



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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту



II НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

"Енергетика: економіка, технології, екологія"

*присвячена вшануванню 90 років від дня народження відомого вченого, заслуженого
працівника вищої школи УРСР,
лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки, професора*

***Винославського
Василя Миколайовича***

конференція молодих дослідників, аспірантів та магістрантів

14-15 січня 2010 року

НАУКОВІ ПРАЦІ

<http://iee.kpi.ua>

Київ 2010

«Енергетика: економіка, технології, екологія». Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2010 р.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на науково-технічній конференції **«Енергетика: економіка, технології, екологія»**.

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: економіка, технології, екологія»

Протокол № 8 від 22.02.2010 року

Організаційний комітет: Згуровський М.З., академік НАН України, ректор НТУУ «КПІ»; Праховник А.В., д. т. н., проф., директор ІЕЕ; Денисюк С.П., д. т. н., проф.; Дешко В.І., д.т.н., проф.; Кравець В.Г., д. т. н., проф.; Левченко О.Г., д. т. н., проф.; Шевчук С.П., д. т. н., проф.; Закладний О.М., к. т. н., доц.; Іншеков Є.М., к. т. н., доц.; Крючков А.І., к. т. н., доц.; Прокопенко В.В., к. т. н., проф.; Розен В.П., к. т. н., проф.

Відповідальний секретар: Побігайло В.А.

Адреса організаційного комітету:

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Тел./факс: (044) 241 7037, (044) 241 7038

© Національний технічний університет
України «КПІ», 2010



Професор
ВИНОСЛАВСЬКИЙ
Василь Миколайович

Декан факультету
гірничої електромеханіки
та автоматики (ГЕМА)
1958-1988 гг

ЗМІСТ

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ

1. **Праховник А.В.** Від управління електроспоживанням до енергетики сталого розвитку.....7
2. **Рябенко І.С.** До 90-річчя від дня народження В.М. Винославського17
3. **Харитонов О.О.** Шляхи зниження електроспоживання дробильно-збагачувальним комплексом ВАТ «ПівнГЗК».....21
4. **Коцар О.В., Павленко К.О.** Забезпечення достовірності даних комерційного обліку в АСКОВЕ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України.....25
5. **Волошко А.В., Лутчин Т.Н.** Статистический метод кластеризации вейвлет – преобразованных графиков электрических нагрузок.....35
6. **Находов В.Ф., Бориченко О. В, Мусатова О.О.** Побудова оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо – господарських об'єктів.....42
7. **Дубровська В.В, Шкляр В.І, Матвійко І.О.** Аналіз ефективності роботи вакуумного сонячного колектора.....49
8. **Розен В.П., Мильніченко С.М.** Кластерний аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів на прикладі Черкаської області.....55
9. **Розен В.П., Ткаченко В.Ф.** Методологічний підхід до визначення факторів впливу та забезпечення на рівень енергоспоживання.....62
10. **Розен В.П., Чернявський А.В., Ячник Є.А.** Методика моніторингу проектів з енергозбереження організацій бюджетної сфери.....70
11. **Розен В.П., Курбака Г.В.** Классификация потребителей-регуляторов мощности производственных систем.....78
12. **Закладний О.О., Закладний О.М., Кондратенко В.В.** Моделі для оцінювання залишкового ресурсу асинхронного електропривода.....84
13. **Денисюк С.П., Деревянко Д.Г.** Аналіз надійності роботи компенсаторів в системах електроживлення нелінійним нестаціонарним навантаженням...91
14. **Іншеков Є.М., Козуб О.М.** Екологічний аспект Національної енергетичної стратегії в контексті сталого розвитку держави.....98
15. **Іншеков Є.М., Дробаха О.С.** Методи обчислення викидів парникових газів в промисловості України. Особливості їх застосування.....104

УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

1. **Щокін В.П.** Armabis-емулятори в адаптивних системах автоматичного керування.....111
2. **Чермалих В.М., Майданський І.Я., Босак А.В.** Параметрическая оптимизация управления электромеханическими системами с идентифицированной передаточной функцией.....118
3. **Закладний О.М., Прядко С.Л., Смоляр В.Г., Оборонов Т.Ю.** Система дистанційного моніторингу та управління буровим комплексом...123
4. **Закладний О.М., Стригун В.О., Оборонов Т.Ю., Нікітін Р.С.** Діагностування стану електричних двигунів насосних установок гірничих підприємств.....125
5. **Лістовщик Л.К.** Обґрунтування параметрів двобойкового гідромолотка з фазочастотним керуванням.....128
6. **Терентьев О.М., Вигівський В.М.** Підвищення продуктивності видобутку енергоносіїв імпульсно-хвильовим навантаженням пластів.....132
7. **Терентьев О.М., Можаровська О.А., Ворфоломеев А.В.** Моделювання процесу очищення води постійним магнітним полем в оболонці labview 137
8. **Сліденко В.М.** Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом.....144
9. **Бокало В.Я., Замараєва О.В.** Імпульсно-струминний модуль геотехнічного комплексу.....149
10. **Шевчук С.П., Поліщук В.О., Зайченко С.В., Киричук В.А.** Моделювання процесу сухого збагачення вугілля за тертям з силовим видаленням породи.....151
11. **Попович О.М., Головань І.В.** Асинхронні двигуни із масивними елементами магнітопроводу для підвищення ефективності занурених свердловинних насосів.....156
12. **Лебедєв Л.М., Дубовик В.Г.** Багатошарові інформаційні поля для моніторингу, діагностики, регулювання та забезпечення безпеки локальних об'єктів.....161

ГЕОТЕХНОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

1. **Желтоножко А.А., Ган А.Л., Косенко Т.В.** Низькошвидкісні вибухові речовини конверсійного походження.....166
2. **Ган А.Л., Толкач О.П.** Роль конструкції набивки в подовженому заряді.....171

3.	Вовк О.О., Солдатова А.В. Сейсмічні характеристики гірського удару як аналога промислового вибуху.....	175
4.	Кравець В.Г., Ган А.Л., Повзик О.О. Газодинамічний пристрій для ощадливого руйнування.....	180
5.	Мілюков В.В., Бойко В.В. Рівень сейсмічності схем короткосповільненого підривання.....	188
6.	Бойко В.В., Мілюков В.В., Маргарян А.В. Технологічні аспекти проектування схем КСП в присутності виражених поверхонь поділу гірського масиву.....	194
7.	Кравець В.Г., Бойко В.В. Методика розрахунку сейсдобезпечних відстаней при гірських ударах.....	200
8.	Калюжна В.В., Бузила О.О. Вивчення технологічних та тектонічних характеристик гранітних родовищ блокового каменю.....	204
10.	Жмуденко О.С., Бородай С.А. Обґрунтування розрахункових схем метротунелю мілкого закладання в водонасичених пісках.....	209
11.	Зуєвська Н.В., Теліца К.А. Армирование просадочного ґрунту путем внедрения жесткого материала ударными силами.....	212
12.	Самедов А.М. Савченко С.В. Буроін'єкційні палі великого перетину з «жорстким» сердечником.....	216
13.	Третьякова Л.Д., Подольцев О.Д. Моделювання електростатичного поля на складних поверхнях діелектричних матеріалів.....	219
14.	Демчук Г.В. Економічні аспекти щодо забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).....	226

ВІД УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ДО ЕНЕРГЕТИКИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

**Пам'яті мого вчителя професора
В. М. Винославського присвячується**

*А. В. Праховник, докт. техн. наук, Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

В Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ») проблемою управління енерговикористанням почали займатися ще наприкінці 60-х років за участю автора цієї статті під науковим керівництвом заслуженого робітника Вищої школи України, професора Винославського В. М. В результаті досліджень була започаткована концепція комплексного управління енерговикористанням, яка передбачала вимірювання електричної енергії та потужності, оперативне керування режимами електроспоживання за результатами короткострокового та довгострокового планування з метою виконання споживачами завданих режимів електроспоживання та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів [1]. Слід зауважити, що методи управління енерговикористанням були направлені в першу чергу на зменшення навантаження окремих споживачів (які мають таку технічну можливість) в періоди максимальних навантажень енергосистеми і, як наслідок, певним ступенем призводили до вирівнювання графіка електричного навантаження (ГЕН) енергосистеми.

За результатами досліджень було створено локальні та регіональні системи управління електроспоживанням та АСКОЕ і АСОЕ, зокрема мікропроцесорні системи обліку, контролю та управління електроспоживанням, які впроваджено на більш ніж 400 об'єктах промисловості в різних республіках колишнього СРСР, Польщі, Болгарії та випускалися серійно:

- система ІЛСЛ-32 (серійний випуск їх було виконано на заводі м. Абовян у Вірменії; розробку здійснено в співавторстві з С. В. Загороднім, В. П. Калінчиком);
- інформаційно - вимірювальні системи обліку електричної енергії ІИСЕ2м, ІИСЕ 3 та датчик обертів диска лічильників електричної енергії Е 440 (серійний випуск їх було здійснено на заводі ВЗЕТ, м. Вільнюс; розробку виконано в співавторстві з С. В. Гудименко, В. Г. Холявенко, В. П. Калінчиком, В. І. Тарадай, О. А. Баніком);
- мікропроцесорна система для автоматизації обліку, контролю та оперативного управління ЕН типу ЦТ 5000 (серійний випуск їх було здійснено на заводі “Точелектроприлад”, м. Київ; розробку виконано в співавторстві з В. П. Калінчиком, С. В. Гудименко, В. Г. Холявенко);
- система обліку, контролю та оперативного управління електричним навантаженням “ІТЕК-210” та “ІТЕКweb” (розробку виконано в співавторстві з В. П. Калінчиком, А. А. Дегтярьовим, О. В. Розумовським).

Були виканані дослідження з створення методів та методик і алгоритмів з нормування електричної енергії (в співавторстві з В. Ф. Находовим), математичного моделювання та автоматичної класифікації ГЕН, короткострокового прогнозування режимів електроспоживання та планування попиту на електричну потужність та електричну енергію, контролю та управління споживачами – регуляторами (в співавторстві з А. Ф. Бондаренко, В. П. Розеном, А. А. Петровим, П. Я. Екелем).

В результаті виконаних розробок запропоновано новий, динамічний підхід до нормалізації електроспоживання, який відрізняється від традиційного нормування питомих витрат електричної енергії (в співавторстві з В. Ф. Находовим). Подальші наукові дослідження в цьому напрямку, що продовжуються й зараз, спрямовані як на удосконалення

і подальший розвиток діючої в Україні системи нормування енергоспоживання (в співавторстві з В. Ф. Находовим і О. В. Бориченко), так і на створення нових, альтернативних нормуванню підходів до контролю ефективності використання електричної енергії.

