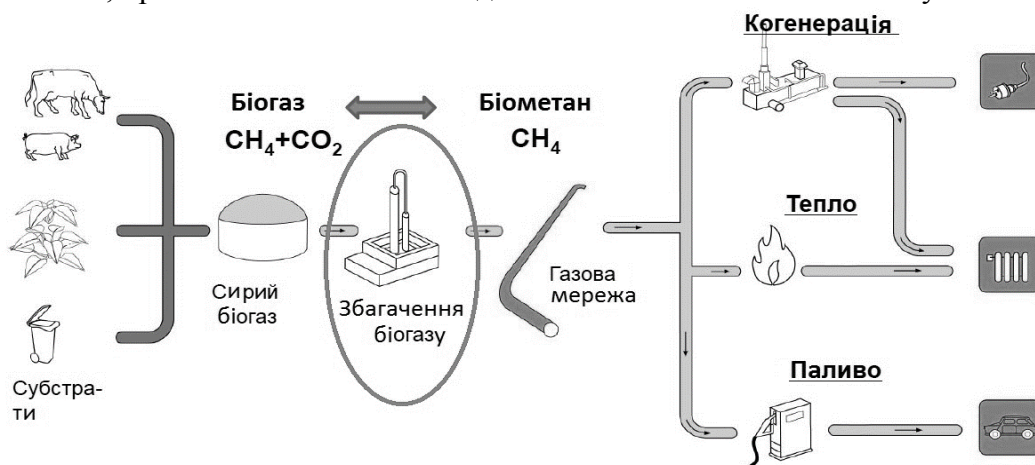


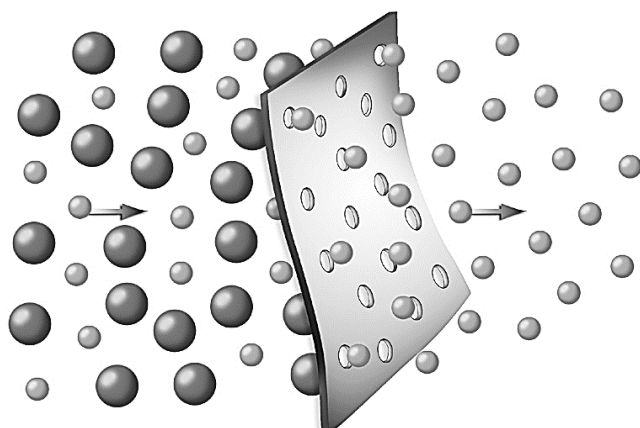
Рисунок. 1. Схема отримання та використання біогазу

Мета дослідження. Висвітлити спосіб збагачення біогазу для подальшого його використання.

Результати дослідження. Одним із простих, ефективних і економічно вигідних способів збагачення біогазу є його пропускання через молекулярні сита - кристалічні алюмосилікати, які мають тривимірну структуру з тетраедрів оксиду кремнію й оксиду алюмінію та характеризуються точним і однорідним розміром пор [5]. Вони дозволяють уловити вуглекислий газ, водяну пару, сірководень тощо, при цьому виділяючи метан.

Взагалі термін "молекулярне сито" був вперше введений Дж. Мак-Беном для позначення адсорбентів, здатних діяти у вигляді сита при поділі різних молекул. У даний час синонімами цього поняття є синтетичний цеоліт, сорбент, адсорбент.

Молекулярні сита здатні пропускати або, навпаки, затримувати молекули різних розмірів. Проходячи крізь металеву колону, наповнену синтетичною речовиною із



заданою пористістю, газ повністю очищається. Шкідливі домішки поглинаються молекулярним ситом, а звільнений від них метан проходить далі (даний процес показаний на рис. 2). Сита з найдрібнішими порами – «дірочками» – пропускають молекули діаметром до чотирьох стомільйонних часток сантиметра, а з найбільшими порами – до тринадцяти стомільйонних часток сантиметра [6].

Якщо молекулярні сита перевантажені шкідливими домішками, то їх можна очистити за

Рисунк.2. Принцип роботи молекулярного сита

допомогою продування повітрям або їх прогріванням.

Найчастіше молекулярні сита для очищення біогазу використовуються у короткоцикловій адсорбції з перемінним тиском, де відбувається поділ газів при температурі навколишнього середовища. Але все ж таки у наш час на практиці даний спосіб рідко застосовується, але в майбутньому набуде істотно більшого значення, так як віднині існує потреба у виробництві чистого метану для застосування його, наприклад, як паливного елемента.

Висновки. Таким чином, молекулярні сита із заздалегідь заданою пористістю дозволяють збагатити біогаз, очистивши його від шкідливих домішок. Порівняно з іншими методами (хіміко-фізичними, біологічними, комбінованими) це простий, ефективний, економічно вигідний спосіб, який стоїть на початку розвитку в даній сфері використання.

Література:

1. Бабич О.С., Улексін В.О., Годяєв С.Г. Обґрунтування можливості ефективного використання каналізаційного газу для одержання енергії шляхом спалювання його в газодизелі / Строительство, материаловедение, машиностроение Сборник научных трудов Наукова періодика України, 2011 № 3(62)

2. Мак-Бэн Д. Сорбция газов и паров твердыми телами / Д. Мак-Бэн М. - Л: Госхимиздат, 1934.
3. Саранчук В. І., Ільяшов М. О., Ошовський В. В., Білецький В. С. Хімія і фізика горючих копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008.
4. <http://www.rosbiogas.ru>
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Молекулярные_ситы
6. <http://www.poznavayka.org>

УДК 504.60

Шкуріна Аліна Олегівна, студентка 4 курсу
Національного технічного університету України «КПІ» ІЕЕ,
Козьяков В.С., доцент НТУУ «КПІ» ІЕЕ, науковий керівник

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ МЕТАНОУТВОРЕННЯ

Проаналізовані сучасні методи інтенсифікації процесу метанового бродіння для застосування їх в різноманітних біогазових установках.

Ключові слова: біогаз, метаногенеруючі бактерії, метан, зброджування, інтенсифікація, коферментація.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕТАНООБРАЗОВАНИЯ

Проанализированы современные методы интенсификации процесса метанового брожения для применения их в различных биогазовых установках

Ключевые слова: биогаз, метаногенерирующие бактерии, метан, сбраживания, интенсификация, коферментация.

INTENSIFICATION FOR PROCESS OF METHANE FERMENTATION

The current methods of intensifying process of methane fermentation for use in a variety of biogas plants.

Keywords: biogas, methane-generating bacteria, methane, fermentation, intensification, cofermentation.

Вступ. На сьогоднішній день є актуальним уловлення біогазу з органічних відходів, бо даний процес дозволяє зменшити викид метану в атмосферне повітря, дає можливість отримати додатковий дохід від відходів, а також збільшує вихід біогазу за менший проміжок часу. Як вихідний матеріал для одержання біогазу можуть бути використані відходи тваринницьких ферм та різних рослин, побутові органічні відходи населених пунктів. Вихід і склад біогазу визначається значною кількістю чинників, але в основному залежить від складу вихідної сировини [1].

Завдання та мета дослідження. Висвітлити методи, якими можна інтенсифікувати утворення біогазу в процесі метанового бродіння для отримання більшої кількості метану за менший період часу.

Результати дослідження. Вихід і склад біогазу буває досить невисоким через низьку продуктивність процесу зброджування, що обумовлено недостатньою енергетичною насиченістю субстрату із-за недосконалого технологічного процесу видалення й зберігання цінного органічного ресурсу. Для вирішення цієї проблеми процес метанового зброджування інтенсифікують. Виділяють дві групи методів інтенсифікації процесу метанового бродіння: мікробіологічні методи і конструктивно-технологічні методи [2].

Мікробіологічними методами інтенсифікації процесу метанового зброджування є:

1. застосування коферментації;
2. ведення нових штамів мікроорганізмів;
3. ведення добавок, які стимулюють процеси бродіння;
4. іммобілізація мікроорганізмів на носії.

Застосування коферментації. Рослинний субстрат дає більший вихід біогазу в порівнянні з відходами тваринного походження, що пояснюється більш високим вмістом

різних факторів росту (таких як, амінокислоти і редукуючі цукри).[3] Для підвищення виходу біогазу застосовують коферментацію, тобто спільне зброджування відходів рослинного і тваринного походження. В цьому випадку вихід біогазу визначається експериментально і є індивідуальним для різних господарств.

Ведення нових штамів мікроорганізмів. Перспективним є отримання нових штамів мікроорганізмів, що володіють підвищеною здатністю до метаноутворення. При їх додаванні до органічних відходів буде підвищуватись швидкість метанового бродіння, а також вихід біогазу. До них відносять такі мікроорганізми: р.р. Clostridium, Methanosarcina, Methanobacterium, Methanospirillum, Metanobrevibacter, Metanococcus, Metanogenium.

Ведення добавок, які стимулюють процеси бродіння. У вихідну масу додаються органічні каталізатори, які змінюють співвідношення вуглецю і азоту (оптимальне співвідношення C/N=20/1-30/1) з метою інтенсифікації процесу анаеробного зброджування. Також для збільшення виходу біогазу використовуються різноманітні фактори росту, ферменти, ензими. Перевагами використання стимулюючих добавок є збільшення виходу біогазу на 30-40 %, зменшення періоду бродіння, запобігання утворення кірки на поверхні перероблюваної в реакторі маси, поліпшення якісного складу біогазу, зниження енергетичних витрат на технологічні потреби установки.

Імобілізація мікроорганізмів на носії. При застосуванні адгезійної і адсорбційної імобілізації біомаси на поверхні інертних твердих матеріалів відбувається не тільки збільшення концентрації біомаси в одиниці об'єму реактора, але і підвищується стійкість мікроорганізмів до негативних факторів навколишнього середовища, що, насамперед, пов'язано із збагаченням видового складу біоценозів, як наслідок, підвищується стабільність до збурюючих дій всієї системи анаеробного зброджування. Встановлено, що імобілізація робить істотний вплив на параметри ферментативних реакцій в залежності від природи і властивостей матеріалів - носіїв.

В свою чергу, конструктивно - технологічними методами інтенсифікації процесу метанового зброджування є:

1. попередня підготовка сировини;
2. перемішування;
3. розподіл процесу метанового бродіння на стадії;
4. температурний режим.

Попередня підготовка сировини. На ефективність роботи біогазової установки (БГУ) впливає попередня підготовка вихідного субстрату. Чим менше розміри частинок органічних компонентів вихідної сировини, тим більше їх питома поверхня і відповідно інтенсивніше відбуваються процеси зброджування. Для надання біомасі однорідної і гомогенної консистенції використовуються ультразвукові та гідродинамічні кавітаційні деструктори. В результаті попередньої обробки біологічної сировини отримуємо високу ступінь подрібнення і гомогенізацію сировини, зменшення періоду зброджування біомаси та можливість будівництва БГУ менших розмірів, вивільнення природних ензимів, відсутність піноутворення і плаваючої кірки у верхній частині біореактора, збільшення процентного вмісту метану в біогазі [5].

Перемішування. Перемішування сприяє усуненню плаваючої кірки, також рівномірному розподілу температури й кислотності в біомасі, яка знаходиться в камері зброджування. При постійному перемішуванні субстрату здійснюється рівномірний розподіл в рідині твердих речовин, що знаходяться в ній, які розрізняються за розміром, формою і щільністю. Це служить передумовою безперешкодного і ефективного перебігу процесу бродіння.

Існує три типи перемішування: механічне, гідравлічне та барботажне. Механічні перемішувачі пристрої досить ефективні в невеликих реакторах при переробці важких субстратів (рис.1а). Вміст великих реакторів, особливо циліндричної форми, часто перемішують гідравлічною перемішувачою системою, тобто за допомогою потоків (струменів) рідини, що надходить в метантенк (рис.1б). Високу якість перемішування отримують за допомогою нагнітання біогазу в рідкий субстрат, але при цьому субстрат не повинен бути занадто в'язким і схильним до утворення плаваючої кірки (рис. 1в).

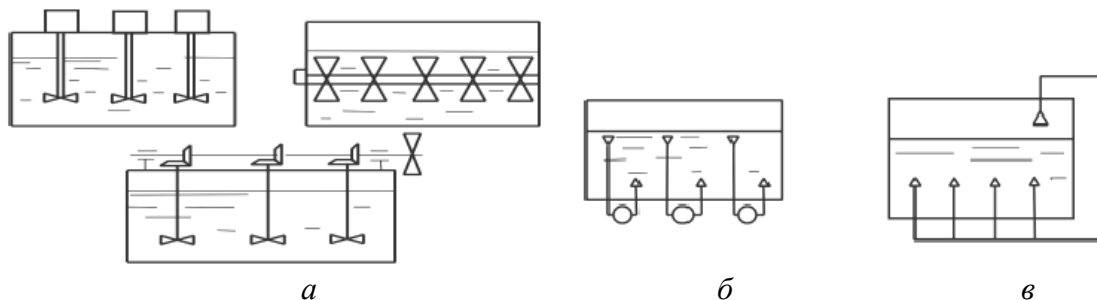


Рисунок 1. Перемішувачі пристрої

Розподіл процесу метанового бродіння на стадії. Процес виробництва біогазу може бути заснований на розподілі природного біологічного процесу метаногенерації на 3 стадії. На першій стадії шляхом гідролізу розкладаються вуглеводи, жири, білки на низькомолекулярні органічні сполуки. Другий етап протікає за участі кислотоутворювальних бактерій, що розкладають низькомолекулярні сполуки, вуглеводи та жири на кислоти, солі, спирти, вуглекислий газ, водень, сірководень та аміак. На третьому етапі відбувається безпосереднє метанове бродіння, коли органічні речовини розкладаються на метан і вуглекислий газ[4].

Температурний режим. На процеси анаеробного зброджування в значній мірі впливає температура. При зниженні температури в реакторі знижується інтенсивність утворення біогазу, оскільки мікробіологічні процеси в органічній масі сповільнюються, тому надійна теплоізоляція реактора - одна з найбільш важливих умов її нормальної роботи. Забезпечення необхідної для процесу бродіння температури і підтримка її на постійному рівні вимагає, щоб субстрат, який подається в реактор, підігрівався до потрібної температури, що залежить від обраного режиму зброджування.

Для забезпечення більш високої продуктивності БГУ використовуються два методи підігріву: прямий (за допомогою пари або гарячої води) і непрямий (підігрів через теплообмінник). В прямому методі для забезпечення необхідного режиму ферментації субстрат змішують з гарячою водою, а також за допомогою пари підігрівають метантенк для утворення так званого тепличного ефекту. Непрямий підігрів здійснюється теплообмінниками, розташованими всередині або зовні реактора, в якості нагрівальних елементів застосовують теплообмінники у вигляді змійовиків, секцій радіаторів, паралельно зварених труб, шлангів, плоских теплообмінників, де теплоносієм служить гаряча вода.

Для більшого досягнення ефекту виділення біогазу можна застосовувати комбіновані системи методів інтенсифікації даного процесу. Це дозволить підвищити ефективність, зменшити період бродіння, поліпшити якісний склад біогазу та знизити енергетичні витрати на технологічні потреби установки, що дає фінансову економію.

Висновок

Таким чином, інтенсифікація процесу анаеробного зброджування полегшує задачу отримання біогазу, тому її доцільно використовувати в біогазових установках у різних галузях господарства, де присутні органічні відходи.

Література:

1. Гелету́ха Г. Перспективи розвитку технологій. Отримання біогазу в Україні./Гелету́ха Г., Кобзар С., Копейкін К.// – 2001. – № 3. – С.17-23.
2. Скляр О.Г. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування./ Скляр О.Г., Скляр Р.В.//Науковий вісник ТДАТУ. – 2013 – Вип. 4, том 1. – С. 36-41.
3. Шацький В.В. Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні/ В.В. Шацький, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, О.О. Солодка //Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, том 3.
4. Ратушняк Г.С, Джеджула В.В, Анохіна К.В. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання. - Вінниця, ВНТУ, 2010
5. Клименко В. Сільськогосподарські біогазові установки: зарубіжний досвід. // Техніка АПК. – 2006. – № 10.
6. Завірюха П.Д.. Генетика: Словник. – Львів, НАУ, 2008

М.І. Сергієнко, О.В. Петренко

ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СЛАНЦОВОГО ГАЗУ В УКРАЇНІ

Розглянуто перспективу видобування та ефективність використання сланцевого газу України в умовах енергетичної кризи. Виявлено проблеми видобування сланцевого газу в Україні, зокрема проблеми екологічного характеру.