Значна увага приділялася концептуальним методичним розробкам та їх впровадженню на загальнодержавному рівні:

- Концепція побудови багатофункціональної системи тарифів на електричну енергію для України, а також конкретні методики, які направлено на поступове удосконалення діючих оптових та роздрібних тарифів (В. Ф. Находов, А. І. Замулко). Одна з цих методик, а саме, методика встановлення тарифів на електроенергію, диференційованих за періодами часу, впроваджена і використовується в Україні з 1995 року.
- Концепція побудови автоматизованих систем обліку електричної енергії в умовах енергоринку - схвалена і введена в 2000 року в дію спільним наказом Мінпаливенерго України, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбудівництва і Державного комітету промислової політики України (в співавторстві з В. П. Калінчиком, В. І. Прокопцем, О. А. Баніком, В. В. Прокопенко).
- Комплексна державна програма енергозбереження України – гл.5, 6 (в співавторстві з В. П. Калінчиком і В. П. Розеном).
- Обґрунтування щодо необхідності повернення к об'єднанню енергосистем України та Росії – виконано на замовлення Мінпаливенерго України (в співавторстві з В. А. Поповим).

В 90-х роках в НТУУ «КПІ» було сформульовано та запропоновано нову концепцію двоетапного управління ЕН [2]:

- на першому етапі здійснюється оптимізація розподілу потужності і визначення «завдань» (установок) для споживачів на підставі певної системи критеріїв;
- на другому етапі на рівні споживачів енергії забезпечується управління у реальному часі з урахуванням прийнятих за згодою двох сторін «завдань» (договірних показників).

З моменту запровадження в Україні оптового ринку електроенергії (ОРЕ) за моделлю «єдиного покупця» (пулу) дослідження було зосереджено на виконання правил ОРЕ під час оптимізації споживання електричної енергії промисловими підприємствами. Так, було запропоновано ефективний метод слідкуючого управління ресурсом між споживачами-регуляторами, який міг масштабуватись й адаптуватись до умов дії різних систем тарифів на електроенергію і міг бути застосований в умовах обмежень на електроспоживання [3]. В роботах [4, 5] запропоновано метод управління електроспоживанням нафтотранспортних мереж з урахуванням технологічного ресурсу, який полягає в одночасній паралельній оптимізації режимів виробництва продукції та електроспоживання.

Запланований поступовий перехід ОРЕ України від моделі ринку «єдиного покупця» до ринку двосторонніх договорів та балансуєного ринку (РДДБР) [6] не тільки передбачає електричну енергію товаром, доступним споживачам, а й вимагатиме створення повноцінного балансуєного механізму, спроможного забезпечити ефективне керування режимами генерації й споживання електричної потужності (електроенергії) в реальному часі. Повномасштабний РДДБР охоплює кілька ринків:

- ринок довгострокових договорів (РДД), на якому покупці і продавці укладають контракти на постачання електричної потужності (електроенергії) на довгострокові періоди (місяць, рік тощо);
- ринок «за добу наперед» (РДН), на якому уточнюються законтраковані на РДД обсяги постачання електричної потужності (електроенергії) на наступну добу;
- балансуєний ринок (БР), на якому в реальному часі узгоджуються поточні рівні попиту й пропозиції на електричну потужність (електроенергію).

Запровадження РДДБР відкриває споживачам широкі можливості щодо ефективного використання електричної енергії для різноманітних потреб, отримуючи при цьому максимальну економію під час розрахунків за електроенергію за умови адаптивного керування власними режимами електроспоживання та активної участі в оптимізації ЕН енергосистеми. Йдеться про принципово новий підхід до споживача, як до активного учасника енергоринку. Новизна такого підходу полягає в тому, що в умовах РДДБР існують всі підстави і, що найголовніше, всі можливості розглядати споживача не тільки як користувача, а й як повноправного постачальника продуктів електроенергетичного виробництва та системних послуг на ринку електричної потужності (електроенергії). Варто лише створити привабливі умови та прийняти відповідні заохочувальні заходи, які б дозволили системному оператору залучати споживачів до участі в оптимізації ЕН енергосистеми на ринкових засадах через механізми погодженого керування ними власними режимами електроспоживання [7].

Актуальність керування режимами електроспоживання в умовах РДДБР зумовлена кількома факторами. Перший з них полягає в можливості вибору й оптимального застосування споживачем різних шляхів забезпечення електроенергетичними ресурсами в першу чергу виробничих та інших власних потреб. Серед альтернативних шляхів, які можуть розглядатись споживачем в умовах РДДБР, можна виділити:

- закупівля електроенергії за роздрібними тарифами у ПРТ без виходу на РДДБР;
- закупівля електричної потужності (електроенергії) за договірними цінами у гуртового покупця - ПНТ;
- закупівля електричної потужності (електроенергії) безпосередньо на РДДБР;
- повне або часткове задоволення власних енергопотреб за рахунок впровадження власних джерел електричної потужності (електроенергії).

Запровадження РДДБР вперше надає споживачу можливість стати не просто суб'єктом, а й активним учасником енергоринку. Уміло керуючи власними режимами електроспоживання, споживач отримує можливість не тільки закуповувати електроенергетичні ресурси за ринковими цінами, а й торгувати законтракованими рівнями потужності та іншими продуктами, продаючи їх через послуги оператора РДДБР.

Враховуючи вище згадане, в [7] розглянуто декілька ситуацій, які можуть виникнути під час функціонування РДДБР і в яких споживачі можуть виступати потенційними постачальниками, а, відповідно, й продавцями електроенергетичних ресурсів та системних послуг:

- Закупівля обсягів електроенергії та ГЕН на РДД на довгострокову перспективу.
- Уточнення ГЕН на РДН на наступну добу.
- Керування власними режимами електроспоживання в реальному часі з метою забезпечення відповідності поточного ГЕН законтракованому графіку.
- Запровадження споживачем самообмеження на наступну добу з метою вивільнення потужності для оператора РДДБР.
- Керування власними режимами електроспоживання в реальному часі з метою вивільнення балансувальної потужності для оператора РДДБР.

В новому сторіччі світова спільнота запропонувала для всіх країн комплекс завдань з побудови енергетичних стратегій ХХІ століття. Головний наголос наводиться на нерозривності і узгодженню дій у вирішенні трьох завдань: енергозабезпечення (де головним є безперебійність енергопостачання та надання якісних енергії та послуг), енергодоступності (за ціною та енергоощадністю) та енергоприйнятності (за мінімальним впливом на навколишнє середовище та пом'якшенням змін клімату). Зокрема, терміном «сталій розвиток» наголос наводиться на розвиток, за яким задовольняються потреби в сьогоденні, не вступаючи в компроміс зі здатністю майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби

і характеризує гармонічний, збалансований, безконфліктний прогрес всієї нашої цивілізації, окремих країн або їхніх груп.

Принцип, покладений в основу побудови і функціонування енергетики в середині минулого століття, за яким великі гідро, теплові, а пізніше і атомні електростанції зв'язані в єдину енергетичну систему країни, який залишається переважаючим в Україні і зараз, поступово змінюється. Останній час в світі відмічається достатньо агресивне втручання у вироблення енергії «зеленої» енергетики (безвуглецевої, заснованої на відновлюваних джерелах енергії розосередженої генерації – РГ-ВДЕ). З'явилися також нові ефективні джерела малої енергетики (розосереджена генерація з низькими викидами вуглецю – РГ-НВВ).

Так, в Європейському Союзі прийнята нова платформа енергозабезпечення European Technology Platform SmartGrids [8], що базується на перевагах інтегрованих систем енергопостачання, які є найбільш вигідними для забезпечення енергоспоживання з позицій безпеки, надійності (безперебійності), якості постачання енергії і надання енергетичних послуг, доступних за ціною і привабливих за екологічними наслідками (у першу чергу за викидами CO₂). Новий принцип побудови енергетичної системи XXI сторіччя передбачає створення інтегрованої системи енергозабезпечення за рахунок поступового підвищення рівня децентралізації енергозабезпечення на базі розосередженої генерації та Smart-технологій.

Незалежно від того, на скільки швидко залишиться позаду великомасштабна централізована модель енергетики, як безумовний релікт XX століття, людство вже вступило в період будівництва децентралізованих систем. Звичайно, найближче майбутнє належить інтегрованим системам енергопостачання споживачів, оскільки протягом значного періоду часу будуть «співіснувати» як централізовані, так і децентралізовані системи із поступовим розширенням останніх. На сучасному етапі винятково важливою задачею є зробити таке «співіснування» безконфліктним, гармонійним і максимально ефективним.

Для найбільш раціонального використання ресурсів, направлених на реформування енергетичної галузі, за суттю потрібна:

- розробка і реалізація декількох тісно ідеологічно та технологічно узгоджених проєктів, пов'язаних з реконструкцією і розвитком діючих електричних мереж, яка допускає можливість появи в їхній структурі незалежних виробників енергії;
- створення рекомендацій з оптимального використання альтернативних джерел енергії, враховуючи специфіку окремих регіонів;
- розробка технічних засобів інтеграції розосередженої генерації в централізовані системи енергопостачання;
- створення нових пристроїв захисту і автоматизації інтегрованих систем, інформаційного та програмного забезпечення для керування їхніми режимами.

Само такий підхід був покладений в програму роботи науковців кафедри електропостачання НТУУ «КПІ» на сучасному етапі під час формування напряму з розвитку енергетики, що реалізується побудовою енергетики сталого розвитку України [9], яка схематично представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема платформи сталого розвитку

Ця програма включає:

1. **Ефективне використання енергії** (що є найважливішим). Для цього передбачається широке впровадження проектів з енергоощадності об'єктів регіону, проектів з створення інтелектуальних енергоефективних споруд та будинків, що поєднують досягнення відомих технологій побудови Smart й еко-енергоефективних технологій [10], та розвиток енергетичного менеджменту на всіх рівнях народного господарства [11].

2. **Удосконалення традиційної централізованої енергетики :**

- модернізація діючих та побудова нових джерел генерації;
- удосконалення управління існуючою централізованою системою енергопостачання з обов'язковим урахуванням перспективи її інтеграції з децентралізованими системами енергозабезпечення [12];
- методологія розробки стратегії розвитку маневрених електричних потужностей в Об'єднаній енергосистемі України [13].

3, 4. **Розвиток джерел РГ-ВДЕ і РГ-НВВ та накопичувачів енергії.**

На етапі проектування та впровадження розосереджених джерел енергії та накопичувачів енергії чи розосереджених енергетичних станцій (РЕС) в Україні розглядається досить обмежена група джерел, що не включає технології, які хоча й перспективні, але поки що не представлені в промисловому обсязі на ринку енергетичного устаткування (наприклад, таких як водневі паливні комірки). У міру розширення асортиментів генеруючих джерел нове обладнання може бути включене в загальну систему без кардинальної корекції використовуваної методології. У якості базових аналізуються як джерела РГ-ВДЕ, так і РГ-НВВ. Враховується вибір найбільш раціональної номенклатури джерел розосередженої генерації, їхніх параметрів і зон розміщення, способів агрегування з метою формування електричних станцій з джерелами розосередженої генерації або мікросистем.

На першому етапі передбачається:

- Широке використання джерел РГ-ВДЕ:
 - Теплові насоси з живленням від джерел розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії.
 - Мережеві вітроагрегати.
 - Автономні вітроагрегати.
 - Фотоелектричні установки.
 - Сонячні колектори.
 - Установки на базі первинної енергетичної біосировини.
 - Установки на базі вторинної енергетичної біосировини.

- Установки геотермальної енергії.
- Установки малих (мікро-, міні-) ГЕС.
- Накопичувачі енергії різної фізичної природи.

➤ Застосування РГ-НВВ:

- Дизель-генератори.
- Когенераційні установки (КУ).
- Теплозабезпечення об'єктів на базі електротеплоакуючих технологій (ЕТТ).
- Комбіновані системи теплозабезпечення об'єктів з використанням КУ и ЕТТ.
- Теплові насоси з живленням від електричної мережі (ТН).
- Комбіновані системи теплозабезпечення об'єктів з використанням КУ, ЕТТ та ТН.
- Накопичувачі енергії різної фізичної природи.

В основу алгоритму цього етапу покладено комплексний аналіз альтернативних шляхів та напрямків проектування систем електро- та теплопостачання (або модернізації систем енергопостачання мікрорайонів, районів міст) з метою найбільш ефективного забезпечення електричною та тепловою енергією населених пунктів, повноцінно використовуючи місцеві ресурси [14].

Укрупнений алгоритм формування РЕС включає:

- проведення енергоаудиту на обраній території.
- Розрахунок густини попиту на теплову, електричну енергію та гаряче водопостачання.
- Вибір економічно доцільного потенціалу впровадження РГ, а також видів та об'єму місцевих видів палива в визначеній території.
- Проведення територіальної декомпозиції систем теплопостачання (кластеризація обраної території з урахуванням таких показників як площа, густина попиту на енергію, тощо).
- Виконання порівняння можливих сценаріїв впровадження РГ, враховуючи конкретні особливості різних РГ, залучених у систему енергопостачання.

Вибір можливих варіантів електро- та теплопостачання здійснюється шляхом проведення комплексного аналізу сценаріїв (альтернатив) енергозабезпечення визначеної території на основі РГ-ВДЕ та РГ-НВВ, а також за рахунок існуючих систем енергозабезпечення. Вибір оптимального варіанту здійснюється комплексним аналізом альтернатив з застосуванням різних критеріїв (технічних, фінансових, екологічних) та використанням технології риск-менеджменту.

Розрахунки для окремих мікрорайонів міст України довели, що значна кількість існуючих ТЕЦ та котельень можуть бути замінені мікросистемою на базі РЕС, здатною гнучко реагувати на потреби споживачів. Використання джерел РГ доцільне тоді, коли можна досягти економічних переваг порівняно з роботою традиційних систем. Ринкові відносини в енергетиці дають можливість споживачам обирати, за рахунок яких джерел задовольняти свої потреби найбільш оптимальним чином. У загальному випадку розосереджена генерація характеризується високою надійністю і якістю енергії, що постачається (або енергетичних послуг), економічною привабливістю як для споживачів, так і для розподільчих компаній, екологічною чистотою. Природно, що кожний з використовуваних технологій властиві свої особливості, що і визначає їх основні сфери застосування.

Smart grids «РОЗУМНІ МЕРЕЖІ» енергозабезпечення є технологічним об'єднуючим засобом у системах енергетики сталого розвитку.

Інтелектуальна інфраструктура Smart Grid передбачає безліч енергетичних послуг, ринки, інтегровані розподілені енергетичні ресурси і програми управління.

Основними компонентами Smart Grid є:

- інтелектуальна вимірювальна система;
- автоматизований розподіл електричної енергії і управління збоями;
- автоматизація підстанцій і розподільчих мереж;
- управління активами підприємства.

Нова ідеологія побудови і функціонування електричних мереж, звичайно ж, потребує більших інвестицій, повинна реалізовуватися послідовно, але одночасно за декількома паралельними і ретельно скоординованими напрямками, які включають:

- розвиток нових альтернативних і традиційних технологій генерації і акумулювання енергії;
- удосконалювання структури і методів управління діючими електричними мережами з урахуванням широкої інтеграції в них джерел розосередженої генерації;
- створення і впровадження нових комунікаційних технологій для багатобічного обміну інформацією між виробниками електроенергії, розподільчими компаніями і споживачами:
- так звану, удосконалену інфраструктуру вимірів - Advanced Metering Infrastructure (AMI), WEB і BPL - PLC технології;
- розробку принципово нових технічних і програмних засобів захисту і автоматизації електричних мереж;
- удосконалення регуляторної і тарифної політики в напрямку реалізації операцій купівлі - продажу енергії і інших видів сервісу в реальному часі;
- реформування енергоринку з метою його подальшої лібералізації.

Реалізація зазначених етапів трансформації енергетичного сектора вимагає постановки і рішення великої групи технічних, економічних, організаційних завдань, більшість з яких раніше у світовій практиці майже не розглядалися [9].

В новій ситуації тисячі або мільйони користувачів будуть власниками своїх особистих генераторів, при цьому одночасно стаючи виробниками та споживачами електроенергії. При цьому недостатня пропускна спроможність місцевих систем електропередач спричиняє потребу великих витрат на модернізацію ліній передачі та трансформаторів і вказує на потенційну цінність малих, розосереджених генераторів. Виробляючи деяку кількість енергії в межах місцевої мережі, малі генератори можуть знизити навантаження на обладнання систем електропередачі. Всі ці генератори будуть поєднані між собою завдяки повністю інтерактивній розумній електричній мережі. Ця революція буде потребувати ретельного контролю та комунікаційних технологій для забезпечення досконалої експлуатації електричних мереж, заснування нових моделей для енергетичного розподілення, а також розвитку удосконалених технологій енергетичного акумулювання, пристроїв силової електроніки та надпровідникових пристроїв.

Тому кінцевим результатом повинно бути створення інтерактивної електричної мережі, призначеної для надання комплексу різнопланових енергетичних послуг. Окремі генеруючі джерела або мікросистеми, інтегровані в мережі централізованого електропостачання, зможуть працювати ізольовано, разом з енергосистемою, представляти обертаючий резерв і т.п. При цьому конкретний режим їхньої роботи повинен визначатися оперативними вимогами енергоринку. За такою архітектурою системи споживачі з власними джерелами генерації і акумулювання енергії або потенціалу управління навантаженням також розглядаються як активні елементи процесу енергозабезпечення.

Більшість джерел розосередженої генерації та РЕС приєднуються до електричних мереж через перетворювальні пристрої. Завдяки цьому мікросистеми відносно споживачів набувають потенціал підвищення надійності, регулювання реактивної потужності, фільтрації вищих гармонік, усунення коливальних і несиметричних напруг. Більш того, інтелектуалізація мереж надасть можливість реалізувати функції автоматичного виявлення ушкоджень, їхньої локалізації, ізоляції і відновлення електропостачання. Це дозволить у майбутньому зробити мережі самокерованими і самовідновлюваними. Економічність їхнього керування буде досягатися за рахунок можливості комплексного впливу на параметри режиму. Наприклад, регулювання напруги крім використання традиційних засобів може бути реалізоване шляхом зміни генерації активної або реактивної потужності, впливом на засоби акумулювання енергії, керуванням ЕН. Основою керування SmartGrid є інтелектуальна розподільча система менеджменту (Smart Distribution Management System - SDMS).

Підвищення енергоефективності вимагає істотного прискорення процесів автоматизації обліку споживання електричної енергії, в перспективі повного виключення ручного знімання показів лічильників. Більше того, заміна систем автоматичного зчитування показів вимірювального приладу (AMR) на вдосконалену інфраструктуру вимірів АМІ дозволить розширити функціональні можливості системи за допомогою використання загальних апаратних засобів і єдиної архітектури програмного забезпечення, здатних збирати дані і передавати їх іншим системам. Крім цього, зазначена технологія також буде використовуватись для пересилання інформації через мережу у зворотному напрямку, тобто до вимірювальних приладів для ініціювання збору додаткових даних, контролю стану електроустаткування, оновлення математичного забезпечення.

Сучасні лічильники електричної енергії, засоби передачі даних і управління, що дозволяють передавати результати вимірювань та інтелектуалізувати управління в режимі реального часу, стають стандартними елементами архітектури Smart grids «Розумних мереж» енергозабезпечення.

Впровадження Smart Grids технологій вимагає більш високого рівня функціональних можливостей вимірювальної системи і перетворення системи AMR в інтелектуальну вимірювальну систему АМІ, яка забезпечує:

- зацікавленість і включення споживача у вдосконалення технології Smart Grid за допомогою стійкого зв'язку між споживачами і електричними мережами;
- моніторинг результатів генерації, розподілу і споживання електричної енергії, включаючи результати управління режимами за допомогою АМІ технологій;
- можливість формування прийнятних ринкових цін за допомогою формування цінових сигналів постачальниками; підвищення довіри споживачів, підключених до електричної мережі, залучення їх в активну участь в управлінні ЕН, що сприяє формуванню рівномірності добового навантаження в ОЕС і також впливає на зниження ціни на електричну енергію;
- можливість більш швидкої і точної діагностики і оперативності надання інформації під час ліквідації аварійних відключень устаткування і систем управління, локалізації помилок;
- підвищення надійності, швидкодії і функціональної можливості операційного устаткування і програмних додатків за рахунок упровадження різних комунікаційних засобів і інфраструктури розподілу і постачання електричної енергії;
- забезпечення уточнених і своєчасних даних для упровадження управління активами і експлуатаційними витратами підприємств.

Вимірювальні системи АМІ повинні бути обладнані функціями моніторингу якості електричної енергії, прийнятими для подальшої швидкої індикації, діагностики і рішення проблем її забезпечення.