Ключові слова: джерела енергії, сланцевий газ, проблеми, екологія, перспективи, ефективність.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛАНЦОВОГО ГАЗА В УКРАИНЕ

Рассмотрены перспективу добычи и эффективность использования сланцевого газа Украины в условиях энергетического кризиса. Выявлены проблемы добычи сланцевого газа в Украине, в частности проблемы экологического характера.

Ключевые слова: источники энергии, сланцевый газ, проблемы, экология, перспективы, эффективность.

PROSPECTS FOR PRODUCTION AND EFFICIENCY SHALE GAS IN UKRAINE

Considered the prospect of production and the efficiency of the use of shale gas in Ukraine in terms of energy crisis. Identified problems of shale gas production in Ukraine, in particular the problems of an environmental nature.

Keywords: energy sources, shale gas, problems, environment, perspective, effectiveness.

Дефіцитність енергії, корисних копалин, складність їх видобутку, збільшення цін на енергоресурси - все це змушує людство шукати альтернативні джерела енергії. Більше півстолітній видобуток природного газу на Україні призвів до вичерпання значної кількості запасів. Альтернативні джерела енергії, такі як вітер, сонячна енергія, геотермальні води на даний момент не можуть компенсувати нестачу енергетичних ресурсів в світі. Тому виникла необхідність використання інших джерел енергії, в тому числі і сланцевого газу.

У зв'язку з революційні змінами на ринках природного газу, які відбуваються останнім часом і були пов'язані з початком економічно ефективного та масштабного видобутку сланцевого газу в США, суттєвим чином змінюють стратегічні пріоритети країн виробників й споживачів газу та глобальні перспективи використання даного енергоресурсу. Безумовно, для України, як одного з найбільших імпортерів газу в Європі, також стало актуальним питання оцінки ефективності видобутку сланцевого газу на своїй території.

Сланцевий газ (англ. natural shale gas), природний газ, складається переважно з метану, найпростішого вуглеводню, з хімічною формулою CH_4 , який залягає в сланцевих пластах – гірських породах з характерним пошаровим розміщенням мінералів.

Таблиця 1 дає змогу порівняти основні характеристики та питомі показники вартості сланцевого газу з іншими енергоресурсами. З таблиці видно, що не зважаючи на досить високу вартість видобутку запаси сланцевого газу та його калорійність мають досить високі показники.

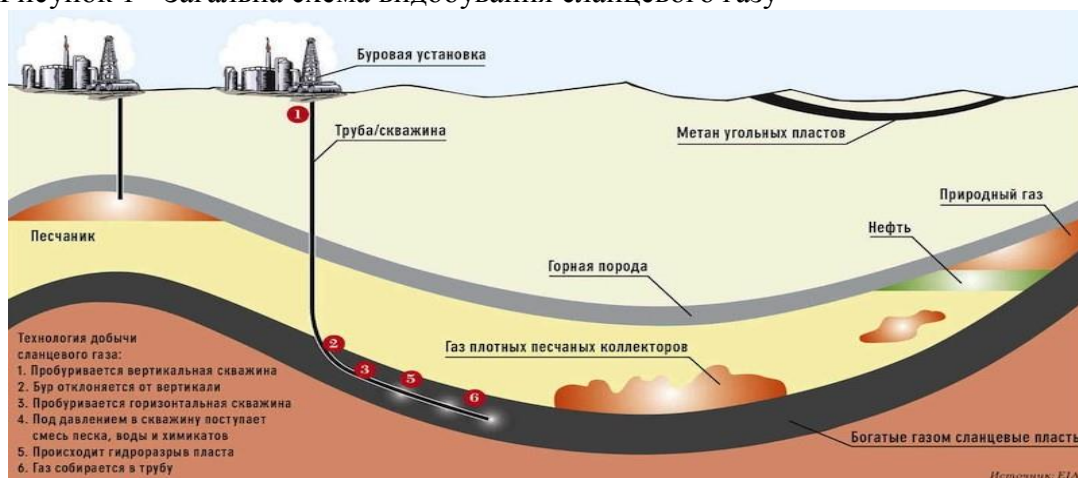
Таблиця 1 - основні характеристики та питомі показники вартості первинних енергоресурсів

Енергоносії	Запаси	Калорійність, ккал/кг	Вартість видобутку, млн. грн
Вугілля	34153 млн. т	6150—7600	7,6
Нафта	658 млн. т	11000	13,2
Природний газ	4244 млрд.м ³	9000	12,89
Сланцевий газ	2,5 трлн. м ³	7000 - 8000	18,2

Технологія видобування сланцевого газу

Технологія видобування сланцевого газу складається із трьох головних етапів: вертикального буріння свердловин до місця розташування газоносного пласту (від 1 до 4 км), горизонтального буріння вздовж газоносного пласту та гідравлічний розрив газоносного пласту в радіусі декількох сотень метрів навколо магістрального горизонтального каналу. Загальну схему видобування сланцевого газу можна представити на рисунку 1.

Рисунок 1 - Загальна схема видобування сланцевого газу



Запаси сланцевого газу в світі та Україні

Ресурси сланцевого газу в світі оцінюють в 200 трлн.м³. Вони відомі в багатьох країнах світу, але найбільшу частину їх запасів розвідано в США, де становлять 24 трлн. м³ (ті, що технічно можна вилучити – 3,6 трлн. м³). Крім того, газоносні сланцеві басейни прогножуються в Канаді, Швеції, Австрії, Німеччині, Польщі, Великобританії, Білорусії, Австралії, Китаї, ПАР та інших країнах. В таблиці 1 наведені загальні світові запаси традиційного та нетрадиційного газу.

Таблиця 1 - Запаси традиційного та нетрадиційного газу в світі, трлн м³

Регіон	Запаси традиційного природного газу	Запаси нетрадиційного природного газу			
		Газ щільних порід	Сланцевий газ	Вугільний метан	Всього
Східна Європа/Євразія	144	11	12	20	44
Близький Схід	125	9	4	-	12
Азійсько-тихоокеанський регіон	43	21	57	16	94
Америка	47	11	47	9	67
Африка	49	10	30	0	40
Лат. Америка	32	15	33	-	48
Європа	24	4	16	2	22
СВІТ	462	81	200	47	328

Говорячи про Україну найперспективнішими об'єктами для пошуків сланцевого газу є міжсолеві (нижньофаменські) відклади прибортових зон Дніпровсько-Донецької западини, чорносланцева формація середньовізейського віку в Срібнянській депресії, серпуховські чорні аргіліти північних околиць Донбасу, а в Західному регіоні – девонські і кам'яновугільні чорносланцеві товщі Львівсько-Волинського басейну. Загальне розташування родовищ та басейнів сланцевого газу представлені на рисунку 2.

Рисунок 2 - Загальне розташування родовищ та басейнів сланцевого газу



Рисунок 1 – Розташування запасів сланцевого газу на території України.

Згідно досліджень науковців Київського національного університету ім. Т.Шевченка потенційні ресурси сланцевого газу в Східному регіоні України в 10-12 трлн.куб.м, у Західному – 1-2 трлн.куб.м.

Близькі до попереднього результату отримали фахівці ДП «Укрнаукагеоцентр» (м.Полтава), які здійснили оцінку на замовлення Державної служби геології та надр України – 9,4 трлн.куб.м.

Необхідно зазначити, що через відсутність загальноприйнятої методики підрахунку ресурсів і запасів сланцевого газу, а також слабку вивченість геологічних характеристик потенційно газоносних сланцевих товщ, оцінки ресурсів сланцевого газу в Україні, виконані різними авторами і організаціями, коливаються в широких межах.

У таблиці 2 наведено геологічні та фізичні характеристики вибіркового формацій сланцевого газу в Україні.

Таблиця 2 – Геологічні та фізичні характеристики вибіркового формацій сланцевого газу в Україні.

Басейн	Перспективна площа, км ²	Глибина, м	Товщина, м	Видобувні ресурси газу, трлн м ³
ДДБ	1311,0	2000-3000	40-90	1,15
ДДБ	3027,00	1500-4000	30-60	4,45
ДДБ	1714,00	2400-4500	40-70	2,39
Львівський	2657,00	1500-2800	80-100	0,73

Поклади сланцевого газу в Україні не були використані, оскільки не були відомі технології видобутку, точні запаси, не існувало обладнання, що дозволило б з достатнім економічним ефектом видобувати сланцевий газ. В той же час в розвинутих країнах світу вже давно відбувається видобуток сланцевого газу.

Не зважаючи на досить значні поклади сланцевого газу в Україні ефективне добування їх неможливе до моменту подолання певних проблем представлених на схемі 1.



Схема 1 – Проблеми видобування сланцевого газу

Виходячи з особливостей технології, екологи виокремлюють такі питання щодо екологічної безпеки розробки родовищ сланцевого газу в Україні:

1) забезпеченість площ видобутку водними ресурсами та висока вірогідність забруднення водних ресурсів;

2) можливість незворотної втрати великих площ земельних ресурсів;

3) виникнення деформацій поверхні, підвищення сейсмострушуваності;

4) невизначеність реакції навколишнього середовища на сумісну дію техногенних впливів, зумовлених розвідкою та видобутком газу та інших виробництв (хімічні та видобувні підприємства), а також наслідків глобальних змін клімату (збільшення кількості та масштабності опадів, частоти і висоти повеней);

5) можливість потрапляння газу в атмосферу (від 4 до 8% газовіддачі) на етапі будівництва та експлуатації свердловини (метан в декілька десятків разів ефективніше ніж вуглекислий газ створює відомий «парниковий ефект»);

6) порушення правил поводження з хімічними речовинами та технологій виконання бурових робіт, що може спричинити потрапляння отруйних речовин у природні резервуари питної води, ґрунтові та поверхневі води навколо місць розробки газу;

7) накопичення в ґрунтових водах важких металів та органічних хімікатів, радіоактивних матеріалів;

8) зростання обсягів використання технічної води в районах розробки родовищ та відсутність інфраструктури утилізації значних обсягів технічної рідини (5-10 млн. м³ для 3000 свердловин), що відкачуватиметься із свердловин газу перед початком їх експлуатації;

9) необхідність утилізації значних обсягів технічної породи в районах видобування

сланцевого газу (близько 700 тис. м³);

10) на підготовчому етапі під час облаштування близько 3 тис. свердловин призначених для видобування 10 млрд. м³ газу в Україні, сукупні викиди CO₂ від транспортних робіт в атмосферу становитимуть не менше 600 млн. т;

11) міграція та неконтрольовані викиди сланцевого газу після гідравлічного розриву породи, потрапляння його у водозабірні системи комунального водогосподарства прилеглих територій.

За різними оцінками експертів масштабне видобування сланцевого газу в Україні може розпочатись не раніше 2015-2020 рр. Отже, ще є час для врахування усіх специфічних питань, пов'язаних з розробкою цього виду нового палива. Звичайно, існують і фінансові ризики, тому розвиток нової галузі видобування цього виду газу в Україні повинен стати справою фондів та приватних інвесторів. Основним завданням уряду країни є сприяння залученню Цих інвестицій та створенню нових робочих місць в галузі, законодавче регулювання та організація прозорих і конкурентних умов діяльності міжнародних компаній, які готові вкладати кошти у цей бізнес з дотриманням вимог екологічного законодавства України

Література

1. Айзенберг Д. Е. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия/Д. Е. Айзенберг, О. И. Берченко, Н. Е. Бражникова // Наук, думка, 1988. – 234с.
2. Гавриш В. К. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецко впадины Глубинное строение и геотектоническое развитие / В. К. Гавриш, Г. Д. Забелло, Л. И. Рябчун // Наук. Думка, 1989. – 245с.
3. Кнорре Г. Ф. Теория топочных процессов/ Г. Ф. Кнорре, К. М. Арефьев, А. Г. Блох // М. – Энергия, 1966. – 492с.

УДК 620.95

*І. О. Ополінський, студент 6 курсу
А. О. Дичко, к.т.н., доцент, науковий керівник
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ
БІОМАСИ У БІОГАЗ
ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ПРОЦЕССА БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ БИОМАССЫ В БИОГАЗ
INTENSIFICATION OF BIOENERGY TRANSFORMATION PROCESS OF
BIOMASS INTO BIOGAS**

Розглянуті методи інтенсифікації процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз. Було встановлено, що найбільш перспективними є методи з попередньою механічною і хімічною обробкою біомаси, результати яких перевищують значення виходу біомаси на одиницю об'єму, у порівнянні з контрольним, в 2,6 і 4 рази відповідно. В результаті застосування досліджуваної технології теплотворна здатність біогазу збільшується до 25 МДж / м³.

Ключові слова: інтенсифікація, біогаз, деструкція, біомаса.

Рассмотрены методы интенсификации процесса биоэнергетической трансформации биомассы в биогаз. Было установлено, что наиболее перспективными являются методы предварительной механической и химической обработки биомассы, результаты которых превышают значения выхода биомассы на единицу объема, в сравнение с контрольным, в 2,6 и 4 раза соответственно. В результате применения исследуемой технологии теплотворная способность биогаза увеличивается до 25 МДж / м³.

Ключевые слова: интенсификация, биогаз, деструкция, биомасса.

Considered methods intensification of bioenergy transformation process of biomass into biogas. It was found that the most promising methods to preliminary mechanical and chemical processing of biomass, the results of which exceed the output value of biomass per unit volume, in comparison with the control, 2.6 and 4 times respectively. As a result of the study calorific value of biogas technology increased to 25 MJ per m³.

Keywords: intensification, biogas, destruction, biomass.

Вступ. Стійкий розвиток включає використання альтернативних та поновлювальних джерел енергії, яке не призводить до виснаження природно-ресурсного потенціалу країни.

Використовуючи альтернативні джерела енергії, такі як: енергія сонячного випромінювання, морів, вітру, річок, біомаси, вторинних енергетичних ресурсів, ми зможемо зменшити використання традиційних джерел енергії та знизити техногенний вплив на довкілля.

Потенціал біоенергетики становить 60% відновлювальних джерел енергії в Україні. Найбільш значними запасами біомаси в Україні є: солома, гній, вторинні відходи, деревина [1].

Мета роботи: підвищення ефективності біотрансформації біомаси у біогаз та збільшення вмісту метану в ньому.

Завдання дослідження:

- визначення найбільш перспективних методів інтенсифікації процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз
- визначення продуктивності біогазової установки з використанням хімічної деструкції збродженої біомаси;

В роботі використовувались наступні **методи досліджень**: системного аналізу для встановлення структурних зв'язків між продуктивністю виходу біогазу та часом зброджування з використанням хімічної деструкції біомаси; математичної статистики для аналізу результатів експерименту при біотрансформації біомаси у біогаз з використанням хімічного реагенту із застосуванням програмного пакету Microsoft Excel.

Результати досліджень. Основними способами інтенсифікації технології біоенергетичної утилізації відходів є: підвищення температури зброджування і ефективності перемішування осаду в метантенку, перехід на його безперервне завантаження і вивантаження, двох – і багатоступінчатє зброджування, при якому друга і наступні ступені використовуються для відділення надлишкової води і зменшення обсягу збродженого осаду, підвищення концентрації відходів і біомаси мікроорганізмів у метантенку, а також технології попередньої механічної, хімічної та термічної обробки субстрату [2].

Основний принцип методики визначення впливу хімічної, механічної, термічної дезінтеграції субстрату на процес метанового збродження полягає у визначенні динаміки утворення біогазу при застосуванні дезінтегрованої збродженої біомаси.

В експериментальних дослідженнях анаеробного процесу збродження відходів обробка частини осаду відбувається за такими методами:

- застосування механічного дезінтегратора;
- використання термолізу;
- обробка пероксидом водню;

В ході експериментальних досліджень виявлено, що найбільше виділення біогазу виділялася на 2 і 3 добу експерименту. Максимальну кількість було отримано при використанні хімічного та механічного дезінтегрованого збродженого субстрату.

Таким чином, при використанні хімічного та механічного дезінтегрованого збродженого субстрату відбулося максимальне вивільнення біологічно активних речовин з зруйнованих клітин, що пришвидшило процеси бродіння у біореакторах. При хімічній деструкції кількість біогазу становить до 0,01 м³/кг біогазу. За перші чотири доби виділення біогазу майже 80%.

Також в ході експерименту відбувався контроль за складом біогазу, що виділявся. У порівнянні з контролем досліджувані зразки показували збільшення вмісту метану до 70 – 80%, що перевищує значення контролю на 15 – 20%. В результаті теплотворна здатність такого біогазу збільшиться з 20 до 25 МДж/м³.

Висновки. 1. Метанове бродіння біомаси вирішує проблему утилізації відходів, а також є альтернативним джерелом енергії. Для підвищення ефективності метаноутворення обрано метод хімічної обробки.

2. Експериментально встановлено, що в результаті підтримання оптимальної концентрації субстрату і застосування хімічної та механічної дезінтеграції біомаси досягається максимальна кількість утворення біогазу. При застосуванні хімічної дезінтеграції вихід біогазу становить 9,63 м³/л, а при механічній – 6,59 м³/л, перевищуючи значення контролю у 4 та 2,6 рази відповідно.

3. Розроблена концепція двохстадійного метанового збродження біомаси з частковою її обробкою може бути застосована для утилізації органічних побутових,

сільськогосподарських та промислових відходів, а також на станціях очистки стічних вод міст, населених пунктів для збродження активного мулу.

4. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення залежності швидкості та кількості утворення біогазу в залежно від типу субстрату.

Перелік бібліографічних посилань

1. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Жовмир Н.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.И. Оценка энергетического потенциала биомассы в Украине. Часть 2. Энергетические культуры, жидкие биотоплива, биогаз // Промышленная теплотехника. – 2011, т. 33, № 1, с.57-64.

2. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991. – 128 с.

УДК 504:320.155.2

*В.С. Козьяков к.т.н, доц., А.О. Меркулова студ.***ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЛОВЛЮВАННЯ АЕРОЗОЛЮ ФАРБИ ПРИ ФАРБУВАННІ АВТОМОБІЛІВ**

Виконано огляд фільтра, який встановлений у фарбувальній камері ремонтно-транспортного підприємства. Встановлено, що удосконалення системи очистки за рахунок гідрофільтра дозволяє мінімізувати викиди аерозолю фарби та інших шкідливих речовин та створити більш економічно вигідну систему очистки.

Ключові слова: фарбувальна камера, ремонтно-транспортне підприємство, аерозоль фарби, розчинники, очищення, конструкція

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ КРАСКИ ПРИ ПОКРАСЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Выполнен обзор фильтра, который установлен в покрасочной камере ремонтно-транспортного предприятия. Установлено, что совершенствование системы очистки за счет гидрофильтра позволяет минимизировать выбросы аэрозоля краски и других вредных веществ и создать более экономически выгодную систему очистки.

Ключевые слова: покрасочная камера, ремонтно-транспортное предприятие, аэрозоль краски, растворители, очистки, конструкция

IMPROVING METHODS OF CAPTURING AEROSOL PAINT DURING PAINTING CARS

Improving methods for capturing aerosol paint when painting cars

A review of filter, which is installed in the spray booth of the repair and transportation company. It was found, that the improvement of the system by hydrofilter minimizes emissions of aerosol paints and other harmful substances and create a more cost-effective cleaning system.

Keywords: spray booth, repair and transportation company, aerosol paints, solvents, cleaning, construction

Вступ

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Збільшення масштабів забруднення атмосфери вимагає швидких і ефективних засобів захисту її від забруднення, а також засобів попередження шкідливого впливу забруднювачів повітря.

Актуальність:

Актуальність: Відносини в галузі охорони атмосферного повітря регулюються Законом «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.92, Законом України "Про

охорону навколишнього природного середовища" від 26.06.91 та іншими нормативно-правовими актами. Згідно цих законів фактичний вміст забруднюючих речовин у відхідних газах не повинен перевищувати нормативний.

Державне управління в галузі охорони атмосферного повітря відповідно до закону здійснюють: Кабінет Міністрів України; центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища; центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища; центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я; центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я.

Мета роботи: Реконструкція фарбувальної камери з метою зменшення викидів аерозолі фарби.

Завдання:

- Розглянути систему очистки, яка застосовується на фарбувальній дільниці ремонтно-транспортного підприємства.
- Визначити забруднюючі речовини, які викидаються на ремонтно-транспортному підприємстві «АЛЕКО-СЕРВІС».
- Запропонувати удосконалену систему очистки для зменшення викидів аерозолі фарби та інших забруднюючих речовин.

Основний матеріал:

Фарбування автомобілів відбувається в фарбувальній камері. Вона дозволяє забезпечити необхідні умови для цього процесу, тобто, виключає вітер, пил і забезпечує необхідну температуру і вологість повітря.

Процес фарбування автомобілів складається з певних технологічних операцій, які виконуються у такій послідовності: видалення корозії і старої фарби, знежирення поверхонь, захист поверхонь, що не підлягають фарбуванню, шпаклювання, шліфування, ґрунтування, фарбування, сушіння, полірування і контроль якості.

На авторемонтних підприємствах застосовуються три методи нанесення лакофарбових матеріалів при фарбуванні кузовів: повітряний, безповітряний і в електричному полі. Основним способом нанесення лакофарбових матеріалів при фарбуванні автомобілів на авторемонтних заводах продовжує бути метод повітряного розпилення[1].

При фарбуванні автомобілів відбувається забруднення повітря аерозолем лакофарбових матеріалів, парами розчинників і компонентів фарби.

Таблиця 1 - Викиди забруднюючих речовин на фарбувальній дільниці ремонтно-транспортно підприємства «АЛЕКО-СЕРВІС»

Забруднююча речовина	Масова концентрація, мг/м ³	ГДК, мг/м ³
аерозоль фарби	6,6	0,5
бутилацетат	10,8	0,1
ацетон	29,1	0,35
толуол	60,63	0,6

Для зменшення викидів забруднюючих речовин на ПАТ «Алеко-Сервіс» встановлена установка очистки газу компанії «Селтон» класу очистки G3.

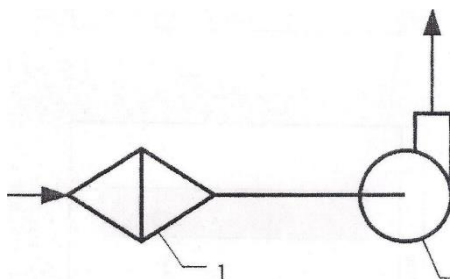


Рисунок 1 - Схема газовідвідного тракту від технологічного агрегату до місця викидання або надходження газопилового потоку (газу) в атмосферне повітря

1 – фільтр; 2 – вентилятор Ц4-70 №8.

Касетний фільтр виготовлений з скловолокна, має ворсисту структуру і просочений спеціальним складом, який утримує фарбувальний туман. Термін придатності таких фільтрів - до 60 годин в режимі забарвлення. Вартість фільтра – 2100 грн. Ефективність вловлювання аерозолі фарби – 80%, ефективність вловлювання розчинників – 65%.

Таблиця 2 - Викиди забруднюючих речовин на фарбувальній дільниці ремонтно-транспортно підприємства «АЛЕКО-СЕРВІС» після фільтрування

Забруднююча речовина	Масова концентрація, мг/м ³	ГДК, мг/м ³
аерозоль фарби	1,32	0,5
бутилацетат	3,8	0,1
ацетон	10,2	0,35
толуол	21,22	0,6

Після фільтрування касетними фільтрами масові концентрації забруднюючих речовин перевищують ГДК. Сухі фільтри недостатньо очищають повітря від фарбувального пилу, створюють небезпеку займання накопичується в них лакофарбовий матеріал і ускладнюють очищення трубопроводів і вентиляторів[2]. Також встановлення лише сухої фільтрації є не вигідно економічно, так як фільтри потребують частої заміни.

Витрати на заміну касетних фільтрів у фарбувальній камері за рік:

$$(2100 \cdot 4) \cdot 12 = 100800 \text{ (грн)}$$

Для зменшення викидів аерозолі фарби та інших забруднюючих речовин, а також для продовження терміну експлуатації сухих фільтрів пропонуємо встановити гідрофільтр перед касетними фільтрами.

Мокрий спосіб забезпечує краще очищення повітря від фарбувального пилу (у гідрофільтрах вловлюють спиртову частину розчинників), максимальну пожежо- та вибухобезпечність розпилювальних камер і установок, полегшує очищення трубопроводів і вентиляторів.

Гідрофільтр (рис 2) являє собою замкнуту коробку з отворами для входу і виходу відсмоктуючого повітря, приєднувану до корпусу камери (3) болтами через ущільнювальні прокладки[3].

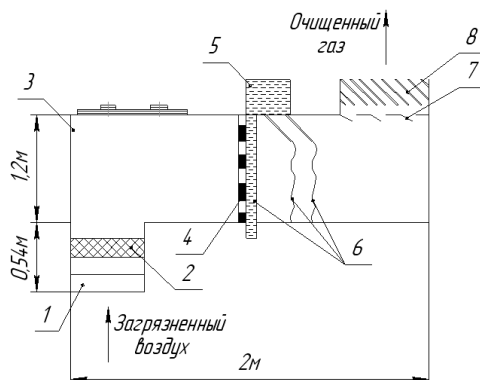


Рисунок 2 - Схема екранного гідрофільтра:

- 1 - вентилятор; 2 - фарбовловлююча решітка; 3 - корпус гідрофільтра;
4 - екран; 5 - верхня розподільна труба; 6 - водяні завіси; 7 - отвори з дверцями;
8 - сепаратор.

У камері фарбування встановлюємо екранний гідрофільтр. Очищення води в екранному гідрофільтрі відбувається наступним чином. Повітря суміші з парами розчинника і частинками лакофарбового матеріалу з фарбувальної камери засмоктується в гідрофільтр в результаті розрядження, створюваного вентилятором (1). Потік повітря з барвистим туманом стикається з екраном (4), за яким суцільним шаром тече вода, що подається насосом, через верхню розподільну трубу (5). Великі частинки фарби втрачають свою швидкість і разом з водою потрапляють у ванну. Потік повітря з більш дрібними частинками лакофарбового матеріалу спочатку промивається, проходячи через суцільну водяну завісу (6) під екраном, а потім через водяні завіси (6), утворені похилими щитами за екраном.

Таблиця 3 - Ступінь очищення повітря в запропонованому гідрофільтрі

пил, включаючи тверді частинки:	97%
аерозоль фарби	98%
газ, включаючи пари органічних розчинників.	97%

Після встановлення гідрофільтра на фарбувальній ділянці ремонтно-транспортного підприємства «АЛЕКО-СЕРВІС»:

- ефективність очищення розчинників:

$$\eta_{1+2} = 0,65 + 0,96 - 0,65 \cdot 0,96 = 1,55 - 0,585 = 0,99\%$$

- ефективність очищення аерозолі фарби:

$$\eta_{1+2} = 0,8 + 0,98 - 0,7 \cdot 0,98 = 1,68 - 0,69 = 0,99\%$$

Після реконструкції системи очистки розрахуємо викиди аерозолі фарби:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1}$$

де C_1 – викид аерозолі фарби до реконструкції системи очистки, мг/м³;

C_2 – викид аерозолі фарби після реконструкції системи очистки, мг/м³;

E – ефективність гідрофільтра, %.

$$0.99 = \frac{6.6 - C_2}{6.6}$$

$$C_2 = 0.066 \text{ мг/м}^3$$

Аналогічно C (бутилацетат) – 0,1 мг/м³; C (ацетон) – 0,29 мг/м³; C (толуол) – 0,21 мг/м³

Отже, встановлення гідрофільтра значно зменшить викиди забруднюючих речовин. Жодна з речовин не перевищує ГДК.

Після встановлення гідрофільтра частота зміни касетних фільтрів зменшиться в 3 рази.

Отже затрати на заміну фільтрів становитимуть: $100800/3 = 33600$ (грн)

Розрахуємо термін окупності запропонованої системи очистки:

Вартість гідрофільтра – 100000 грн; затрати на обслуговування гідрофільтра (за рік) – 24000 грн.

Зменшення щорічних затрат: $3 = 100800 - (33600 + 24000) = 43200$

Термін окупності $T_{ок} = K/3 = 100000/43200 = 2$ роки 4 місяці

Висновки: Переваги нововведення: високі потужні характеристики при обмеженому просторі, (потужність гідрофільтра досягає від 10000 до 30000 м³/год), ефективність очистки повітря до 99%, тривалість ефективного терміну служби пристрою, мінімальні експлуатаційні затрати. Реконструкція дасть можливість не тільки зменшити вплив на навколишнє природне середовище, а й окупитися (за рахунок зменшення витрат на заміну касетних фільтрів).

Література

1. Белов, В.Н. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Под общ ред. С.В. Белова. – М.: Машинстроение, 1985. – 448с.
2. Интернет ресурс: <http://sks-filter.com.ua/>
3. Шабельский В.А. Защита окружающей среды при производстве лакокрасочных покрытий./ Шабельский В.А., Андреевич В.М.– Л.: Химия, 1985. – 120 с.

УДК 622

В.І. Шамрай, аспірант
В.В. Коробійчук, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДПРАЦЮВАННЯ РОЗВАЛУ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ НА РОЗМІРИ ТА ФОРМУ РОЗВАЛУ НЕГАБАРИТУ

Проведений гранулометричний аналіз підірваної гірничої маси за допомогою фотопланометричного та кількісного аналізу. Проаналізовані технології відпрацювання розвалу гірської породи, що впливають на форму та розміри розвалу негабаритів. В подальшому, вирішено дослідити вплив ширини заходки екскаватора при різних схемах відпрацювання розвалу гірської породи на ширину розвалу негабариту.

Ключові слова: розвал негабариту, фракційний склад, торцевий вибій, панельне відпрацювання, ширина заходки

При підриванні гірських порід на щебневих кар'єрах утворюються негабаритні шматки гірської породи, які потребують подальшого дроблення. Подальше руйнування негабаритів відбувається за допомогою вибухів або механічно, з використанням гідромолоту, на продуктивність останнього значно впливає форма та розміри розвалу негабариту. Серед інших факторів, що впливають на продуктивність механічного дроблення є:

- фізико-механічні властивості гірських порід (щільність, міцність тощо);
- маса, об'єм, форма і текстура негабаритів;
- умови розміщення негабаритів на робочій площадці (розкладання на підготовленій поверхні, у навалі);
- твердість основи (скельна або пухка основа);
- параметри ударного механізму (гідромолота) та інструмента;
- розміри робочої зони бутобом (висота підйому молота, виліт стріли, кут вектора ударного імпульсу до поверхні негабариту);
- зусилля притиснення інструмента до негабариту.

Після вибуху проводився гранулометричний аналіз підірваної гірничої маси – фотопланометричним та кількісним аналізом. Результати аналізу гранулометричного складу підірваної гірничої маси представлені в табл. 1. Паралельно з фотопланометричним методом проводився кількісний аналіз виходу негабариту. Результати цього аналізу показують, що вихід негабариту коливається з 10 % до 13 %.

Таблиця 1

Дані фракційного складу (%) здійснені фотопланометричним методом

№ блока	0–20 см	21–40 см	41–60 см	61–90 см	91–120 см	121–150 см	151–190 см	191–230 см	>230 см
1	31,10	28,10	13,80	14,90	4,30	2,50	1,30	1,70	2,30
2	31,40	32,20	15,50	10,80	3,60	1,70	1,90	1,60	1,30
3	29,70	29,50	14,80	12,50	4,10	2,20	2,10	2,40	2,70

Розглянемо, як буде впливати технологія відпрацювання розвалу гірської маси екскаватором ЕКГ-5 на утворення розвалу негабариту. Відпрацювання вибою можливе торцевим вибоєм (рис. 1) або панельним відпрацюванням (рис. 2) з вузькими заходками $A=(0,5\div1)R_{\text{ч.у}}$ та широкими $A=(1,5\div1,7)R_{\text{ч.у}}$, м. Вузькі заходки використовують для

автомобільного транспорту, вони забезпечують малу тривалість циклу роботи мехлопати в вибої через зменшення кута повороту екскаватора, разом з тим збільшують кількість заходок, якими відпрацьовує екскаватор розвал породи. Типова форма розвалу гірської породи та його орієнтовні розміри, яка утворюється показано на розрізі А-А зображена на рис. 1.