Інформаційна база АМІ повинна бути прийнятною для безлічі операційних моделей, що зменшують несанкціоноване упровадження в роботу електричних мереж.

Передбачається вдосконалення комунікаційної інфраструктури, системи управління збором даних, операційних шлюзів, тощо.

Системи енергетичного менеджменту є інституціональним об'єднуючим засобом під час створення енергетики сталого розвитку. Крім іншого, такі системи включають широке впровадження методів інтегрованого ресурсного планування в енергетиці, розвиток методів управління ЕН і кінцевими споживачами електричної енергії. Саме за допомогою впровадження енергетичного менеджменту передбачається досягнення цілей, направлених на ефективне рішення наведених вище технологічних завдань в загальній проблемі енергозбереження та побудові енергетики сталого розвитку. Тому, розвиток енергетичного менеджменту на всіх рівнях народного господарства, створення систем енергетичного менеджменту в промисловості і інших секторах використання енергії є важливою складовою організаційного розвитку енергетики України в майбутньому [11].

Наведемо основні наукові напрями в рамках енергетики сталого розвитку, які розробляються та/або впроваджуються в теперішній час:

1. Розробка концепції та стратегії енергозбереження на коротко-середньострокову перспективу.
2. Формування енергетики сталого розвитку.
3. Розробка плану адаптації енергетики України до нової платформи енергозабезпечення ЄС (Smart Grids) .
4. Розробка та впровадження проектів з заміщення газу: «Модернізація електро- та теплопостачання міст на базі розосередженої генерації, включаючи поновлювані джерела енергії».
5. Розробка та впровадження проектів з заміщення газу за рахунок теплоакумулятивного електроопалення.
6. Створення місцевих станцій енергозабезпечення на базі розосередженої генерації, включаючи відновлювані джерела енергії.
7. Створення еко-енергоефективних та Smart будинків.
8. Розробка та впровадження методів і технічних засобів управління режимами енергоспоживання та їх контролю.
9. Розробка методів контролю та нормалізації енергоспоживання.
10. Розробка та впровадження методів та систем енергозберігаючого комплексного управління режимами електропостачальних систем промислових об'єктів (активною та реактивною потужностями, напругою).
11. Розробка та впровадження в Україні систем диференційованих тарифів на електричну енергію.
12. Розробка та впровадження систем контролю енергоносіїв, у тому числі контролю витрат теплової енергії, газу, води, мазуту та ін.
13. Розробка методичних документів щодо обліку електроенергії в умовах енергоринку, енергоаудиту промислових підприємств.
14. Розробка та впровадження систем енергетичного менеджменту.

Література

1. Праховник А. В. Функционально - ориентированная оптимизация режимов электропотребления. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. – Киев: КПИ, 1981. – 196 с.
2. Праховник А. В. Управление электропотреблением (концепция, методы и средства) // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1990. – Том 36. – С. 5-16.
3. Праховник А. В. Управління використанням електричної енергії: стан і шляхи розв'язання проблеми / А.В. Праховник, Д. М. Федосенко // Технічна електродинаміка. Тематич. випуск: проблеми сучасної електротехніки, Ч. 1. – Київ: 2004. – С. 22-28.
4. Розен В. П. Математическая модель управления электропотреблением. / В. П. Розен, Н. В. Прокопец // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2004. – № 6. – С. 22–26 .
5. Праховник А. В. Оптимальное управление электропотреблением при магистральной транспортировке нефти / А. В. Праховник, Н. В. Прокопец // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2008. – № 4. – С. 50–55 .
6. Цаплін В. І. Ринок двосторонніх договорів та балансуючий ринок. Принципи функціонування. Матеріали науково-практичної конференції «Реформування ринку електричної енергії України – перехід до ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку». – Київ, 29 вересня 2008 року.

7. Праховник А. В., Методологія керування режимами електроспоживання в умовах енергоринку / А. В. Праховник, О. В. Коцар // Авторське право на службовий твір № 29916 від 05.06.2009р. – 16 с.
8. European SmartGrids Technology Platform / European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006, 44 pp.
9. Праховник А. В. Энергетика устойчивого развития регионов / А. В. Праховник, В. А. Попов, Е. Н. Иншеков, А. В. Волошко // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». Київ, НТУУ"КПІ". – 2008. – № 2. – С. 3-9.
10. Праховник А. В. Интеллектуальный энергоефективный экобудинок – як складна цілісна система / А. В. Праховник, А. М. Ковальчук, Т. В. Алексеєнко // Енергетика та електроніка. – 2007. – № 15. – С. 7.
11. Праховник А. В. Сучасні тенденції розвитку енергетичного менеджменту: від історії створення до міжнародних стандартів / А.В. Праховник, Є.М.Іншеков // Новини енергетики . – 2008. – № 9.
12. Праховник А. В. Модель інтеграції децентралізованої генерації в енергетичну систему на найвищому рівні ієрархії управління / А. В. Праховник, В. А. Попов, О. В. Кулик // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». Київ, НТУУ"КПІ". – 2006. – №1. – С. 101-109.
13. Праховник А. В. Методологія розробки стратегії розвитку маневрених електричних потужностей в Об'єднаній енергосистемі України / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, В. А. Попов, В. В.Прокопенко, Н. А. Васильцева, О. В.Кулик, О. В. Бориченко. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 23205 від 20.12.2007 р.
14. Обґрунтування нової стратегії та алгоритмів формування інтегрованих систем енергопостачання для забезпечення сталого розвитку територіальних громад / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір №30218 від 02.07.2009. /Праховник А.В., Попов В.А., Ковальчук А.М., Демиденко С. К., Савченко А.С.

ДО 90-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ В.М. ВІНОСЛАВСЬКОГО

Рябенко І.С., к.т.н., доц.

14 січня 2010 року виповнюється 90 років з дня народження Заслуженого працівника вищої школи УРСР, Лауреата Державної премії України, професора **Винославського Василя Миколайовича**, який протягом довгих років був деканом гірничого та факультету гірничої електромеханіки і автоматики Київського політехнічного інституту (27 років) та завідувачем кафедри (35 років).

Василь Миколайович народився у 1920 році на чудовій українській землі в селі Лука-Барська Барського району на Вінниччині. Тут пройшло його дитинство. Він любив цю землю, регулярно навідувався до рідного дому, з захопленням розповідав про неї колегам по роботі, при нагоді запрошував своїх колег до рідного села, з любов'ю показував околиці села та пам'ятні місця дитинства.

Він рано, в 14 років починає працювати в автоколоні «Дорбуд» в м. Києві, з 1935 по 1938 роки навчається в середній школі № 73 м. Києва, після закінчення якої вступає до Київського політехнічного інституту студентом електротехнічного факультету за спеціальністю « Електричні мережі та системи».

В зв'язку з нападом фашистської Німеччини на Радянський союз в 1941 році він добровільно пішов на фронт на захист Вітчизни. В 1941-1942 роках він являється слухачем військового факультету зв'язку Червоної Армії в м. Ташкенті. Після закінчення військового факультету молодий офіцер Радянської Армії направляється на фронт начальником зв'язку 1368 зенітного артилерійського полку 25-ї дивізії Центрального фронту. В 1943 році йому довелося прийняти участь в суворій важкій битві під Понирями на Курській дузі. Нажаль, в цій битві Василь Миколайович був тяжко поранений і попав у військовий шпиталь.

Після одужання в 1944 році капітан Радянської Армії Винославський Василь Миколайович був демобілізований у зв'язку з тяжким пораненням , він повертається у свій рідний Київський політехнічний інститут студентом, із відзнакою його закінчує в 1946 році.

Після закінчення інституту його зараховують асистентом кафедри електричних мереж та техніки високих напруг. Крім педагогічної роботи в цей період (1946-1948рр.) він виконує велику і відповідальну громадську роботу, працює секретарем комітету комсомолу КПП та членом партійного комітету КПП.

В період 1948-1952рр він являється аспірантом кафедри електричних мереж, після закінчення аспірантури в 1952 році захищає дисертацію з присвоєнням ступеню кандидат технічних наук.

Ще будучи аспірантом Василь Миколайович разом з Рибченко П.Ф. направляється для роботи на кафедрі гірничої електромеханіки недавно створеного гірничого факультету. Вони активно включились в навчальний процес, виконали значну роботу з постановки спеціальних дисциплін електротехнічного напрямку та створення відповідної лабораторії, в підготовці навчально-методичного забезпечення дисциплін для підготовки фахівців за прискореною програмою (2,5 роки), що розпочалася в цей час.

В 1953 році він отримує звання доцента та призначається на посаду доцента кафедри гірничої електромеханіки, а з 1954 року як завідувач кафедри очолює цю кафедру до 1988 року. За ці роки кафедра тричі змінювала назву: електрифікації та автоматизації гірничих робіт, електропостачання гірничих підприємств, а потім і до тепер електропостачання.

На кафедрі значно активізується наукова робота , проводяться інтенсивно наукові дослідження з регулювання напруги в електричних мережах, удосконалення систем електропостачання шахт, розроблення спеціальних трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням , розробки пускових агрегатів для електросвердел та ін.

На кафедрі працює науково-дослідна група, що проводить наукові дослідження на

замовлення Конотопського заводу «Красний металіст», комбінатів «Укрзахідвугілля», «Укрбурвугілля» та ін. В цей період на кафедрі зароджується школа електропостачання підприємств, яка пізніше стала відомою на терені СРСР.

З 1955 року Винославський В.М. виконує обов'язки заступника декана, а в 1958 році призначається деканом гірничого факультету і працює ним з урахуванням структурних змін до 1988 року (гірничий, автоматики та приладобудування, гірничої електромеханіки та автоматики).

Для Василя Миколайовича завжди характерним був творчий підхід до виконуваних обов'язків з врахуванням актуальності проблем які є нагальними на часі. Так за його ініціативою в 1959 році із числа студентів груп гірничих електромеханіків почалась підготовка фахівців за спеціальністю «Автоматизація і комплексна механізація гірничої промисловості», випуск якої відбувся уперше в СРСР в червні 1961 року. Значна частина випускників цього випуску в подальшому отримала наукові ступені та звання. Під керівництвом Винославського В.М. для нової спеціальності вперше в країні були розроблені навчальні плани, програми дисциплін електромеханічної, електротехнічної підготовки та з автоматизації. Авторський колектив кафедри (Винославський В.М., Рибченко П.Ф., Попович М.Г., Полянський М.О., Данильчук Г.І.) підготував та вперше в країні видав навчальний посібник «Автоматизація виробничих процесів вугільних шахт». В 1964 році спеціальність «Автоматизація і комплексна механізація гірничої промисловості» перейменовано на спеціальність «Електрифікація і автоматизація гірничих робіт» із відповідною зміною назви кафедри.