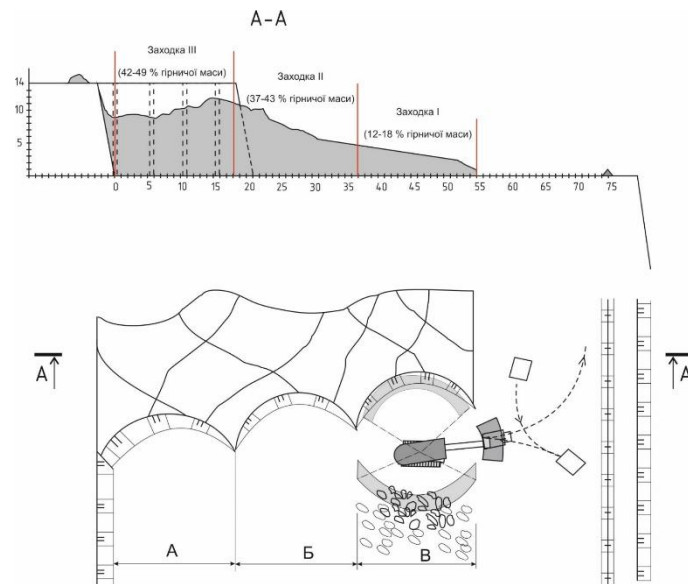


Рис 1. Торцева схема відпрацювання розвалу гірської породи

Середня ширина розвалу гірської породи складає 55–65 м. Орієнтовна форма розвалу показана на рис. 1. В залежності від ширини торцевого вибою розвал породи може відпрацьовуватись від двох до чотирьох заходок. В середньому розвал гірської породи відпрацьовується за 3 заходки, які показані на рис. 1. Як видно зі схеми в кожній заходці знаходиться неоднаковий об'єм породи, найменша кількість розпушеної породи припадає на першу заходку 12–18 %. На інші дві заходки припадає приблизно однакова кількість гірської породи (37–43% та 42–49 %).

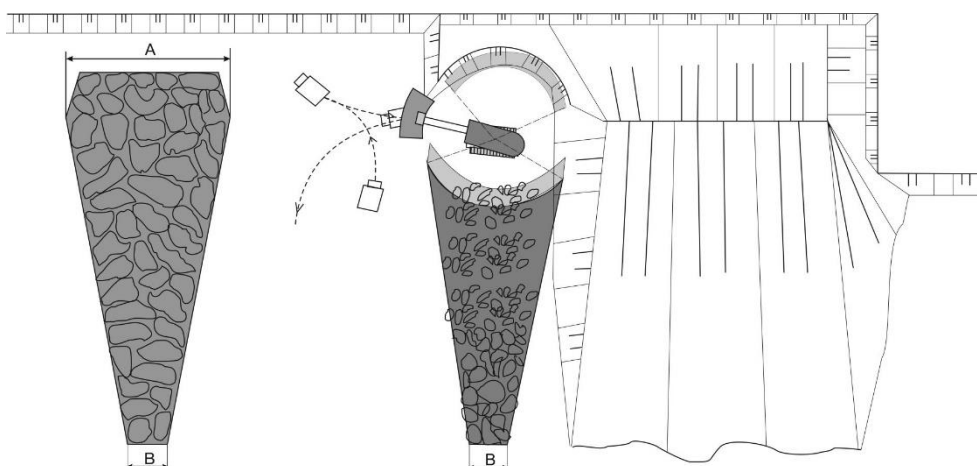


Рис 2. Панельна схема відпрацювання розвалу гірської породи

Панельний спосіб відпрацювання застосовується при широких робочих майданчиках або при розробці найнижчого горизонту кар'єру. Як видно з рис. 2 ширина розвалу негабариту має форму в вигляді трапеції та змінюється в залежності від відстані на яку просунувся екскаватор в глиб вибою. При цьому вибої радіус не впливає на ширину розвалу негабариту.

Таким чином, розглянувши технології відпрацювання розвалу гірської породи, автори планують дослідити вплив ширини заходки екскаватора при різних схемах відпрацювання розвалу гірської породи на ширину розвалу негабариту.

УДК 622

В.И. Шамрай, аспирант

В.В. Коробийчук, к.т.н., доц.

Житомирский государственный технологический университет
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ РАЗВАЛА ГОРНЫХ ПОРОД НА
РАЗМЕРЫ И ФОРМУ РАЗВАЛА НЕГАБАРИТА

Проведенный гранулометрический анализ взорванной горной массы с помощью фотопланометрического и количественного анализа. Проанализированы технологии отработки развала горной породы, которые влияют на форму и размеры развала негабаритов. В дальнейшем, решено исследовать влияние ширины заходки экскаватора при различных схемах отработки развала горной породы на ширину развала негабарита.

Ключевые слова: развал негабарита, фракционный состав, торцевой забой, панельная отработка, ширина заходки.

V.I. Shamrai, PhD student

V.V. Korobiychuk, PhD, Associate Professor

Zhytomyr State Technological University

THE INFLUENCE OF MINING TECHNOLOGIES OF ROCK
DISINTEGRATION ON THE SIZE AND SHAPE OF OVERSIZED
DISINTEGRATION

Granulometric analysis of blasted rock using photo-planometric and quantitative analysis is carried out. The mining technology of rock disintegration that affect on the shape and size of the oversized disintegration are analyzed. In the future, the influence of the width of the excavator stope with different mining schemes of the rock disintegration on the width of the oversized disintegration are decided to investigate.

Key words: oversized disintegration, fractional composition, frontal mine face, panel mining technology, the width of the excavator stope.

УДК 665.66

ПРОЧЕНКО Я.М., ВОРФОЛОМЕЄВ А.В.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ РЕГЕНЕРАЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ

Регенерація трансформаторного масла є актуальною задачею внаслідок ресурсоемних і неекологічних процесів утилізації та переробки відпрацьованого масла. Розглянуто види забруднень трансформаторного масла. Внаслідок проведеного аналізу методів регенерації трансформаторного масла в якості перспективного для подальших досліджень вибрано адсорбційний метод, який працює по технології перколяційної регенерації масла.

Ключові слова: регенерація трансформаторного масла, забруднення масла, методи регенерації, «Фулерова земля», адсорбція.

ПРОЧЕНКОЯ.Н., ВОРФОЛОМЕЕВ А.В.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

Регенерация трансформаторного масла является актуальной задачей вследствие ресурсоемких и неэкологических процессов утилизации и переработки отработанного масла. Рассмотрены виды загрязнений трансформаторного масла. Вследствие проведенного анализа методов регенерации трансформаторного масла в качестве перспективного для дальнейших исследований выбрано адсорбционный метод, который работает по технологии перколяционной регенерации масла.

Ключевые слова: регенерация трансформаторного масла, загрязнения масла, методы регенерации, «Фуллерова земля», адсорбция.

Y. PROCHENKO, A. VORFOLOMEIEV

ANALYSIS OF METHODS OF TRANSFORMER OILS REGENERATION

Regeneration of transformer oil is an actual task because of resource intensive and non-environmental processes of recycling and processing of waste oil. Types of transformer oil pollution have been considered. As a result of conducted analysis of transformer oil regeneration methods adsorption method (that works on technology of percolation oil regeneration) has been selected as promising for further research.

Key words: transformer oil regeneration, oil admires, methods of regeneration, "Fuller's clay", adsorption

Вступ

Енергетична промисловість широко використовує масляні трансформатори. На сьогодні на промислових підприємствах стає все більше силових трансформаторів, які виходять з ладу. Основною причиною виходу з ладу трансформаторів є зниження ступеня полімеризації твердої ізоляції обмоток під дією кислот, які виникають в процесі старіння трансформаторного масла [1]. У залежності від навантаження на трансформатор, масла з часом втрачають свої властивості: знижується окислювальна стійкість масла, що супроводжується його інтенсивним розкладом. У кінцевому підсумку масло і продукти його розкладу наносять шкоду, як обмоткам трансформатора, так і металоконструкціям.

Для очищення відпрацьованих масел використовують ті ж способи, що і для очищення базових масел – дистиляція, кислотно-лужне очищення, очищення селективними розчинниками, контактне (адсорбційне) очищення, гідроочищення. Середній вихід регенованого масла з відпрацьованого, що містить близько 2-4 % твердих забруднюючих домішок, воду і до 10 % палива, становить 70-85 % залежно від застосованого способу регенерації [2]. Регенерація масла в більшості випадків

здійснюється підігрівом масла [3, 4]. Нагрівання здійснюється з метою реалізації теплообмінних процесів, які застосовуються для видалення з масла продуктів окислення, води і легкокиплячих фракцій. *Обробка масел, що містять розчинені продукти старіння, адсорбентами, наприклад, природними або активованими відбілюючими глинами, є ефективним і простим у технологічному оформленні способом очищення масел [5, 6].*

У даний момент на промислових підприємствах утворюється все більша кількість відпрацьованого масла, що вимагають утилізації. За рік на території колишнього Радянського Союзу збиралося близько 1,7 млн. тон масел, а перероблялося до 0,25 млн. тон, тобто 15 % [2]. Згідно [1], за сучасної ситуації на ринку нафтопродуктів утилізація і переробка відпрацьованого трансформаторного масла є не тільки недоцільною та збитковою, але і наносить значний удар по навколишньому середовищу. За [2] потребують повної та часткової заміни 75 % спрацьованого обладнання підстанцій 220-750 кВ, реконструкції – 112 підстанцій напругою 220-750 кВ (термін експлуатації яких за відповідними періодами розвитку перевищить 30 років), із заміною понад 200 одиниць потужного трансформаторного та реакторного обладнання напругою 220-750 кВ, та іншого високовольтного обладнання. При цьому в період до 2015 р. реконструкції підлягають 67 підстанцій, упродовж 2016-2020 рр. – 30 підстанцій, а продовж 2021-2030 рр. – 15 підстанцій.

Мета дослідження – на основі аналізу складу відпрацьованих трансформаторних масел та способів їх регенерації обрати перспективний спосіб очищення.

Для досягнення поставленої мети поставлено такі **завдання**:

1. Проаналізувати забруднення трансформаторного масла.
2. Проаналізувати методи регенерації масла, обґрунтовано вибрати перспективний спосіб очищення для наступних досліджень.

Результати дослідження

Забруднення трансформаторного масла

Старіння або погіршення трансформаторного масла зазвичай зв'язується з окисленням. При появі в маслі кисню і води, трансформаторне масло окислюється навіть при ідеальних умовах. На стан трансформаторного масла також впливають забруднення, які з'являються від твердих матеріалів трансформатора, які розчиняються в маслі. Реакції, які відбуваються в маслі між нестабільними гідрокарбонатами, киснем за присутності такого каталізатора, як тепло, призводять до розкладу (окислення) масла [7].

При належному обслуговуванні охолоджувальної та ізоляційної систем вік експлуатації ізоляційної системи може бути збільшений від 40 до 60 років. Окислення масла усунути неможливо, але його можна контролювати (уповільнити) через процес обслуговування. Одним з основних положень в обслуговуванні трансформатора є щорічна перевірка масла.

Вологість масла включає чисту воду; воду, розчинену в продуктах розкладу масла; воду, яка хімічно зв'язана. Трансформаторне масло розчиняє більше вологи при високих температурах. Якщо суміш масла з водою охолодити, вода випаде в осад. Відторгнена вода буде вбиратися ізоляцією, або її притягують продукти розкладу. Волога непропорційно розподіляється між папером і маслом. Ізоляційний папір поглинає воду з масла і утримує її всередині.

Забруднення формуються в процесі зносу трансформатора. Так кислоти, сформовані в процесі окислення, діють на целюлозу та метали і створюють мильний метал, альдегід, спирт, які осідають як кислотний бруд (важкі речовини) на ізоляції, бічних стінах бака, в системі охолодження тощо. Забруднення утворюються інтенсивніше

при завантаженому, гарячому і при неправильно експлуатованому трансформаторі. Забруднення збільшують в'язкість масла, зменшуючи його охолоджуючу здатність, що призводить до скорочення строку служби трансформатора. Забруднення також є причиною усадки ізоляції, призводить до руйнування лаків і целюлозних матеріалів. Забруднення осідає на серцевину обмотки, що призводить до збільшення температури працюючого трансформатора.

Методи регенерації трансформаторного масла

Для відновлення відпрацьованих масел застосовуються технологічні операції, засновані на фізичних, фізико-хімічних і хімічних процесах і полягають в обробці масла з метою видалення з нього продуктів старіння і забруднення. Послідовність методів представлена на рисунку 1 [8].



Рисунок 1. Методи регенерації відпрацьованого масла

Фізичні методи дозволяють видаляти з масел тверді частинки забруднень, мікрокраплі води і частково смолисті речовини, а за допомогою випарювання – легкокиплячі домішки. Масла обробляються в силовому полі з використанням гравітаційних, відцентрових і рідше електричних, магнітних і вібраційних сил. Також застосовується фільтрування, водне промивання, випарювання і вакуумна дистиляція. До фізичних методів очищення відпрацьованих масел відносяться також різні масо-і теплообмінні процеси, які застосовуються для видалення з масла продуктів окислення вуглеводнів, води і легкокиплячих фракцій [8].

Відстоювання є найбільш простим методом. Він заснований на процесі природного осадження механічних частинок і води під дією гравітаційних сил. Перевагами цього методу є простота, дешевизна і нешкідливість для масла. Основним недоліком цього методу є велика тривалість процесу осідання частинок до повного очищення, видалення тільки найбільш крупних частинок розміром 50-100 мкм.

Фільтрація масла. Очищення трансформаторного масла фільтрацією – процес видалення частинок, механічних домішок і смолистих з'єднань шляхом пропускання масла через сітчасті або пористі перегородки фільтрів. Недоліки: мала продуктивність, часта заміна фільтруючого елемента, значний час, що витрачається на процедуру зовнішнього очищення (як приклад можна навести очистку масла гідросистеми великої підйомно-транспортної машини, яка може займати більше 15 годин). Перевагами цього методу очищення є простота конструкції, нешкідливість для масла, понижена витрата сировини.

Відцентрове очищення. Цей спосіб обробки трансформаторного масла полягає у видаленні з масла вологи і зважених механічних частинок при впливі на них відцентрової

сили. Перевагами методу є висока інтенсивність процесу, компактність, великі можливості механізації, автоматизації процесу та менші вимоги до суспензії та осаду. Недоліками методу є складність, високі вимоги до точності виготовлення, велика вартість.

Хімічні методи очищення засновані на взаємодії речовин, що забруднюють відпрацьовані мастила і реагентів, які вводяться в ці масла. Застосування хімічних методів очищення дозволяє видалити з масла асфальтосмолисті, кислотні, деякі гетероорганічні з'єднання та воду. При цьому в результаті хімічних реакцій утворюються сполуки, які легко видаляються з масла. До хімічних методів очищення відносяться кислотне і лужне очищення, окислення киснем, гідрогенізація, а також осушка і очищення від забруднень за допомогою оксидів, карбідів і гідридів металів. Найбільш часто використовуються: сірчано-кислотне очищення та гідрогенізація [8].

Сірчано-кислотне очищення. Спосіб заснований на взаємодії речовин, що забруднюють відпрацьоване масло, і введеної в це масло сірчаної кислоти. Переваги: доступність і дешевизна реактиву, гнучкість процесу і простота управління цим процесом, а також відносна нескладність його апаратурного оформлення. Недоліки: корозія устаткування, неповністю видаляються нафтово-ароматичні вуглеводні і сірчисті з'єднання, а разом з тим частина цінних складових масла несеться з кислим гудроном.

Гідрогенізація. Спосіб заснований на взаємодії речовин, що забруднюють відпрацьоване масло з воднем. Мета даного процесу є видалення хімічних забруднень. Перевагою методу є можливість збільшення об'ємної швидкості при подальшому крекінгу. Недолік полягає в тому, що гідрогенізацію проводять лише в дуже жорстких умовах температури і тиску. Здійснення цих умов вимагає дорогої і досить складної апаратури зі спеціальних сортів сталі.

Фізико-хімічні методи знайшли широке застосування, до них відносяться коагуляція, адсорбція і селективне розчинення забруднень, які містяться в маслі. Різновидом адсорбційної очищення є йонно-обмінне очищення [8].

Коагуляція. Спосіб заснований на укрупненні частинок забруднюючих речовин, що знаходяться в дрібнодисперсному стані, що досягається за допомогою спеціальних речовин – коагулянтів, до яких відносяться електроліти неорганічного й органічного походження, поверхнево-активні речовини (ПАР), що не володіють електролітичними властивостями, колоїдні розчини ПАР і гідрофільні високомолекулярні з'єднання. Перевагами методу очищення є швидкість, висока ефективність та простота процесу. Недоліками є періодичність процесу очищення та висока вартість регенерації коагулянту.

Селективне очищення. Спосіб заснований на властивості окремих речовин, забруднюючих масло, (кисневих, сірчистих і азотних сполук) вибірково розчинятися під дією певних реактивів. Переваги полягають у простоті апаратурного оформлення, високій ефективності очищення та меншій витраті розчинника при більшому виході рафінованої кращої якості. Недоліком є великі капіталовкладення.

Адсорбція. Процес очищення трансформаторного масла за допомогою адсорбції заснований на поглинанні води та інших домішок різними адсорбентами. В якості адсорбентів застосовують речовини природного походження (відбілюючої глини, боксити, природні цеоліти) і отримані штучним шляхом (силікагель, оксид алюмінію, алюмосилікатні сполуки, синтетичні цеоліти).

Адсорбційне очищення здійснюватися контактним методом – масло перемішується з подрібненим адсорбентом, або перколяційним методом – очищуване

масло пропускається через адсорбент, методом протитоку (масло і адсорбент рухаються назустріч один одному). До недоліків контактного очищення трансформаторного масла слід віднести необхідність утилізації великої кількості адсорбенту, що забруднює навколишнє середовище. При роботі з багаторазовими сорбентами, такими як силікагель або з різноманітними видами цеолітів, необхідні великі витрати електроенергії для реактивації і осушення сорбенту. При перколяційному очищенні як адсорбент часто застосовується силікагель, що робить цей метод дорогим, або відбілююча глина – «Фулерова земля». Застосування цієї технології дозволяють регенерувати масло не зливаючи його з трансформатора. «Фулерова земля» реактивується до 300 разів. Реактивація сорбенту відбувається безпосередньо в обладнанні. Під реактивацією розуміють відновлення адсорбційних властивостей. З огляду на переваги даного методу регенерації трансформаторного масла його обрано для подальших досліджень.

Висновки

1. На даний час переробляється лише 15 % відпрацьованого трансформаторного масла. При цьому технології переробки є ресурсоемними і неекологічними. Тому актуальним є розвиток інноваційних способів регенерації трансформаторних масел.
2. Основними чинниками, що прискорюють старіння ізоляції трансформатора, є тепло та волога у маслі.
3. Враховуючи процеси утилізації, переробки і регенерації масла, для подальшого дослідження обрано фізико-хімічний метод очищення – адсорбційний метод, який працює по технології перколяційної регенерації масла за допомогою «Фулерової землі».
4. Напрямок подальшого дослідження – встановлення ефективності адсорбційного очищення масла за допомогою «Фулерової землі» при змінній швидкості потоку масла та температурі технологічного процесу.

Перелік посилань

1. Монастырский А.Е. Регенерация, сушка и дегазация трансформаторного масла. Учебное пособие / А.Е. Монастырский. – СПб: Петербургский энергетический институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов Минэнерго РФ, 1997. – 42 с.
2. Україна. Закон. «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» [розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №1071-р].
3. Липштейн В.А. Трансформаторное масло / В.А. Липштейн, М.И. Шахнович. – М.: Энергия, 1987. – 330 с.
4. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 519 с.
5. Регенерация отработанного турбинного масла / Н.П. Яковлева, Г.Н. Кириченко, Т.П. Лапинг и др. // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 34–35.
6. Кипелов Б.Г. Очистка трансформаторного масла землями Зикеевского месторождения / Б.Г. Кипелов, А.И. Мезенцев // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 33–34.
7. Ковальский, Б.И. Современные методы очистки и регенерации отработанных смазочных масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Л.А. Фельдман и др. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 104 с.
8. Шашкин П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин, И.В. Брай. – М.: Химия, 1970. – 302 с.

УДК 628.316

БОВКУН Д.С., ВОРФОЛОМЕЄВ А.В.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

Очищення стічних вод від нафтопродуктів є актуальною задачею внаслідок забруднення водних об'єктів країни. Проаналізовано стан домішок нафтопродуктів у стічних водах. Проаналізовано методи очищення стічних вод від нафтопродуктів та для подальших досліджень вибрано метод флотаційного очищення.

Ключові слова: очищення стічних вод, нафтопродукти, методи очищення, домішки, флотація.

БОВКУН Д.С., ВОРФОЛОМЕЕВ А.В.

АНАЛИЗ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Очистка сточных вод от нефтепродуктов является актуальной задачей вследствие загрязнения водных объектов страны. Проанализировано состояние примесей нефтепродуктов в сточных водах. Проанализированы методы очистки сточных вод от нефтепродуктов и для дальнейших исследований выбран метод флотационной очистки.

Ключевые слова: очистка сточных вод от нефтепродуктов, методы очистки сточных вод, примеси, флотация.

D.BOVKUN, A. VORFOLOMEIEV

ANALYSIS OF METHODS OF WASTEWATER PURIFICATION FROM OIL PRODUCTS

The wastewater purification from oil products is actual task because of contamination of country water bodies. The state of oil products in wastewaters has been analyzed. The methods of wastewater purification from oil products have been considered and the flotation method has been selected for further research.

Key words: wastewater purification from oil products, methods of wastewater purification, admixtures, flotation.

Вступ

На сьогодні екологічні проблеми науково-технічної діяльності людини та її вплив на навколишнє середовище є актуальними. Через бурхливий розвиток промислового і сільськогосподарського виробництва, транспорту, нафтопереробної промисловості, забруднення природи більшості регіонів України перевищило екологічно безпечний рівень [1]. Основними забруднювачами навколишнього середовища є газоподібні токсичні речовини, такі як, оксиди азоту, вуглецю, сірководню, вуглеводні нафтопродукти, а також стічні води підприємств [1]. Ці викиди призводять до руйнування озонового шару, зміни клімату, зменшення біологічного різноманіття [2]. Загальна маса нафтопродуктів, які щорічно потрапляють у моря та океани, оцінюється в 6,1 млн. т, із них 2,1 млн. т виносяться ріками, решта надходить із міськими і промисловими відходами прибережних районів та із природних джерел [3]. У водойми України потрапляє більше двох мільярдів кубічних метрів забруднених стічних вод у рік, а в повітря – більше п'ятнадцяти мільйонів тон шкідливих речовин [4]. Шкідлива дія стічних вод полягає здебільшого в окиснювальних процесах, унаслідок яких зменшується вміст у воді кисню, збільшується біохімічна необхідність у ньому, погіршується органолептичні показники води [5, 6]. У водному середовищі нафтопродукти утворюють плівку, яка взаємодіє з природним поверхневим рівнем, збільшуючи його товщину та утворюючи квазірівноважну систему. Одна тонна нафти може розтікатися і покривати 20 км² поверхні води 6-7 діб [3]. Питання захисту

навколишнього середовища від шкідливого впливу промислових виробництв вирішується за допомогою безвідходних технологій або шляхом створення нових технологічних схем з використанням надійних методів очищення газових викидів і стічних вод. Таким чином, вибір методів очищення стічних вод від нафтопродуктів є одним з найважливіших питань у вирішенні екологічних проблем [7]. Вибір методу очищення стічних вод підприємств залежить від багатьох чинників: кількості стічних вод різних видів, їхніх витрат, можливості і економічної доцільності вилучення домішок з стічних вод, вимог до якості очищеної води при її використанні для повторного і оборотного водопостачання та скидання у водоймище, наявності районних чи міських очисних споруд.

Основними джерелами забруднень нафтою і нафтопродуктами є видобувні підприємства, системи перекачування і транспортування, нафтові термінали та нафтобази, сховища нафтопродуктів, залізничний транспорт, річкові і морські нафтоналивні танкери, автозаправні комплекси і станції. Обсяги відходів нафтопродуктів і нафтозабруднювачів, які накопичились на окремих об'єктах, складають десятки і сотні тисяч кубометрів. Значна кількість сховищ нафтошламів та відходів, побудованих ще в початку 1950-х років, перетворилися з засобів протидії нафтозабруднювачам в постійно діюче джерело таких забруднень [8].

Мета дослідження – проаналізувати методи очищення стічних вод від нафтопродуктів та обґрунтовано вибрати перспективний метод для подальших досліджень.

Для досягнення вказаної мети сформовано наступні **задачі**:

1. Проаналізувати вміст і характер домішок у стічних водах.
2. Проаналізувати методи очищення стічних вод та вибрати ефективний метод очищення.

Результати досліджень

Важливими домішками стічних вод є такі нафтопродукти, як бензин, масла, гас [5]. Нафтопродукти слабо очищені від полярних домішок, мають низький поверхневий натяг на межі з водою. Для бензинів і масел поверхневий натяг становить до 50 мН/м. Що стосується залежності поверхневого натягу нафтопродуктів від їх хімічного складу, то при однаковому числі вуглеводних атомів у молекулі найбільш поверхневим натягом при температурі 20 °С володіють ароматичні вуглеводні, найменшим – метанові, а нафтенові й олефінові вуглеводні займають проміжну позицію. У нафтопродуктів, як у складних сумішей, немає якоїсь однієї точки твердіння чи точки плавлення. Для них характерна наявність лише температурних інтервалів як твердіння, так і плавлення. Твердіння і плавлення нафтопродуктів завжди супроводжується проміжними стадіями – загустінням і розм'якшенням. Розчинність нафтопродуктів у воді низька і зменшується від бензинів до більш важких продуктів – керосин і мастил [9]. З підвищенням температури (до критичної) вона збільшується. Домішки нафтопродуктів відносяться до першої групи забруднювальних речовин за класифікацією Л. Кульського [9] (за їх фазово-дисперсним станом). До цієї групи належать нерозчинні у воді зависі, а також бактерії. Вони кінетично нестійкі і підтримуються у завислому стані динамічними силами водяного потоку.

Методи очищення стічних вод

Стічні води очищають від нафтопродуктів механічним, хімічним, фізико-хімічним і біологічним методами [10].

Механічне очищення вод застосовують при виділенні нерозчинених домішок методами проціджування, відстоювання і фільтрування. Ці методи застосовують в якості

попередньої очищення стічних вод. Механічне очищення забезпечує видалення зважених речовин з побутових стічних вод на 60-65 %, а з деяких виробничих стічних вод на 90-95 % [10]. Відстоювання використовують для виділення зі стічної води зважених речовин, що мають більшу або меншу густину по відношенню до густини води. Фільтрування застосовують для затримання більш дрібних частинок. При проходженні стічних вод через фільтруючий матеріал на його поверхні затримується виділена зі стічної води суспензія. Перевагою цього методу є простота обладнання, він найдешевший серед інших методів очищення, забезпечує затримання крупнодисперсних суспензій, щоб не зашкодити дорогому обладнанню фізико-хімічного і біологічного очищення. Недоліки – пристрої працюють не завжди надійно і ефективно, залишаючи великі мінеральні забруднення, так як в конструкції відсутні спеціальні захисні пристосування для видалення більших домішок.

Хімічні методи очищення засновані на додаванні в стічні води таких реагентів, які вступаючи в хімічну реакцію з забруднюючими речовинами, сприяють отриманню малотоксичних речовин, а також випаданню в осад нерозчинених колоїдних або частково розчинних водних домішок. Цей метод сприяє зменшенню кількості нерозчинених домішок стічних вод до 95 % і розчинених – до 25 % [10].

Хлорування – це знешкодження стічних вод хлором або його сполуками – один з найпоширеніших способів їх очищення від отруйних ціанідів, а також від таких органічних і неорганічних сполук, як сірководень, гідросульфід, сульфід, метилмеркаптан та інші. Недоліком є можливість забруднення очищеної води залишковим хлором.

Озонування – це окислення домішок, знебарвлення, дезодорація, знезараження стічної води та насичення її киснем. Озон має високу окисну здатність і при номінальній температурі руйнує багато органічних речовин, що знаходяться у воді. Перевагою цього методу є відсутність хімічних реагентів, простота обслуговування пристрою, відсутність апаратів для дозування реагентів. Недоліком є очищення стічних вод вапном, що спричиняє осадження з катіонів кольорових металів.

Біологічне очищення полягає в мінералізації органічних забруднень стічних вод, які окислюються мікроорганізмами. Біологічний метод застосовують після того, як стічні води пройшли механічне і фізико-хімічне очищення. Процес біохімічного руйнування органічних забруднень відбувається під впливом комплексу бактерій і найпростіших мікроорганізмів. Біохімічне очищення виробничих стічних вод нафтопереробних заводів виробляється в аерофільтрах (біофільтрах), аеротенках та біологічних ставках [10]. Перевагою цього методу є можливість видаляти зі стічних вод різноманітні органічні сполуки, простота конструкції, невисока експлуатаційна вартість. Недоліки – високі капітальні втрати, необхідність суворого дотримання технологічного режиму очищення, токсична дія на мікроорганізми, необхідність розведення стічних вод у разі високої концентрації домішок.

Фізико-хімічне очищення застосовують для видалення з вод суспендованих і емульгованих домішок, а також органічних і неорганічних речовин [10, 11]. До фізико-хімічних методів очищення стічних вод від нафтопродуктів відносять коагуляцію, флотацію та сорбцію.

Коагуляція – це процес укрупнення дисперсних частинок в результаті взаємодії та об'єднання в агрегати. Коагуляція найбільш ефективна для видалення з води колоїдно-дисперсних частинок, тобто частинок розміром 1-100 мкм. Недоліком є низький рівень ефективності, особливо при низьких температурах. Перевагою є невисока вартість, широкий діапазон застосування.

Сорбція – це процес поглинання речовини з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною. Розрізняють поглинання речовини всією масою рідкого сорбенту і поверхневим шаром твердого або рідкого сорбенту. Перевагою цього методу є невеликі витрати в процесі експлуатації, простота обладнання, можливість виділення таких забруднювачів, як нафтопродукти. Недоліком є видалення не всіх забруднюючих компонентів.

Флотація є складним фізико-хімічним процесом, що полягає в створенні комплексу частинка-бульбашка повітря або газу, спливання цього комплексу і видаленні утвореного пінного шару. Залежно від способу отримання бульбашок у воді існують такі способи флотаційного очищення: флотація бульбашками, що утворюються шляхом механічного дроблення повітря (форсунками, імпелерами); флотація бульбашками, що утворюються з пересичених розчинів повітря у воді; електрофлотація. Перевагою є простота обладнання, продуктом флотації є шлам з невисоким вмістом води. Недоліком є використання реагентів для підвищення гідрофобності забруднювачів і стійкості отриманої піни.

Вакуумна флотація полягає в зниженні тиску нижче атмосферного в камері флотатора. При цьому відбувається виділення повітря, розчиненого у воді. При такому процесі флотації утворення бульбашок повітря відбувається в спокійному середовищі, в результаті чого поліпшується агрегування комплексів частинка-бульбашка і не порушується їх цілісність аж до досягнення ними поверхні рідини. Перевагою є компактність, висока стійкість до коливань навантажень, проста і надійна експлуатація. Недоліком є видалення не всіх забруднюючих компонентів, точне налагодження обладнання, що подає повітря.

Електрофлотація. Стічна рідина при пропущенні через неї постійного електричного струму насичується бульбашками водню, що утворюються на катоді. Електричний струм, що проходить через стічну воду, змінює хімічний склад рідини, властивості і стан нерозчинених домішок. Перевагою є легкість обслуговування апаратури флотатора, безперервність процесу, селективність виділення домішок. Недоліком є видалення не всіх забруднюючих компонентів.

Загальними перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні та експлуатаційні витрати, простота апаратури, селективність виділення домішок, висока ступінь очищення 95-98 %. Загальним недоліком цього методу є видалення не всіх забруднюючих компонентів. Вирішення цієї проблеми можна досягти за допомогою підвищення початкової концентрації.

Висновок

1. З огляду на екологічний стан водних об'єктів країни, значну (2,1 млн. т) загальну масу нафтопродуктів, які щорічно потрапляють у річки та моря, очищення стічних вод від нафтопродуктів є актуальною задачею.