Будучи завідувачем кафедри, деканом, та враховуючи недоліки кадрів на факультеті, залучення значної кількості викладачів із проектних, наукових організацій, Академії наук Василь Миколайович проводив значну роботу з підготовки та омолодження складу науково-педагогічних кадрів високої кваліфікації, залучення до педагогічної роботи випускників факультету.

На кафедру гірничої електромеханіки ще в 50-ті роки прийшли випускники Полянський М.О., Подаревський В.Б., Данильчук Г.І., Яснопольський В.В., Попович М.Г., Карпов С.Н., Язев В.Л., Рябенко І.С., Соловей О.І., Борисюк М.Г., пізніше, це Лепорський В.Д., Скриль В.Ф., Праховник А.В., Кононцов В.М., Пашук В.Я., Голота А.Д., Шевчук С.П., Шульга Ю.І., Лісовський В.С., Алтухов Є.І., Печеник М.В., Прокопенко В.В., Несен Л.І. та інші.

Ця тенденція продовжувалась протягом всього часу роботи Василя Миколайовича. Ним особисто було підготовлено 34 кандидати наук за його активної допомоги захищено 5 докторських дисертацій.

У 1972 році він затверджений в ученому званні – професор. За високі досягнення у підготовці фахівців в 1974 році професор Винославський В.М. одержує почесне звання «Заслужений працівник вищої школи України». Під його керівництвом на кафедрі створена наукова школа з питань електропостачання, визнана як в Україні так і за її межами. На кафедрі досліджувалися проблеми створення засобів регулювання напруги, оптимізації режимів електропостачання, систем електропостачання гірничих підприємств, апаратів бездугової комутації, розроблені підсистеми «Електропостачання» в системах АСУП для великих промислових об'єднань Білорусії та Уралу. Кафедра проводила дослідження і співпрацювала з виробничими об'єднаннями «Укрзахідвугілля», «Білорускалій», «Уралазбест», Київським інститутом автоматики», УкрНДПроект, ВНДІВЕ, МакНДУ, Конотопським заводом «Красний Металіст» та іншими.

Кафедра підтримувала тісні зв'язки зі спорідненими кафедрами інших навчальних закладів СРСР: Московського, Свердловського, Дніпропетровського гірничих інститутів, Донецького, Тбіліського політехнічних, Криворізького гірничорудного, Комунарського гірничо-металургійного інституту та ін.

Василь Миколайович підтримував ділові та особисті стосунки з видучими вченими цих навчальних закладів. Між кафедрами факультету та цих навчальних закладів склалися сталі форми співробітництва, що допомагали у проведенні наукових досліджень, удосконаленню навчального процесу узгодженню навчальних планів та програм, обміну досвідом роботи, проводились спільні: семінари, конференції тощо.

В 70-ті роки за ініціативою Винославського В.М., успішно розвивається наукове та навчальне співробітництво кафедр факультету із зарубіжними вузами. Особливо успішно в цьому плані працювала кафедра електропостачання з Вроцлавською політехнікою, Лейпцігською вищою технічною школою, з Вісмарською вищою школою, проводились сумісні наукові дослідження, конференції, обмін досвідом в навчальному процесі, читання лекцій, здійснення обміну практикою студентів, публікуються спільні результати досліджень, розробляються та захищаються ряд кандидатських дисертацій, підготовлюються три навчальні посібники та видаються як російською, так і німецькою мовами з відповідними грифами міністерств освіти.

Визнанням успіху кафедр факультету у справі підготовки спеціалістів було також те, що протягом багатьох років професор В.М. Винославський очолював гірничу секцію науково-технічної ради Мінвузу України, був членом президії навчально-методичної ради з гірничої освіти СРСР. Очолюючи гірничу секцію Василь Миколайович багато уваги приділяє вдосконаленню навчального процесу при підготовці фахівців для гірничо-добувної промисловості, узгодженню та покращенню навчальних планів та програм дисциплін, що читаються в гірничих вузах України. Він регулярно практикує виїзні відкриті засідання секцій в гірничих вузах України, на яких ведеться обмін досвідом підготовки фахівців, обговорюються проблеми гірничої освіти, вивчається стан освіти, та матеріальне забезпечення навчального процесу в конкретних вузах відбуваються зустрічі членів секції з професорсько-викладацьким колективом приймаючого вузу.

Особливою заслугою Винославського В.М. є організація роботи по створенні нової матеріально – технічної бази факультету. В період 1963 – 1966 років, коли кафедри гірничого факультету були переведенні на факультет автоматики та приладобудування, було втрачено значну частину кадрового складу кафедр та лабораторної бази, відчувався гострий дефіцит приміщень. Завдяки зусиллям колективу кафедр, з особистої ініціативи Винославського В.М. було знайдено підтримку ректора та Вченої ради КПП у відновленні факультету як факультету гірничої електромеханіки та автоматики. Радою Міністрів України були прийнято рішення про фінансування будівництва корпусу факультету та гуртожитку для студентів з фінансування за рахунок переважно Мінвуглепрому та Мінпромбудматеріалів.

Під керівництвом декана факультету Винославського В.М. була проведена велика організаційна робота по проектуванню, будівництву та одержанню інвестицій на будівництво. В 1974 році будівництво навчального корпусу факультету та гуртожитку було закінчено. У корпусі розташовано та оснащено новими меблями велику кількість приміщень, аудиторій, кафедр, лабораторій, допоміжних підрозділів та інше. Розширені зв'язки кафедр з підприємствами, підтримка зв'язків з випускниками дали змогу отримати нове гірниче обладнання, електрообладнання, необхідну вимірювальну та обчислювальну техніку.

Корпус факультету № 22 (нині Інституту енергозбереження та енергоменеджменту) є дійсною пам'яткою всьому колективу факультету того часу та особисто декану факультету професору Винославському В.М., пам'ятна дошка якого зустрічає нас на вході в корпус.

Працюючи на посадах завідувача кафедри і декана факультету професор В.М. Винославський був головою ради із захисту дисертацій, головою гірничої секції республіканського будинку економічної та науково-технічної пропаганди, членом науково-технічної ради інституту «Автоматвуглерудпром».

Останні роки свого життя (з 1988 по 1992 рр.) Василь Миколайович працював професором кафедри електропостачання, на факультеті електроенергетики та автоматики.

Учасник Великої Вітчизняної війни, інвалід війни, професор Винославський В.М. за бойові дії та трудові досягнення нагороджений орденами Пошани, Жовтневої Революції, Вітчизняної Війни першого ступеня, 11 медалями В.М. Винославський викладав дисципліни: «Електропостачання підприємств», «Підстанції і мережі», «Вступ до спеціальності» та ін. Ним опубліковано 126 наукових робіт, зокрема монографія «Расчёт электрических распределительных сетей», чотири навчальні видання з грифом Мінвузу України в 2005 році Василь Миколайович за підручник «Переходные процессы в системах электроснабжения» отримав (посмертно) звання лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки (Авторський колектив: В.М. Винославський, Г.Г. Пивняк, Л.І. Несен, А.Я. Рибалко, В.В. Прокопенко).

На завершення слід відмітити, що успіхи колективів кафедри та факультету, які очолював професор Винославський В.М, були обумовлені не тільки його високим професіоналізмом, а його людськими якостями, створенням в колективі творчих, робочих, дружніх, доброзичливих стосунків. Йому були властиві людяність, справедливість, відкритість, сердечність, висока внутрішня культура, чуйність, небайдужість до людей, які працюють поряд, турбота про них. Він був мудрою людиною, умів чути людей, був уважний до чужої думки, для нього було характерним відчуття реальності. Не чужою була вимогливість як до співробітників факультету, так і до студентів, в той же час він не любив читати нотації, докоряти по пустяках, він звертався до совісті, боячись їх образити контролював кожне своє слово. Його любили студенти за його відношення до них, з любов'ю вони називали його «Папа Вася». Не дивлячись на те, що йому як інваліду не легко було, він був оптимістом, ні коли не скаржився на своє здоров'я, був прикладом для співробітників. Він жив за принципом: жити, мріяти, любити, бути оптимістом, робити людям добро. Пройшло 17 років, як Василя Миколайовича немає поряд з нами, але не випадково на всіх урочистих заходах в інституті ІЕЕ його згадують з теплотою.

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ДРОБИЛЬНО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ ВАТ «ПІВНГЗК»

О.О. ХАРИТОНОВ, Криворізький технічний університет, Кривий Ріг, Україна

Анализ энергетических режимов работы предприятия и основного технологического оборудования с целью выявления и обоснования путей снижения энергопотребления основными цехами ОАО „СевГОК”, необходимый для оптимизации режимов работы электроустановок и снижения платежей за электроэнергию.

Аналіз енергетичних режимів роботи підприємства і основного технологічного встаткування з метою виявлення та обґрунтування шляхів зниження енергоспоживання основними цехами ВАТ „ПівнГЗК”, необхідних для оптимізації режимів роботи електроустановок і зниження платежів за електроенергію.

The analysis of power operating modes of the enterprise and the basic process equipment for the purpose of revealing and a substantiation of ways of decrease in power consumption by Open Society "Northern mountain-concentrating industrial complex" (Severnii GOK) producing departments, necessary for optimisation of operating modes of electroinstallations and decrease in payments for the electric power.

1. Аналіз електроенергетичного балансу технологічного процесу збагачення руди

Електроенергетичний баланс технологічного процесу збагачення руди – один з можливих способів дослідження споживання електроенергії цим процесом з метою підвищення ефективності її використання.

Аналіз електроенергетичного балансу показує, що для РЗФ-1 найбільш енергоємними операціями є (див. таблицю 1) процеси подрібнення, дроблення, транспортування руди і концентрату конвеєрами і перекачування пульпи насосами, сумарна частка витрати електроенергії якими досягає 80-90% від загального споживання по фабриці.