2. Нафтопродукти містяться у стічних водах у вигляді нерозчинених домішок, що відносяться до першої групи за класифікацією Л. Кульського.

3. Шляхом аналізу методів очищення стічних вод від нафтопродуктів для подальших досліджень обрано флотаційний метод.

4. Напрямок наступних досліджень є розвиток математичної моделі процесу очищення стічних вод від нафтопродуктів методом флотації.

Перелік посилань

1. Заставний Ф.П. Актуальные проблемы охраны окружающей среды и рационального расходования природных ресурсов на Украине / Ф.П. Заставний // Экономика Советской Украины. – 1990. – №3. – С. 74-75.
2. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. Справочные материалы / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика и др. – М.: «Эколайн», 2000. – 87 с.
3. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессе водоподготовки и очистки сточных вод / А.М. Когановский. – К.: «Наукова думка», 2002. – 240 с.
4. Стахов Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод / Е. А. Стахов. – Ленинград: Недра, 1983. – 264 с.
5. Булатов А.И., Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов. – М.: Недра, 1997. – 483 с.
6. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
7. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін та інші. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
8. Методики определения концентрации загрязняющих веществ в природных и сточных водах. Сборник. Ч. 1. / Под ред. к.х.н. Ключевой Э. С. – Донецк: Государственное управление охраны окружающей природной среды Министерства природы управления Украины по Донецкой области, 1994. – С. 100–106.
9. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти / В.К. Хільчевський. – Київ: Київський університет, 1999. – 319 с.
10. Хільчевський В.К. Методи очистки вод. / В.К. Хільчевський, Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко. – К.: Київський ун-т ім. Т.Шевченка., 1993. – 118 с.
11. Куприенко П.И. Все об очистке сточных вод / П.И. Куприенко // Водоподготовка. – 2005. – №2. – С. 41-45.

С.П. Шевчук, професор, доктор техн. наук,

С.В. Зайченко, доцент, доктор техн. наук,

І. В. Захарова, аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут,

03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37

**МЕХАНІКА КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ З
ПЛОСКИМИ РІЗЦЯМИ ШНЕКОВОГО БУРА В ПРОЦЕСІ
ВІБРОРУЙНУВАННЯ**

В статті проведено порівняння результатів при статичному і вібраційному руйнуванні гірської породи плоским різцем. Показаний вплив параметрів вібраційної дії, при якій відділення елемента відбувається з найменшими зусиллями, а відповідно і з меншими енергетичними затратами. Умовою виникнення ефекту віброрізання є зміна напрямку тангенціальної складової τ і повного контактного тиску.

**МЕХАНИКА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ
С ПЛОСКИМИ РЕЗЦАМИ ШНЕКОВОГО БУРА В ПРОЦЕССЕ
ВИБРОРАЗРУШЕНИЯ**

В статье проведено сравнение результатов при статическом и вибрационном разрушении горной породы плоским резцом. Показано влияние параметров вибрационного воздействия, при котором отделение элемента происходит с наименьшими усилиями, а соответственно и с меньшими энергетическими затратами. Условием возникновения эффекта виброрезания является изменение направления тангенциальной составляющей и полного контактного давления.

**MECHANICS OF CONTACT INTERACTION OF ROCK AND AUGER'S
FLAT ROCK CUTTERS IN VIBRATION DESTRUCTION**

In the article the results in the static and vibrating Destruction of rocks by flat cutter has been compared. The influence of parameters of vibration action has shown, in which element separation occurs with the least effort and, consequently, with lower energy costs. The

condition for occurrence of vibration cutting effect is the change in direction of the tangential component and the total contact pressure.

Вступ. Буріння розвідувальних свердловин на всі види корисних копалин та отримання свердловин під палі фундаментів є специфічним видом капітального будівництва складних технічних об'єктів, що споруджуються в унікальних гірничо-геологічних і географо-кліматичних умовах, і характеризується досить великими матеріальними витратами по всьому циклу їх спорудження. Разом з тим воно є одним з найбільш затребуваних способів геологічного дослідження надр Землі, пошуків і розвідки покладів фактично всіх корисних копалин і основним способом зведення фундаментів. Обсяги бурових робіт у світі постійно зростають і вимагають нових техніко-технологічних та інструментальних рішень для зниження витрат на їх проведення [1, 2].

Аналіз досліджень та публікацій. Серед розмаїття інструментів для виробництва бурових робіт, окрему групу представляють шнекові бури з плоскими зубами, що дозволяють проводити розробку гірських порід до 5 категорії з можливістю отримання свердловин діаметром до 1,5 м. Одним із способів інтенсифікації багатьох технологічних виробничих процесів, що дозволяє одночасно знизити енергетичні витрати, є застосування вібрації. Дослідження дії вібрації при бурінні гірських порід можна розділити на дві групи: перша – розглядає динаміку поведінки бурової колони; друга – розглядає процес взаємодії робочих органів з гірською породою. Серед робіт другої групи, найцікавішими з точки зору розкриття механізму вібраційного різання гірських порід є дослідження в області руйнування гірської породи долотом з різцями PDC [3, 4, 5]. Однак застосування даних результатів при виборі основних параметрів вібрації (частоти і амплітуди) і визначенні сил різання ускладнено через відсутність в розрахункових моделях врахування особливостей механіки контактної взаємодії елемента гірської породи, що відділяється, з робочим органом і масивом.

Метою роботи є визначення основних параметрів переданої на робочий орган вібрації і сил різання з урахуванням поведінки гірського масиву при його складно-напруженому стані, що виникає під впливом вібрації, а також модель поведінки і характер розподілу контактних тисків між робочим органом і оброблюваним середовищем.

Викладення матеріалу і результати дослідження. Для теоретичного

підтвердження ефективності вібраційного впливу на гірський масив порівняємо результати при статичному і вібраційному руйнуванні гірської породи плоским різцем (рис. 1, а, б). Розглянемо рівновагу елемента гірської породи, що відокремлюється від масиву, завтовшки t і висотою h . При дії різця на породу виникають нормальні p_s і дотичні напруження τ , для взаємозв'язку яких можна використати закон тертя Кулона. Відділення елемента відбувається шляхом його зсуву відносно масиву, що характеризується площадкою завдовжки $h/\sin\psi$ і граничним напруженням зсуву τ_s . Граничне напруження на зсув τ_s при руйнуванні гірських порід відповідно до моделі Кулона-Мора має вигляд [6]:

у разі стиснення: $\tau_s = p_s \operatorname{tg}\varphi + c$,

у разі розтягування: $\tau_s = c - |p_s| \cdot \operatorname{tg}\varphi$,

де p_s – нормальний тиск виникає на площадці зсуву; c – зчеплення.

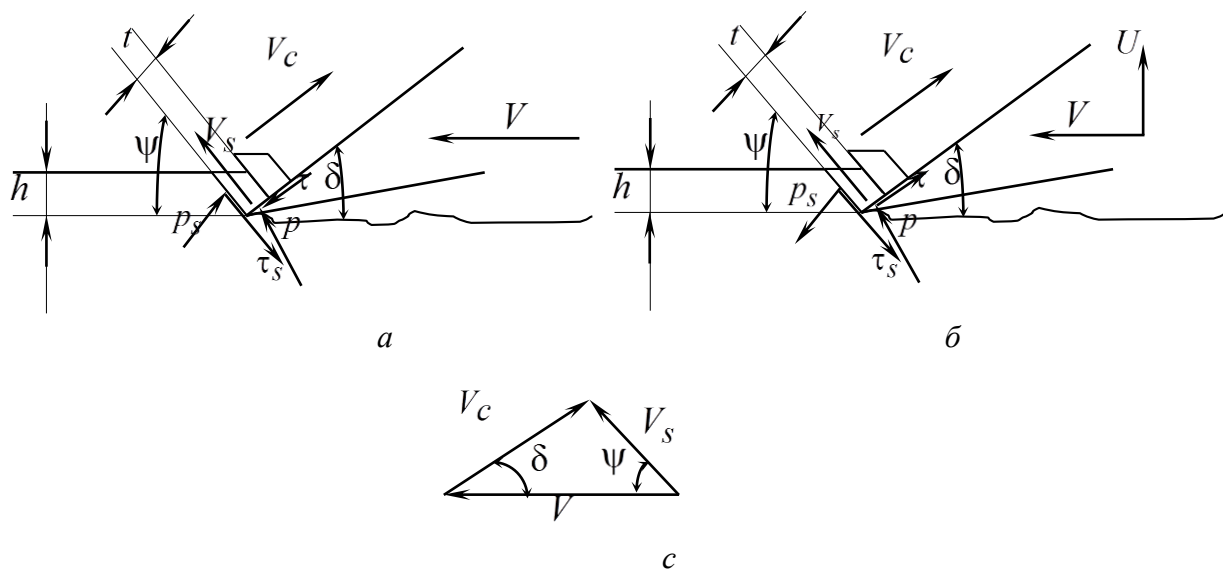


Рис.1 Схеми для виведення співвідношень контактних тисків і швидкостей при віброрізанні

Рівняння рівноваги відокремлюваного елемента у випадку статичного різання (рис. 1, а):

$$\sum X = 0; \quad p_s \frac{h}{\sin\psi} \sin\psi + \tau_s \frac{h}{\sin\psi} \cos\psi - p \cdot t \sin\delta - \tau t \cos\delta = 0;$$

$$\sum Y = 0; \quad p_s \frac{h}{\sin \psi} \cos \psi - \tau_s \frac{h}{\sin \psi} \sin \psi + p \cdot t \cos \delta - \tau t \sin \delta = 0.$$

Нормальний тиск з урахуванням рівності кутів тертя і відколу $\psi \approx \varphi$:

$$p = \frac{c \cdot h(\operatorname{tg}(2\varphi)\operatorname{tg}(\varphi) + 1)}{\operatorname{tg}(\varphi)t(\sin(\delta) + \mu \cos(\delta)) + \operatorname{tg}(2\varphi)\cos(\delta) - \mu \operatorname{tg}(2\varphi)\sin(\delta)} \quad (1)$$

Визначимо параметри вібраційного впливу, при якому відділення елемента відбувається з найменшими зусиллями, а відповідно і з меншими енергетичними затратами. Умовою виникнення ефекту віброрізання є зміна напрямку тангенціальної складової τ і повного контактного тиску (рис. 1, б). Це можливо при створенні віброшвидкості U , дотична складова якої вздовж площини контакту гірської породи з різцем більше ніж швидкість руху стружки щодо різця:

$$V_c < U_{\text{в}}/c. \quad (2)$$

З трикутника швидкостей (рис. 1, в) знайдемо швидкість руху стружки щодо різця V_c :

$$V_c = V \frac{\sin(\psi)}{\sin(\pi - \delta - \psi)}. \quad (3)$$

З виразів (1) і (2) умова параметрів вібрації для забезпечення режиму віброрізання:

$$af \geq V \frac{\sin(\psi)}{2\pi \sin(\pi - \delta - \psi) \sin(\delta)},$$

де a и f – амплітуда и частота вібрація.

Аналогічно нормальний тиск p_v при ході різця вгору:

$$p_v = \frac{c \cdot h \cdot (\operatorname{tg}(2\varphi)\operatorname{tg}(\varphi) + 1)}{\operatorname{tg}(\varphi)t(\sin(\delta) - \mu \cos(\delta)) + \operatorname{tg}(2\varphi)\cos(\delta) + \mu \operatorname{tg}(2\varphi)\sin(\delta)}. \quad (4)$$

Використовуючи вирази (1) і (4) можна встановити різницю нормальних тисків при двох способах різання гірських порід.

Висновки. Встановлено, що зменшення тисків на 25% при ході різця вгору в цілому сприятиме зменшенню середнього тиску на 12,5% і, як наслідок, необхідної потужності для реалізації процесу різання. Однак слід зазначити, що реалізація процесу вібробуріння вимагає додаткового джерела високочастотної вібрації (магнітостриктора), що призведе до зменшення ефективності запропонованого способу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Красноярск: СФУ, 2012. – 300 с.
2. Борисов К.И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режуще-скалывающего действия: дис. д-ра техн. наук. – Томск, 2012. – 181 с.
3. Нескоромных В. В. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы долотом с резцами PDC / В. В. Нескоромных, К. И. Борисов // Известия Томского политехнического университета. - 2013. - Т. 323, № 1 : Науки о Земле. - С. 191-195.
4. Нейштетер И.А. Кинетическая природа статического и динамического разрушения горных пород // Межвузовский научный тематический сборник «Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые». Вып. 21. – Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1998. – С. 53–67.
5. Баладинский В. Л. Динамическое разрушение грунтов / В. Л. Баладинский. - К. : Изд-во Киев, 1971. - 226 с.
6. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1968. - 375 с.

УДК 622.276

В. М. Сліденко, к.т.н., доцент кафедри ЕМО ЕВ,
Л.К. Лістовщик, к.т.н., доцент кафедри ЕМО ЕВ,
Є. В. Галба, аспірант кафедри ЕМО ЕВ

«Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут»

03056, м. Київ,
пр. Перемоги, 37

СТРУМИННИЙ АПАРАТ ПРЯМОТОЧНОЇ ДІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Представлено прямоточний струминний апарат для підвищення продуктивності видобутку вуглеводнів. Пристрій має здатність працювати як в режимі ежектора так і в якості труби для заливки рідини в пласт. Перемикання пристрою між режимами здійснюється за рахунок варіювання значень тиску в свердловині насосною установкою з поверхні.

Метою роботи є обґрунтування позиціонування камери змішування відносно сопла в струминному апараті прямоочної дії.

На основі представлених експериментів отримано значення коефіцієнту інжекції в залежності від зміни тиску на вході в обладнання, та варіюванні відстані між соплом і камерою інжекції.

Ключові слова: нафтова свердловина, сопло, камера змішування, коефіцієнт інжекції.

Вступ. Нафта та газ були є одними з найважливіших факторів економічної незалежності будь-якої держави. Серед багатьох причин, які обумовлюють малу нафтовіддачу, головними є висока в'язкість нафти в пластових умовах, неоднорідність пластів, адсорбція компонентів нафти на породі, яка призводить до гідрофобізації породи і появу відмінностей в фазовій проникливості для нафти і витісняючої її рідини в процесі розробки родовища з заводненням. В таких умовах актуально застосовувати струминні пристрої [1].

Критерій якості свердловини для видобутку вуглеводнів кількісно описується відношенням продуктивності свердловини перед погіршенням фільтраційних властивостей присвердловинної зони до продуктивності свердловини після погіршення фільтраційних властивостей присвердловинної зони. Причому, зменшення проникності колектора в присвердловинній зоні в п'ять разів, призводить до зменшення продуктивності свердловини у два рази, а зменшення проникливості в 10 разів приводить до падіння продуктивності вуглеводнів в 3,5 рази.

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування відстані між соплом та камерою інжекції струминного насоса її вплив на коефіцієнт інжекції.

Постановка задачі. Для досягнення мети роботи необхідно визначити коефіцієнт інжекції [2] струминного апарату [3,4] з соплом діаметром 4 мм та камерою змішування діаметрами 6 мм, для вектору значень відстані між ними в діапазоні 1 – 6 мм та тиску від 10 до 37 кг/см².

Матеріал і результати досліджень. В Центрі імпульсно-хвильових конструкцій, технологій та навчальних систем ІЕЕ НТУУ "КПІ" модернізовано стенд для випробування шестеренчатих насосів «КИ-4200» (рис. 1).

Конструкція струминного насосу реверсивного режиму подачі рідини пройшли апробацію на підприємствах нафтогазового комплексу України та Росії у відповідності з господарськими договорами НВО "Азгарт" (Україна) та ЗАТ «Ренфорс» (Росія).

Насосом 2 з бака 1 прокачується робоча рідина по лабораторному стенду (рис.1). За рахунок дроселювання рідини через сопло 8, створюється інжекція пасивного середовища з мірної ємності 7. Змішаний потік робочої та інжектваної рідин через камеру змішування 9 реєструється витратоміром 3 і зливається в бак 1. Тиск в лабораторному стенді регулювався дроселем 4 та його значення реєструвались манометром за ГОСТ2405-72. Кожен дослід проводився для фіксованого зазору l між соплом 8 та камерою змішування 9, який реєструвався штангенциркулем за ГОСТ 166-89.

Мірна ємність наповнювалась за рахунок перемикання розподільника 6 з пульта дистанційного керування вище поділки фіксування об'єму відкачуваної рідини для створення умов виходу струминного апарату на режим.

Початок реєстрації експериментальних значень відбувався за командою "СТАРТ" з одночасним вмиканням секундоміра, а по команді "СТОП" з одночасним вимиканням секундоміра та реєстрацією об'єму змішаного потоку рідин.

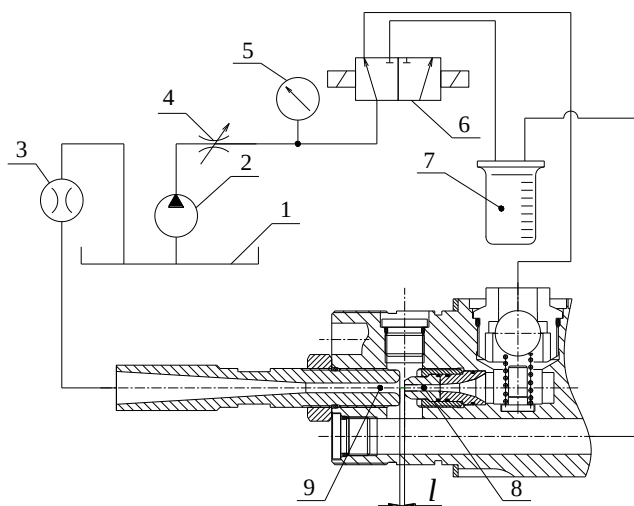


Рисунок 1 – Спрощена схема випробувального стенду: 1 – гідробак; 2 – насос НШ – 32; 3 – витратомір; 4 – дросель; 5 – манометр; 6 – гідророзподільник ; 7 – мірна ємність; 8 – сопло; 9 – камера змішування ; l – зазор між соплом і камерою змішування.

Таким чином проведено ряд дослідів для кожного зазору в діапазоні значень від 1 до 6 мм між соплом та камерою змішування. Прокачку рідини по струминному апарату здійснено при тисках в системі в діапазоні від 10 до 37 кг с/ см². Отримані результати коефіцієнтів інжекції показано на рис.2 в залежності від зміни тиску для вектора значень відстані l .

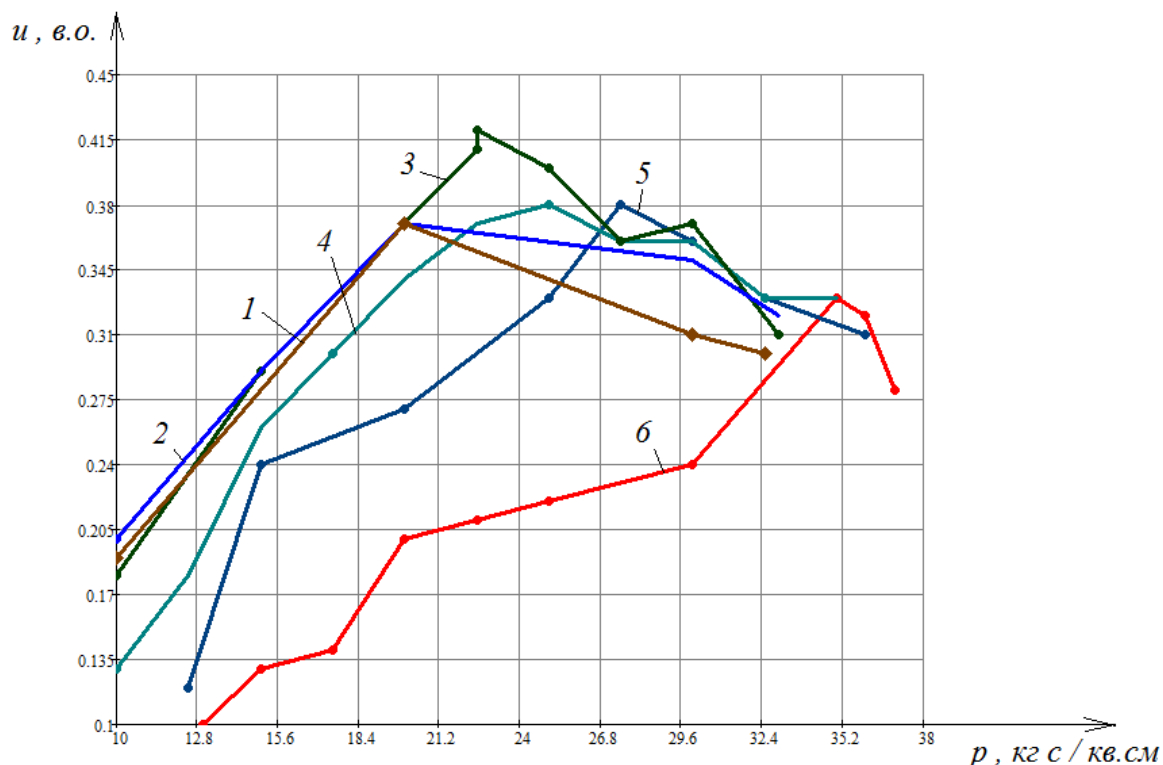


Рисунок 2 – Експериментальні криві: 1 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 1 мм; 2 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 2 мм; 3 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 3 мм; 4 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 4 мм; 5 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 5 мм; 6 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 6 мм;

Максимальне значення коефіцієнту інжекції зафіксовано при відстані між соплом та камерою змішування рівним значенню 3 мм, тому результат по цьому зазору зведено до таблиці 1.

Таблиця 1- Результат проведеного експерименту

№ досліджу	$V_{KH-4200}, \text{л}$	$V_i, \text{л}$	$Q_p = \frac{V_p}{t}, \text{л/с}$	$V_p = V_{KH-4200} - V_i, \text{л}$	$u = \frac{V_i}{V_p}$	$t, \text{с}$	$p_{KH-4200}, \text{кгс/см}^2$
1	34	8	0,6310679	26	0,31	41,2	33
2	29,5		0,5555555	21,5	0,37	38,7	30
3	30		0,5684754	22	0,36	38,7	27,5
4	28		0,5154639	20	0,4	38,8	25
5	27,5	4	0,4850746	19,5	0,41	40,2	22,5
6	29,5	2	0,4308617	21,5	0,37	49,9	20
7	36		0,3598971	28	0,29	77,8	15

8	26,5	8	0,2625437	22,5	0,18	85,7	10
9	27	4	0,4909560	19	0,42	38,7	22,5

Для проведення апроксимації побудованих залежностей використано метод найменших квадратів.

Для визначення многочлена другого ступеня запишемо систему рівнянь [5]

$$\begin{cases} (n+1) \cdot a_0 + \left(\sum_{i=0}^n x_i \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^2 \right) \cdot a_2 = \sum_{i=0}^n y_i \\ \left(\sum_{i=0}^n x_i \right) \cdot a_0 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^2 \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^3 \right) \cdot a_2 = \sum_{i=0}^n y_i \cdot x_i \\ \left(\sum_{i=0}^n x_i^2 \right) \cdot a_0 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^3 \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^4 \right) \cdot a_2 = \sum_{i=0}^n y_i \cdot x_i^2 \end{cases}$$

де n - кількість дослідів для сталого значення відстані між соплом та камерою змішування; a_0, a_1, a_2 - невідомі коефіцієнти; x_i - фактор; y_i - експериментально визначення коефіцієнту інжекції.

В результаті розрахунку отримано рівняння регресії та побудовано апроксимовану криву рис.3 .

$$p_3 = -0,262 + 0.055 \cdot p_{KH-4200} - 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot p_{KH-4200}^2$$

Середньо квадратичне відхилення складає:

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{1}{n+1} \cdot \sum_{i=0}^n (p_3 - u_3)^2} = 0,014$$

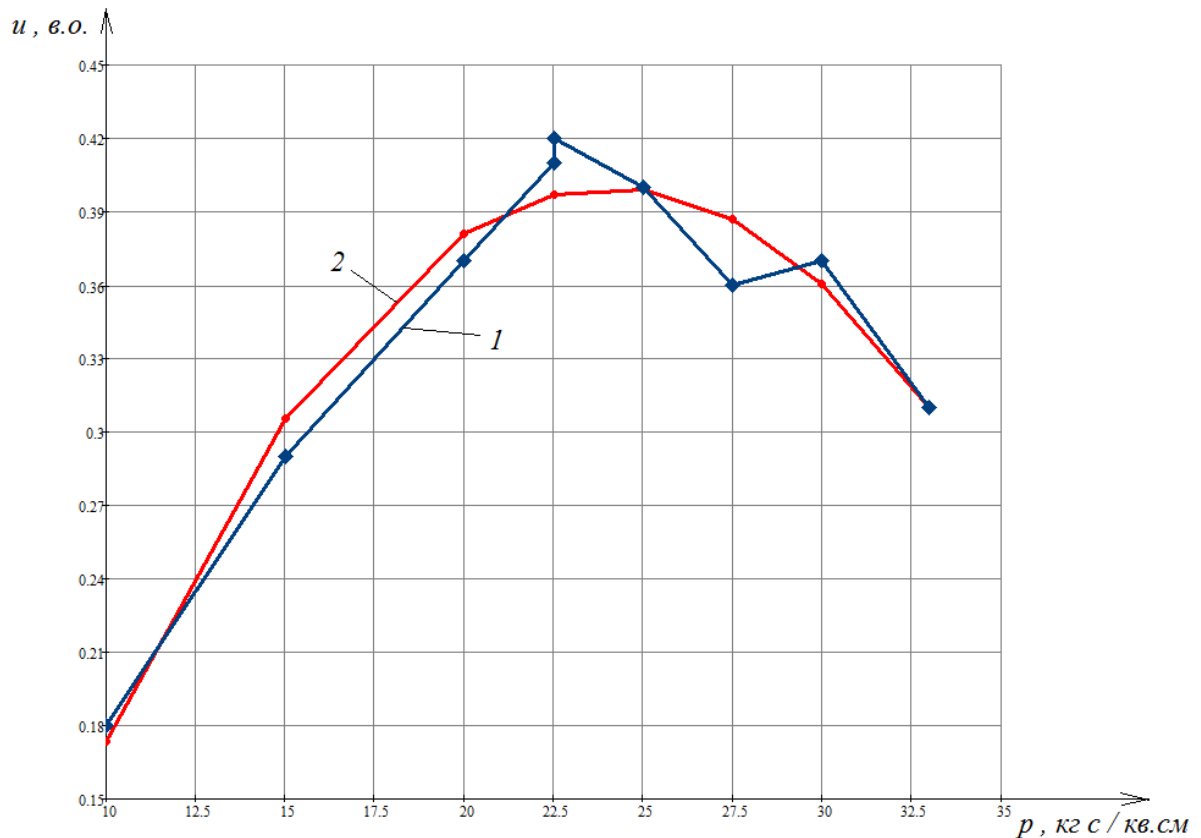


Рисунок 3 – Характеристика при фіксованому зазорі між соплом та камерою змішування 3 мм: 1 – Залежність отримана експериментальним шляхом; 2 – Апроксимована характеристика.

Висновки

Таким чином експериментально встановлено, що для ряду значень від 1 до 6 мм відстані між соплом та камерою змішування, коефіцієнт інжекції досягає свого максимального значення 0,42 при тиску 22,5 кгс/см². Проведення повторного дослідження для тиску 22,5 кгс/см² з отриманими результатами коефіцієнту інжекції 0,41 підтвердило адекватність попереднього експерименту. В результаті розрахунку отримано рівняння регресії та побудовано апроксимовану криву.

Список літератури

1. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки [Текст]/ Б.Ф. Лямаев - Л.:Машиностроение.Ленингр. отд-ние, 1988.-256с.
2. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1970. – 288 с.: ил.
3. Струминный аппарат депрессивно-репрессивной дії [Текст] : пат. на корисну модель 66234 Україна: МПК E21B 37/00 E21B 28/00 Сліденко В.М., Лесик В.С., Лістовщик Л.К., Галба Є.В., Максютенко О.В., Бокало В.Я., Національний

технічний університет України «Київський політехнічний інститут» №201107590; заявл. 16.06.2011; опубл 26.12.2011 – 8 с Бюл №24.

4. Прямоточний струминний апарат депресивно-репресивної дії [Текст] : пат. на корисну модель 73540 Україна: МПК E21B 37/06 E21B 28/00 Сліденко В.М., Лесик В.С., Лістовщик Л.К., Галба Є.В., Максютенко О.В., Бокало В.Я., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» №201203640; заявл. 26.03.2012; опубл 25.09.2012 – 8 с Бюл №18.
5. Румшиский Л.Э. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971 - 192 с.

УДК 622.6

ас. Лемешко О.Г. студ. Перелет М.С.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРЯННЯ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА
ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.**

Анотація. У даній статті розглянуті прилади для очистки відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння на гірничих підприємствах.

Ключові слова: кар'єр, дизельний двигун, автосамоскид, відпрацьовані гази, атмосфера, нейтралізатор.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.**

Аннотация. В данной статье рассмотрены приборы для очистки отработанных газов двигателя внутреннего сгорания на горных предприятиях, и выбран самый эффективный.

Ключевые слова: карьер, дизельный двигатель, автосамосвал, отработанные газы, атмосфера, нейтрализатор.

**IMPROVING THE TECHNOLOGY OF INTERNAL COMBUSTION
ENGINE WITH THE GOAL TO INCREASE ENVIRONMENT SAFETY ON THE
MINE FACTORIES.**

Abstract. In that article we can see a lot of devices which help us to clearing exhaust gases that internal combustion engine providing in mine factories and also we can upgrade them.

Keywords: mine, diesel engine, dump lorry, exhaust gases, atmosphere, converter.

Вступ. Зростаючі масштаби дії автомобільного транспорту на природну сферу висунули автомобільний транспорт в ряд найбільш екологічно небезпечних явищ в економічній діяльності людини. Рух автотранспорту в кар'єрах обумовлює виділення газів від двигунів внутрішнього згоряння.

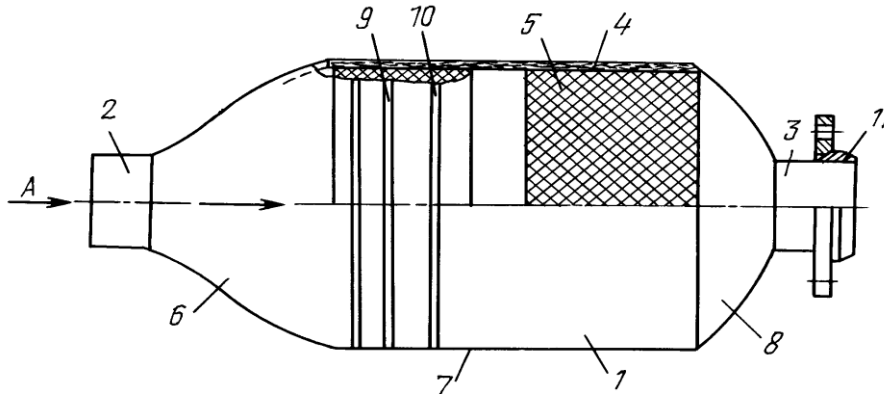
За результатами досліджень дизельний двигун 8ДМ-21 АФ самоскида БелАЗ 7519 грузопідйомністю 110 т при транспортуванні гірничої маси в кар'єрі глибиною 210 м на відстані 2 км за 1 год роботи в середньому викидає наступну кількість шкідливих речовин (г) : діоксид вуглецю CO_2 -3357,15; вуглеводень C_xH_y -493,08; оксид азоту NO_x -7631,2; сажа (С)- 1623,15; альдегіди (RCHO)-22,88; бензапірен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$)- $66,38 \cdot 10^{-4}$ [1]. Враховуючи що за робочу зміну ці цифри збільшуються на порядок, а в кар'єрі працюють десятки автосамоскидів ця цифра стає значно більшою, що показує актуальність проблеми зниження негативного впливу відпрацьованих газів. Атмосфера повинна залишатися в рамках передбачених нормативами для збереження життя на планеті. Приведення якості повітря в межі ГДК наша першочергова ціль, і перші кроки у цьому напрямку робляться саме у бік джерел забруднення.

Результати виконаних досліджень. Розглянемо два прилади для очистки відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння.

Перший прилад - це моноблочний нейтралізатор.