Таблиця 1 – Електроенергетичний баланс технологічного процесу збагачення руди (по питомому споживанню енергії)

Операція	Енергоємність, %
Подрібнення	63,8
Транспортування пульпи	21,3
Класифікація	0,05
Сепарація	1,6
Обезводнення	1,9
Грохочення	0,1
Дроблення	4,7
Конвеєрний транспорт	4,4
Освітлення	0,15

Найбільш енергоємною є технологічна операція в процесі збагачення руди – подрібнення. Частка електроенергії, що витрачається на подрібнення, складає 50-60% і є визначальною в загальному споживанні електроенергії секцією збагачення руди. Тому при аналізі споживання електроенергії з метою підвищення ефективності її використання окремими секціями збагачення руди і РЗФ в цілому в першу чергу необхідно приділити увагу операції подрібнення, виявити і проаналізувати взаємозв'язки між енергетикою і технологією цієї операції в конкретних виробничих умовах РЗФ. Огляд робіт, присвячених аналізу споживання електроенергії окремими механізмами і

технологічними секціями РЗФ в цілому і підвищенню ефективності її використання, показує, що ця проблема вельми складна, і дозволяє зробити наступний висновок:

1. Закономірності споживання електроенергії окремими технологічними агрегатами, механізмами і секцією в цілому виявлені не повною мірою. Ряд цих закономірностей представлений у формі енергетичних характеристик (одержаних експериментально-статистичними методами) окремих агрегатів і машин з електроприводом і технологічних секцій. Проте енергетичні характеристики механізмів часто описують споживання електроенергії вельми узагальнено. Це, Звісно, обмежує можливості їх застосування для виявлення методів ефективного використання електроенергії механізмами.

2. Оптимальні (по продуктивності агрегатів і механізмів) значення найважливіших технологічних чинників, що визначають енерговитрати на збагачення руди, не виявлені. Методи їх пошуку у виробничих умовах РЗФ не розроблені.

Таким чином, завдання економного витрачання електроенергії і підвищення ефективності її використання на РЗФ вельми актуальне і складне.

Процес подрібнення по енергоємності в три рази перевищує процес по транспортуванню пульпи і в десятки разів решту процесів, тобто є найбільш енергоємним. Оскільки кульові млини - найбільш енергоємні агрегати, оптимізація режиму їх роботи є найважливішим засобом економії і підвищення ефективності використання електроенергії. Тому необхідно основну увагу приділити вибору раціонального режиму роботи кульових млинів, тобто встановити, за яких умов кульові млини працюють з максимальною продуктивністю.

2. Перелік заходів спрямованих на зниження електроспоживання дробильно-збагачувальним комплексом ВАТ «ПівніЗК»

1) Аналіз електроенергетичного балансу показує, що найбільше доцільно підвищувати ефективність використання електроенергії й раціонально її витрачати на досліджуваній РЗФ можливо:

збільшуючи інтенсивність ведення технологічного процесу збагачення руди;

заміняючи приводні електродвигуни деяких механізмів і машин на електродвигуни меншої потужності.

2) Процес здрібнювання по енергоємності в три рази перевищує процес по транспортуванню пульпи й у десятки раз інші процеси, тобто є самим енергоємним. Оскільки кульові млини – найбільш енергоємні агрегати, оптимізація режиму їх роботи є найважливішим засобом економії й підвищення ефективності використання електроенергії.

Тому необхідно основна увага приділити вибору раціонального режиму роботи кульових млинів, тобто встановити, при яких умовах кульові млини працюють із максимальною продуктивністю (по сирій руді).

Максимальна продуктивність залежить від таких факторів:

а) Кульове завантаження млина.

Тому що рівень кульового завантаження ϕ найбільше суттєво впливає на потужність млина P , то уточнення оптимального значення кульового завантаження млина представляє першорядне завдання в розв'язку проблеми підвищення ефективності використання електроенергії на РЗФ (на першій стадії подрібнювання кульове завантаження млинів найчастіше перевищує оптимальне значення $\phi_{\text{опт}}$, що веде до значної перевитрати електроенергії).

б) Частота обертання млина.

Зі збільшенням частоти обертання млина поряд з збільшенням енергетичних витрат збільшується середнє годинна продуктивність млина, але в значно меншому ступені, чим ростуть енергетичні витрати - потік енергії збільшується приблизно в п'ять раз більше, ніж продуктивність.

в) Ступінь здрібнювання залізної руди

Для визначення впливу ступені здрібнювання залізної руди на споживання електроенергії кульовим млином виникає необхідність проведення експериментального дослідження з метою виявлення кількісних закономірностей дії ступені (стадії) подрібнення руди на електроенергетичні показники процесу подрібнення в млинах різних стадій і виводу енергетичних характеристик цих млинів P_j (A_j), що відбивають реальні виробничі умови здрібнювання руди на РЗФ (тут P_j і A_j – потік енергії і продуктивність млина, що працює на j-й стадії подрібнення).

г) Зношування футеровки кульового млина.

Точна кількісна оцінка впливу зношування футеровки млинів, яка приводить до збільшення питомої витрати електроенергії й потоку енергії, на їхні електроенергетичні показники може бути встановлена експериментальним шляхом за досвідченим даними.

3) З метою зниження споживання й підвищення ефективності використання електроенергії РЗФ необхідно забезпечити роботу технологічних секцій у раціональних, енергетично ефективних режимах.

Аналіз споживання електроенергії технологічною секцією, що працює в різних режимах, визначення найбільш раціональних режимів її роботи з порівняно високим ступенем точності зручно й доцільно проводити по спрощених енергетичних характеристиках технологічних секцій: $P_{c.e.}(Ac)$ і $w_{c.e.}(Ac)$, які характеризують споживання електроенергії технологічних секцій як сумарне споживання електроенергії тільки млинами й насосами (індекс «е» означає «енергоємний»).

Щоб підвищити ефективність використання електроенергії технологічною секцією, необхідно встановити закономірності зміни середнєзмінних витрат електроенергії секцією збагачення руди при зміні продуктивності й кульового навантаження й визначити на цій основі найбільш ефективні режими її роботи.

4) Аналіз роботи пульпонасосів показує, що загальний КПД установок у середньому становить 20-30%.

Для насосів перекачувальних продукти флотації, КПД знижується до 10-15%. Низький КПД обумовлений:

- невідповідність характеристик насосів і трубопроводів;
- значна кількість піни в продуктах, що перекачуються;
- поганий стан робочих коліс насосів і трубопроводів.

5) Енергозбереження в умовах дробильно-збагачувального комплексу можна здійснити за допомогою планомірної реалізації комплексу технічних і технологічних заходів, яким повинна передувати оптимізація енергоспоживання інфраструктури технологічного комплексу (ТК) на системному рівні. Її метою є впорядкування енергоспоживання об'єктами ТК, економія спрямованих на оплату за спожиту енергію фондів, яка може бути отримана за рахунок організаційних заходів, а також створення науково обґрунтованих передумов для проведення цілеспрямованих енергетичних обстежень із наступною реалізацією технічних і технологічних заходів щодо енергозбереження.

Енергозбереження на системному рівні (планування планово-запобіжних ремонтів) досягається заміною планового розкладу проведення попереджувальних ремонтних робіт на енергоустаткуванні технологічного комплексу системою планування на базі науково обґрунтованих норм енергоспоживання електромеханічних об'єктів.

Економічний ефект у цьому випадку досягається за рахунок виявлення на підприємстві об'єктів і підрозділів, які споживають енергію нерационально й проведення енергоаудитів у першу чергу на тих об'єктах, на яких є найбільший потенціал енергозбереження.

Висновки

Аналіз електроенергетичного балансу технологічного процесу збагачення руди показав, що найбільш енергоємна технологічна операція в процесі збагачення руди – подрібнення. Частка електроенергії, що витрачається на подрібнення, складає 50-60% і є визначальною в загальному споживанні електроенергії секцією збагачення руди. Тому в першу чергу необхідно приділити увагу операції подрібнення, виявити і проаналізувати взаємозв'язки між енергетикою і технологією цієї операції в конкретних виробничих умовах РЗФ-1.

Література

1. Электроснабжение железорудных горнообогатительных комплексов / В.П. Апенко, П.П. Мирошкин, В.И. Щуцкий и др. - М.: Недра, 1978.
2. Авилов-Карнаухов Б.Н., Зюбровский Л.Г. Экономия электроэнергии на рудообогатительных фабриках. – М.: Недра, 1987. 160 с.
3. О.В.Максимов. Математична статистика. Кр.Ріг: "Мінерал" - 2001.
4. Электроснабжение железорудных горнообогатительных комплексов / В.П. Апенко, П.П. Мирошкин, В.И. Щуцкий и др. - М.: Недра, 1978.
5. Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К. Электрические нагрузки и электропотребление

на горнорудных предприятиях. - М.: Недра, 1971.

6. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. / Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1982.

7. Т.Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление,измельчение и грохочение полезных ископаемых. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Недра, 1980.

8. Справочник по обогащению руд черных металлов / Под ред. Шинкоренко С.Ф. - М.: Недра, 1980.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДАНИХ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ В АСКОЕ В УМОВАХ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ЕНЕРГОРИНКУ УКРАЇНИ

О.В. Коцар, канд.техн.наук, К.О.Павленко, студ.

(Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ»)

Виконані дослідження та доведена необхідність проведення метрологічних досліджень програмного забезпечення (ПЗ) АСКОЕ з метою забезпечення достовірності даних комерційного обліку шляхом ідентифікації ПЗ.

Ключові слова: засіб вимірювальної техніки, ідентифікація, клас ризику, програмне забезпечення, верифікація, валідація.

Выполнены исследования и доказана необходимость проведения метрологических исследований программного обеспечения (ПО) АСКУЭ с целью обеспечения достоверности данных коммерческого учета путем идентификации ПО.

Ключевые слова: средство измерительной техники, идентификация, класс риска, программное обеспечение, верификация, валидация.

Researches are executed and the necessity of conduct metrology researches of ASKUE software with the purpose of providing authenticity of commercial account data by identification software is proved.

Keywords: measuring instruments, identification, risk class, software, verification, validation.

Вступ. Поступовий перехід Оптового ринку електроенергії (ОРЕ) України від моделі ринку «єдиного покупця» (пулу) до ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР) вимагатиме створення інформаційного забезпечення розрахунків за електричну енергію відповідно до правил РДДБР, що має формуватись автоматизованими системами комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Одним з найголовніших завдань застосування АСКОЕ в умовах енергоринку є забезпечення достовірності даних комерційного обліку [1], яке повинне виконуватись в два етапи: метрологічне забезпечення АСКОЕ на всіх етапах їхнього життєвого циклу та верифікація даних комерційного обліку під час застосування АСКОЕ [2].

Мета роботи. Дослідити методи забезпечення достовірності даних комерційного обліку в АСКОЕ, розглянувши перспективні моделі енергоринку України та досвід застосування АСКОЕ в енергоринках країн Європейського Союзу (ЄС), та довести необхідність проведення процедури ідентифікації ПЗ, як одного з етапів забезпечення достовірності даних комерційного обліку електричної енергії в АСКОЕ.

Виклад основного матеріалу. На підставі чинних нормативних документів (НД) України з метрології [3-5] АСКОЕ розглядається як єдиний неділимий засіб вимірювальної техніки (ЗВТ), який виготовляється одиничними зразками і підлягає державній метрологічній атестації (ДМА) на об'єкті автоматизації на етапі впровадження в експлуатацію. Втім такий підхід практично унеможливує подальше вдосконалення та модернізацію АСКОЕ в експлуатації без виконання повторної ДМА, що призводить до суттєвого зниження ефективності застосування АСКОЕ. З іншого боку, без попередніх досліджень під час ДМА практично неможливо достеменно визначити метрологічні характеристики (МХ) АСКОЕ, в першу чергу розподілених, для всіх режимів їхньої експлуатації. Таким чином сьогодні до АСКОЕ в Україні застосовується складна, тривала, і до того ж зовсім недешева процедура – метрологічна атестація, – яка в загальному випадку не дозволяє забезпечити кінцеву мету метрологічних досліджень – визначення границь

довірчого інтервалу розподілу похибок вимірювань електричної енергії із заданою вірогідністю.

Єдиний вихід з цієї ситуації полягає в поділі АСКОЕ на дві функціонально незалежних підсистеми [6]: вимірювальну систему (ВС) та інформаційну систему (ІС). Під час функціонування АСКОЕ ВС здійснює всі вимірювальні операції і формує в завершеному вигляді дані комерційного обліку, які в подальшому зберігаються в розподіленій базі даних (БД) АСКОЕ разом із позначками часу та кодами якості (достовірності) цих даних без можливості їхнього модифікування. Решта АСКОЕ розглядається як ІС, яка вимірювальних операцій не виконує. В процесі функціонування АСКОЕ ІС зчитує з розподіленої БД в завершеному вигляді дані комерційного обліку і піддає їх подальшому обробленню, під час якого похибки результатів визначаються лише похибками похідних даних та додатковими похибками, що привнесені ПЗ ІС.

Для реалізації такого підходу необхідно з загальної структури АСКОЕ [1] (рис.1) виділити рівень, на якому дані комерційного обліку формуються в завершеному вигляді разом із позначками часу та кодами достовірності цих даних. Спираючись на висновки [7], всі вимірювальні операції з обліку електричної енергії виконуються на рівні вимірювальних комплексів та об'єктів обліку. Тому за базовий рівень ВС слід прийняти АСКОЕ об'єкту обліку [1] (рис.1). На цьому рівні завершується процес вимірювання електричної енергії, в т.ч. забезпечується одночасність (синхронність) представлення вимірюваної інформації [1, 8], приведення вимірянних значень до межі балансової належності електричних мереж суб'єктів ОРЕ та визначення параметрів виробітку/споживання електричної потужності (електроенергії). В БД АСКОЕ об'єкту обліку зберігаються синхронно виміряні та приведені до межі балансової належності електричних мереж суб'єктів ОРЕ дані комерційного обліку разом із позначками часу та кодами достовірності цих даних. В подальшому ці дані обробляються, в т.ч. агрегуються, на локальному, регіональному і центральному рівнях розподіленої АСКОЕ [1].

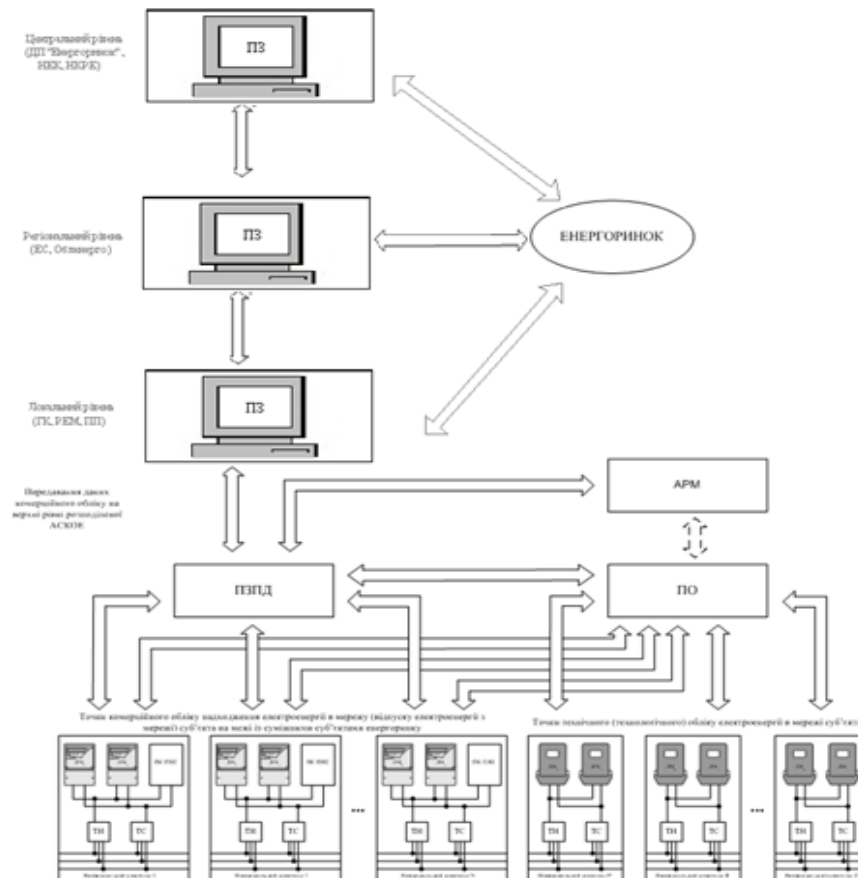


Рис.1. Загальна структура АСКОЕ в умовах енергориноку України

Одним з джерел похибок вимірювань є ПЗ, яке застосовується для оброблення результатів вимірювань на всіх рівнях розподіленої АСКОЕ. За ДСТУ 2681 [9] ПЗ, що застосовується під час вимірювань, відносять до обчислювальної компоненти – сукупності засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення, що виконують обчислювальні операції під час вимірювань, - яка має нормовані МХ. Досвід країн ЄС підтверджує той факт, що ПЗ, яке застосовується під час вимірювань, може привносити додаткову похибку в результати вимірювань, і тому має підлягати метрологічним дослідженням. При цьому робиться висновок, що в окремих випадках МХ такого ПЗ можуть бути визначені (ідентифіковані) тільки на підставі досліджень похідного коду ПЗ.

Вагомим внеском у питання дослідження складової загальної похибки вимірювань електричної потужності (електроенергії), що привноситься ПЗ, стала розробка та затвердження в галузі метрології в країнах ЄС Керівництв Welmes 7.1 [10] та Welmes 7.2 [11], відповідно до яких контроль МХ ПЗ здійснюється за допомогою процедури ідентифікації. Згідно [10] все ПЗ, що застосовується під час вимірювань, поділяється на таке, що підлягає метрологічному контролю (так зване «законодавчо контрольоване» ПЗ), і таке, що не підлягає такому контролю. Відповідно такого розподілу ідентифікація повинна виконуватись лише для ПЗ, що підлягає метрологічному контролю. Це означає, що зміни (вдосконалення, модифікація) частин ПЗ, які не підлягають метрологічному контролю, не вимагатимуть кожного разу проведення складної процедури ДМА, як це робиться в Україні зараз.

Відповідно до [10] кожне ПЗ повинно мати визначений ступінь захисту, ступінь експертизи та ступінь відповідності. Для кожного з цих ступенів існує три рівня: низький, середній та високий. Відповідно до визначених рівнів визначаються класи ризику ПЗ (табл.1).

Таблиця 1 - Результати визначення класів ризику.

В [10, 11] розглядаються дві основні структури ЗВТ:

- вимірювальні прилади з інтегрованим ПЗ - тип Р;
- вимірювальні інформаційні системи (ВІС), що побудовані на базі комп'ютерної техніки – тип U.

Клас Ризику	Захист ПЗ	Експертиза ПЗ	Відповідність ПЗ
A	низький	низький	низький
B	середній	середній	низький
C	середній	середній	середній
D	високий	середній	середній
E	високий	високий	середній
F	високий	високий	високий

Відповідно, [11] містить загальні вимоги до ПЗ всіх типів, а також окремі додаткові вимоги до ПЗ ВІС, в яких передбачені функції тривалого зберігання даних вимірювань – конфігурація L, передавання даних вимірювань інформаційними мережами – конфігурація T, програмного завантаження - D та програмного розподілення даних - S. Вимоги до типів ПЗ та їхніх функцій в [11] подані у вигляді таблиць із зазначенням класів ризиків.

В залежності від класу ризику B, C, D або E (низький, середній і високий рівні захисту, перевірки й відповідності ПЗ) керівництво [11] встановлює три набори вимог:

- вимоги до двох основних конфігурацій ПЗ (інтегроване (P) та автономне (U));
- вимоги до чотирьох конфігурацій, що пропонувані інформаційними технологіями (довгострокове збереження даних (L), передавання даних вимірювань (T), завантаження законодавчо контрольованого ПЗ (D) і програмний поділ (S));
- спеціальні вимоги до ПЗ ЗВТ, на які поширюється [11].

До ЗВТ типу Р, до якого відносяться багатофункціональні електронні лічильники електроенергії, пристрої обліку (ПО) та пристрої збирання і передавання даних (ПЗПД), висуваються вимоги щодо документації, ідентифікації ПЗ, впливу через інтерфейс користувача, комунікаційний інтерфейс, захисту від випадкових чи ненавмисних змін, захисту від навмисних змін і до захисту параметра.

Ідентифікація ПЗ типу Р, що підлягає метрологічному контролю, повинна бути цілісною, пов'язаною з ПЗ безпосередньо. Для класу ризику В при змінах ПЗ нова його ідентифікація потрібна лише, якщо ці зміни призводять до змін ідентифікованих функцій. Для класу ризику С, D внесення будь-якої зміни до ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, вимагає нової ідентифікації ПЗ в цілому. Вплив через інтерфейс користувача, тобто команди, які через нього завантажені, не повинні неприпустимо впливати на законодавчо контрольоване ПЗ і дані вимірювань. В документації обов'язково повинен бути представлений повний перелік всіх команд, опис їхнього призначення та впливу на функції і дані ЗВТ, а для класу ризику D ще й протокол, в якому наведені результати тестування всіх команд. До команд, завантажених через комунікаційний інтерфейс, висуваються такі ж самі вимоги. ПЗ типу Р, що підлягає метрологічному контролю, та дані вимірювань повинні бути захищені від випадкових чи ненавмисних змін. Захист від навмисних змін вимагає, щоб ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, було захищене від неприпустимої модифікації під час завантаження або обміну даними між ЗВТ. Захист параметрів вимагає, щоб параметри, які встановлюють метрологічно затверджені особливості вимірювального приладу, були захищені від несанкціонованого модифікування. Певні зразки параметрів ідентичні для

кожного типу і перебувають у загальній частині програми. Тому до них ставиться ця вимога. Певні затверджені параметри пристрою можуть бути змінені, використовуючи клавіатуру, вимикачі або через інтерфейси, але тільки до того, як вони були затверджені. Індивідуальні для ЗВТ параметри можуть бути змінені тільки після їхнього затвердження.