Сутність пристрою: нейтралізатор має каталітичний каталізатор монолітної структури наскрізними каналами для проходження газу, поміщений в металевий

циліндричний корпус. У зазорі між корпусом та каталітичним блоком розташована оболонка з плетеної металевої сітки, яка слугує для амортизації механічних ударів, закріплення монолітного блоку каталізатора в корпусі і компенсації різниці в тепловому розширенні цих деталей при нагріванні. Вхід та вихід виконані у вигляді усічених конусів, які переходять у трубопроводи. Корпус і металева сітка виготовлені з жаростійких сталей.



Фиг. 1

Рисунок 1 – Схема моноблочного нейтралізатора

Нейтралізатор складається з корпусу 1, перехідних патрубків 2 і 3 терморозширюючих прокладок 4, каталітичного блоку 5. Корпус 1 має вхідну частину 6, центральну частину 7 і вихідну частину 8 і складається з двох половин з підсилюючими ребрами у вигляді опуклих 9 і увігнутих 10 складок або радіусів листового матеріалу в центральній частині, а також систему компенсаційних радіусів в стиках центральної частини 7 з вхідною частиною 6 і вихідний частиною 8. У корпус 1 аксіально змонтовані каталітичні моноблоки 5, терморозширюються прокладка 4, розміщена в зазорі між стінкою корпусу 1 і каталітичними моноблоками 5. На кінцях патрубків або на одному знаходиться сферичний фланець 11.

$$E_K = 3/K \cdot 100$$

$$E_K = 473987,66 / (528960) \cdot 100 = 89,6\%.$$

Що стосується терміну окупності запропонованих заходів, то він визначається за формулою:

$$T_{OK} = K/3$$

де,

T_{OK} – термін окупності запропонованих заходів, у роках;

3 – зменшення щорічних витрат для забезпечення виробництва, грн;

K – величина капіталовкладень використання для модернізації обладнання;

$$T_{OK} = 528960 / (473987,66) = 1,1 \text{ року}$$

Другий прилад-це рідинний нейтралізатор.

Сутність пристрою: сутність рідинної нейтралізації полягає в затримці твердих часток, поглинанні водорозчинних і хімічному перетворенні газоподібних шкідливих речовин при пропусненні ВГ через водні розчини різних речовин. Як хімічні з'єднання використовують 10% розчини сульфату натрію (Na_2HCO_3), гідрокарбонат натрію ($NaHCO_3$), сульфату окису заліза ($FeSO_4$) - застосовується тільки для дизелів. По кожному з напрямків можуть пропонуватися різні технічні рішення. Для видалення сажі в нейтралізатор вводиться невелика кількість змочувальних речовин. Синтетичні миючі засоби забезпечують гарне змочування сажі, що значно підвищує ефективність

очищення. При використанні як рідини різні органічні розчинники забезпечується розчинення незгорілих вуглеводнів.

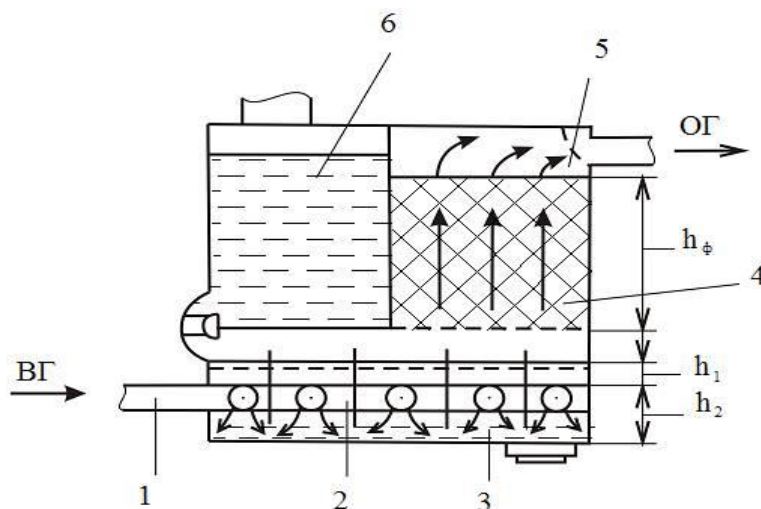


Рисунок 2 – Схема рідинного нейтралізатора:

1 – впускна труба; 2 – колектор; 3 – робочий бак з рідиною; 4 – фільтр; 5 – сепаратор; 6 – додатковий бак.

Рідинні нейтралізатори це обладнання для поглинання сажі і бенз(а)пірену до 50-100%, але вони не вловлюють окис вуглецю і вуглеводні.

Висновок. Таким чином, викладене вище визначає необхідність прийняття широкомасштабних і комплексних заходів щодо удосконалення технологій очистки двигунів внутрішнього згоряння. Рідинні каталізатори не вловлюють окис вуглецю і вуглеводні. Отже, так як ефективність капіталовкладень складає 89,6%, а термін окупності запропонованих заходів для підприємства складає 1,1 року, то моноблочний нейтралізатор вважається найефективнішим для очистки від окису вуглецю та окису азоту.

Список використаних джерел

1. Войтов В.Т. Токсичность отработавших газов силовых установок карьерных автосамосвалов и проблемы ее снижения//Горный журнал. – М.: МГГУ. №7,1999, с. 82-85.
2. Потапов М.Г. Экологическая оценка технологических схем открытых горных разработок / М.Г. Потапов, А.Н. Комаров // Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 81-86.
3. Луканин В.Н. Промислово-транспортна екологія. М. Вища школа, 2001 р.

УДК 502.08

ас. Лемешко О.Г., студ. Тимошук Л.В.

**ОБГРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ
НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА
РОБОЧУ ЗОНУ**

Анотація. Деревний пил досить шкідливий для здоров'я людей, є причиною різних хвороб. Розглянуто способи очищення атмосферного повітря в робочій зоні, запиленій деревним пилом, та вибрано найефективніший.

Ключові слова: деревний пил, забруднення, атмосферне повітря, пиловловлюючі пристрої, циклон, ефективність.

**ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УМЕНЬШЕНИЮ
НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ
НА РАБОЧУЮ ЗОНУ**

Аннотация. Древесная пыль достаточно вредная для здоровья людей, является причиной различных болезней. Рассмотрены способы очистки атмосферного воздуха в рабочей зоне, запыленной древесной пылью, и выбрано эффективный.

Ключевые слова: древесная пыль, загрязнение, атмосферный воздух, пылеулавливающие устройства, циклон, эффективность.

**BASIS OF RECOMMENDATIONS REDUCE THE NEGATIVE IMPACT ON
A WOODWORKING WORK AREA**

Abstract. Wood dust is quite harmful to human health, cause various diseases. The methods of clean air in the working area, dusty wood dust, and select the most effective.

Keywords: wood dust, pollution, air, dust collectors devices, cyclone, efficiency.

Актуальність проблеми. В сучасному розвитку промисловості України важливу роль відіграє деревообробна промисловість.

Вона поділяється на лісопильну, фанерну, меблеву, виробництво деревостружкових плит, сірників, будматеріалів. В результаті антропогенної діяльності людини (роботи в столярних цехах, деревообробних підприємствах), а також перебігу технологічних процесів, у атмосферне повітря надходить забруднене повітря, яке негативно впливає на навколишнє середовище. Надходження шкідливостей у вигляді пилу деревного, отруйних газів, вологи призводить до зміни хімічного складу і фізичного стану повітря, що несприятливо відбивається на умовах діяльності людини, на її самопочутті і стані здоров'я. Пил є одним із несприятливих факторів виробничого середовища. Він може бути причиною різних хвороб шкіри, зокрема дерматитів, захворювань алергійної природи, онкологічних, пневмоконіозів, бронхіту. Для того щоб зменшити шкідливий вплив на підприємствах встановлюють очисне обладнання (в основному для деревообробної промисловості характерні циклони, як основне пилоочисне обладнання).

Суть проблеми. Вирішення проблеми запиленості приміщень деревним пилом, викиду деревного пилу в навколишнє середовище. А також вибір методів і засобів підвищення ефективності системи очищення повітря від пилу деревного в деревообробній промисловості.

Результати виконаних досліджень. Для очищення повітря від твердих і рідких домішок застосовують циклони, пиловловлювачі (вихрові, жалюзійні, камерні та ін), пилоосаджувальні камери і різні по конструкції фільтри. Важливим показником роботи всіх цих пристроїв є ефективність очищення повітря. В залежності від дисперсного складу пилу і аерозолів вибирають метод і апарат для їх знешкодження.

Найпростішими пиловловлюючими пристроями є пилоосаджувальні камери. Камери можуть застосовуватися лише для попередньої грубої очистки газів від крупнодисперсного пилу (розміром не менше 50 мкм). Ступінь очищення повітря не перевищує від 40 до 50%.

Інерційні пиловловлювачі, на відміну від пилоосаджувальних камер, мають ефективність очищення для частинок розміром від 25 до 40 мкм від 65 до 80%.

У вихрових пиловловлювачах досягається вельми висока ефективність очищення від 95 до 99%. У порівнянні з циклонними апаратами ці пиловловлювачі більш ефективно вловлюють дрібнодисперсний пил (менше 10 мкм).

Для очистки повітря від деревного пилу найдоцільніше буде застосовувати циклони. Вони здатні ефективно очищувати забруднене повітря, яке містить домішки різних розмірів.

В деревообробній промисловості широко використовуються циклони ОЕКДМ (рис.1), які призначені для систем аспірації пневмотранспорту подрібненої деревини (тріска, стружка, тирса, у тому числі вологі). Ці циклони відносяться до високопродуктивних апаратів, мають відносно невеликий коефіцієнт місцевого опору і можуть бути встановлені як на всмоктуванні, так і на нагнітанні. Міра очищення повітря в циклонах ОЕКДМ (К) при роботі на стружці і тирсі складає 88% - 95%, із збільшенням розміру циклону міра очищення зменшується.

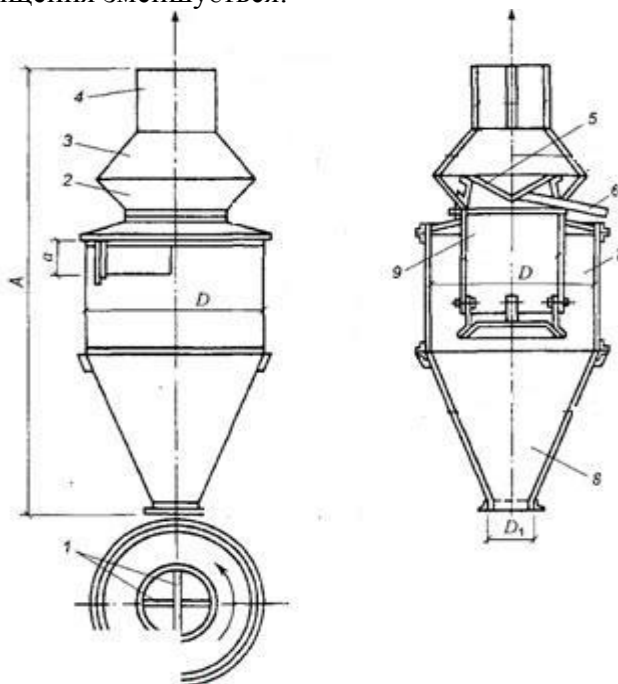


Рисунок 1 – Циклон ОЕКДМ № 14 для очищення повітря від деревних відходів: 1 – розсікач; 2 і 3 – верхній і нижній корпуси; 4 – труба вихлопна; 5 – водозбірник; 6 – труба зливна; 7 – корпус циклону; 8 – конус циклону; 9 – внутрішній циклон; А – висота циклону; D – діаметр корпусу; а – діаметр вхідного патрубку.

Також широко застосовуються в деревообробній промисловості циклони УЦ-2000. Циклон УЦ призначений для очищення технологічних викидів деревообробних виробництв в атмосферу від незлипаючого, неволокнистого пилу, а також сумішей пилу з сухою тирсою і стружкою.

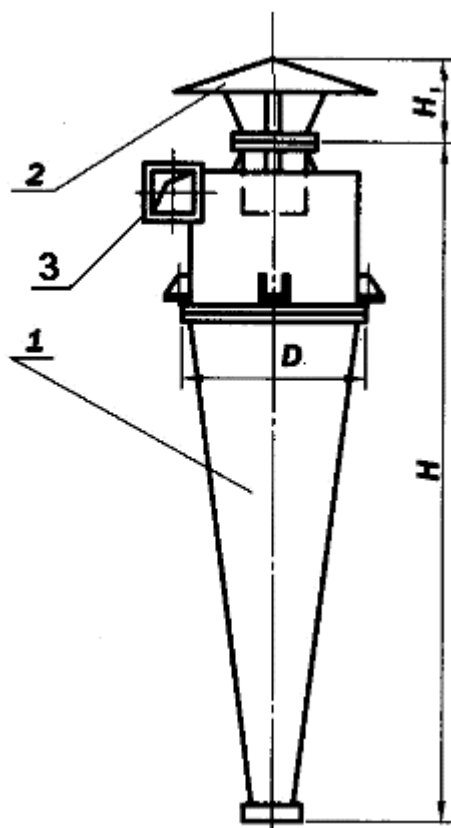


Рисунок 2 – Загальний вигляд циклону УЦ-2000: 1 – корпус циклона; 2 – зонтик; 3 – вхідний патрубков; H – висота циклону; H₁ – висота зонту; D – діаметр циклону.

Циклони типу УЦ входять до групи інерційного устаткування, утворюючи в ній окремий вигляд. Сепарація пилу з повітряного потоку здійснюється в циклоні за допомогою відцентрової сили.

Для того, щоб визначити який з циклонів краще застосовувати, порівняємо їх ефективність та продуктивність. Необхідну ефективність пиловловлюючої установки можна визначити за формулою [1]:

$$E = (C_n - C_k) 100 \% / C_n, \%$$

де C_n – початкова запиленість повітря, $\text{мг}/\text{м}^3$; C_k – кінцева концентрація пилу, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Паспортні характеристики роботи циклону: тип циклону ОЕКДМ № 14; продуктивність на вході - $6416 \text{ м}^3/\text{год}$; продуктивність на виході - $6264 \text{ м}^3/\text{год}$; концентрація пилу на вході - $323,99 \text{ мг}/\text{м}^3$; концентрація пилу на виході - $22,29 \text{ мг}/\text{м}^3$.

При цьому розрахунок необхідної ефективності очистки циклону ОЕКДМ № 14 складе:

$$E = (323,99 - 22,29) \times 100 / 323,99 = 93,1\%$$

Паспортні характеристики другого циклону наступні: тип циклону УЦ-2000-2П,зонт; продуктивність на вході – 15250 м³/год; продуктивність на виході – 15220 м³/год; концентрація пилу на вході – 370 мг/м³; концентрація пилу на виході – 8,26 мг/м³.

Розрахунок необхідної ефективності очистки циклону УЦ-2000 складе:

$$E=(370 - 8,26) \times 100 / 370 = 97,66\%$$

Ефективність очистки циклону УЦ-2000-2П перевищує ефективність очистки в циклоні ОЕКДМ № 14.

Висновки. В роботі було розглянуто параметри декількох методів очистки повітря від деревного пилу, а саме - циклонів, фільтрів та пиловловлюючих камер. В даному випадку найефективнішими є циклони.

Детально було розглянуто два типи циклонів для очищення повітря, забрудненого деревним пилом (стружка, тирса, пил), а саме - ОЕКДМ № 14 та УЦ-2000. За паспортними характеристиками було розраховано ефективність очистки для обох циклонів. З розрахунків видно, що ефективність очистки циклону УЦ-2000 перевищує ефективність циклону ОЕКДМ № 14 на 4,56%. Тому доцільніше використовувати циклон УЦ-2000 оскільки він має вищу ефективність очищення (97,66%) та кращі паспортні характеристики.

Література

1. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981. – 296с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 2. (Справочник проектировщика) / Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд. - М.: Стройиздат, 1992 - 395 с.
3. Шелудченко Б.А., Малиновський А.С. та ін. Інженерна екологія. ч.1. Основи техноекології / Навчальний посібник. – Житомир: Волинь, 1999. – 216с.
4. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua>.
5. Шерстюк О.М., Асламова В.С. Емпіричний метод оцінки ефективності сепарації циклонів. // Теплоенергетика, 1990, N5. - С.61-62