Іншим типом інструментів є тип U, до якого відносяться АСКОЕ в цілому. Для цього типу може використовуватись будь-яка операційна система. На додаток до застосування ЗВТ, застосування іншого ПЗ може також мати місце в системі в той же самий час. Частини ПЗ, що підлягають метрологічному контролю, не можуть бути самостійно змінені після ідентифікації. Частини, що не підлягають метрологічному контролю, можуть змінюватись без обмежень. До інструментів типу U висуваються такі ж самі набори вимог, як і для типу Р, а ще й додаються вимоги щодо підтвердження достовірності ПЗ та представлення результатів, а також вимоги щодо впливу ПЗ, яке не підлягає метрологічному контролю, на ПЗ, яке підлягає такому контролю. Для класу ризику В ідентифікації підлягають операційна система і драйвери низького рівня, наприклад, відеодрайвер, драйвер принтера, дискові драйвери тощо, але ідентифікація не застосовується для драйверів, спеціально запрограмованих для певного метрологічного завдання. Під час внесення змін до ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, подають відповідний запит до уповноваженого органу (УО). Під УО розуміються органи (організації), уповноважені (акредитовані) у встановленому порядку для проведення робіт з випробувань ЗВТ з метою затвердження їхнього типу, з їхньої перевірки і калібрування і (або) підтвердження їхньої відповідності затвердженому типу (сертифікації). На підставі отриманого запиту УО вирішує, чи необхідна нова спеціальна ідентифікація ПЗ, чи ні? Нова ідентифікація ПЗ потрібна тільки у випадках, коли зміни ПЗ призводять до змін ідентифікованих функцій або характеристик ЗВТ. Ідентифікація може бути застосована до різних рівнів, наприклад, до завершених програм, модулів, функцій і т.д. Для рівня С та D кожна схвалена зміна ідентифікованої програми в кодексі визначена як вірна, а при змінах типу, певних параметрів, вимагається нова ідентифікація ПЗ. Як і для типу Р, при впливі через інтерфейс користувача команди, що завантажені через призначений для користувача інтерфейс, не повинні неприйнятно впливати на ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, і дані вимірювань, а для класу ризику D користувач взагалі не повинен мати можливість завантажувати програми, писати програми або виконувати команди в операційній системі. Команди завантаження через захищені комунікаційні інтерфейси ЗВТ не повинні впливати на ПЗ, що підлягає контролю, і дані вимірювань. Згідно приміток, існує однозначне призначення кожної команди до ініційованої функції або зміни даних, сигнали або кодекси, які не оголошені і не зареєстровані як команди, не мають жодного впливу на функції інструменту і дані. Інтерфейс, який отримує або передає ідентифіковані команди або дані, повинен використовуватися тільки в ПЗ, що підлягає метрологічному контролю. Захист проти випадкових чи ненавмисних змін вимагає забезпечення захисту ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, і даних вимірювань.

Для інструментів типу U ненавмисні зміни можуть статися через:

- хибний проект програми;
- хибне вживання операційної системи;
- випадкове переписування або видалення збережених даних і програм;
- невірне призначення операційних даних вимірювань. Вимірювання та дані, що належать одному процесу вимірювань, не повинні бути змішані із даними інших вимірювань через невірну обробку або збереження;
- фізичні процеси (електромагнітне поле, температура, вібрація, тощо).

Обов'язково треба переконатися в тому, що перезавантаження даних не може відбутися до кінця процесу їхнього збереження, що передбачено і документально підтверджено заводом-виробником. А також в тому, що видається попередження, якщо користувач

збирається видалити дані вимірювань.

Відповідність ПЗ та представлення результатів вимагає використання засобів для гарантування достовірності ПЗ, що підлягає контролю. Повинна гарантуватись достовірність представлених результатів. Не можна несанкціоновано моделювати ідентифіковане ПЗ, використовуючи прості інструменти ПЗ. Представлені результати можуть бути прийняті як такі, що відповідають дійсності, якщо це підтверджено ПЗ, що підлягає метрологічному контролю.

Для типу U вимагається розробка ідентифікованого ПЗ таким чином, щоб інше ПЗ не впливало на нього.

Конфігурація L (довготривале зберігання даних вимірювання) - це розширення до певних вимог інструментів типу P і вимог до інструментів типу U. В [10] описуються вимоги до зберігання даних вимірювань від моменту, коли фізичні вимірювання завершені, до моменту, коли всі процеси ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, завершені. Набір вимог цього розширення застосовується тільки у випадках, якщо існує тривале зберігання результатів вимірювань, і стосується тільки тих даних вимірювань, що підлягають метрологічному контролю. Існує три різних технічних конфігурації для тривалого зберігання:

- інтегроване зберігання: простий інструмент типу P, без використання зовнішніх засобів або засобів для редагування чи зміни даних, комплексної оцінки для зберігання даних або параметрів, наприклад, пам'яті, флеш-пам'яті, жорсткого диска;
- зберігання для універсального комп'ютера: універсальний комп'ютер, графічний інтерфейс користувача, багатозадачна операційна система, завдання, що підлягають і не підлягають контролю, існують паралельно, зберігання може бути видаленим від пристрою, або зміст може бути скопійовано десь всередині або зовні комп'ютера;
- змінне або віддалене (зовнішнє) зберігання: довільне зберігання основних даних (інструмент типу P або U). Вони можуть знаходитися, наприклад, на дискетах, флеш-картах, або на віддалених базах даних, пов'язаних мережею.

Вимоги до конфігурації L повинні застосовуватися на додаток до основних вимог кожного з типів інструментів.

До вимог належать:

- збереження повноти даних;
- захист проти випадкових чи ненавмисних змін;
- цілісність даних;
- конфіденційність ключів;
- пошук збережених даних;
- автоматичне збереження;
- місткість пристрою, що запам'ятовує, та безперервність.

Дані вимірювань, що зберігаються, повинні містити повну інформацію, необхідну для відновлення результатів попереднього вимірювання. Дані вимірювань, що зберігаються, повинні бути захищені проти випадкових і ненавмисних змін. Випадкові зміни даних можуть бути викликані фізичними ефектами. Ненавмисні зміни можуть бути викликані користувачем ЗВТ. Тому допоміжні дані повинні час від часу вилучатися. Повинні використовуватися автоматичні або напівавтоматичні засоби, щоб гарантувати, що видаляються лише неактуальні дані і уникається випадкового видалення "живих" даних. Це особливо важливо в мережевих системах та віддалених пристроях зберігання, де користувачі можуть не розуміти статусу цих даних.

Цілісність даних забезпечується захистом даних вимірювань від навмисних змін. Для класів ризику B, C вимога цілісності відноситься до всіх типів зберігання крім інтегрованого зберігання. Повинен застосовуватись захист проти навмисних змін, виконаних простими загальними інструментами ПЗ. Для класу ризику D вимога цілісності також відноситься до

всіх типів зберігання, крім інтегрованого зберігання, захист повинен застосовуватися від навмисних змін, виконаних складним спеціальним ПЗ. Охорона здійснюється шляхом електронного запису алгоритму, який гарантує, що немає ідентичних підписів результатів з різних наборів даних.

Конфіденційність ключів забезпечується супроводжуваними даними, які необхідно розглядати, як дані, що підлягають контролю, і які повинні триматися в секреті і бути захищеними. Якщо запобігти доступу до секретних ключів, немає необхідності в додаткових засобах захисту ПЗ.

Пошук збережених даних необхідною вимогою ставить те, що ПЗ, яке використовується для того, щоб перевірити збережені набори даних вимірювань, має показувати або друкувати дані, перевіряти дані на зміни, і попереджати, чи відбулася зміна. Якщо є сумнів з приводу правильності посилки або квитанції, повинна забезпечуватись можливість ідентифікування даних вимірювань, збережених для випадку спірного вимірювання, без будь-якої двозначності.

Автоматичне зберігання вимагає, щоб дані вимірювань були автоматично збережені по завершенні вимірювань. Ця вимога відноситься до всіх типів зберігання. Функція зберігання не повинна залежати від рішення оператора.

Місткість і безперервність запам'ятовуючого пристрою вимагає, щоб для тривалого зберігання була можливість прямого призначення. Коли термін зберігання буде завершено, або дані, що зберігаються, буде вилучено із ЗВТ, має бути подано попередження оператору. Мати ЗВТ з достатньою ємністю запам'ятовуючого пристрою є рішенням власника.

Розширення T, тобто передача даних вимірювань комунікаційними мережами, - це розширення до вимог ПЗ основних типів P і U. Воно повинно використовуватися тільки у випадках, коли дані вимірювань передані комунікаційними мережами на віддалений ЗВТ, де вони далі оброблюються та / або використовуються в метрологічних цілях. Це розширення не застосовується, якщо немає жодної подальшої метрологічної обробки цих даних. Якщо ПЗ завантажено до ЗВТ, що підлягає контролю, застосовуються вимоги розширення D. Існує три конфігурації мережі:

- закрита мережа, повністю під метрологічним контролем: тільки певна кількість учасників пов'язана з чіткою індивідуальністю, функціональністю і розташуванням. Всі пристрої підлягають метрологічному контролю;

- закрита мережа, частково метрологічно контрольована: фіксована кількість учасників, з чіткою ідентичністю та місцем розташування, пов'язаним з мережею. Не всі пристрої підлягають контролю, і тому їхні функціональні можливості невідомі;

- відкрита мережа: довільні учасники (пристрої з довільними функціями) можуть з'єднуватися з мережею. Ідентичність та функціональні можливості пристроїв та їхнє місце розташування можуть бути невідомими іншим учасникам.

Завершеність переданих даних вимагає, щоб у процесі передачі даних містилася вся відповідна інформація, необхідна для подання або подальшої обробки результатів вимірювань.

Цілісність даних вимагає, щоб ідентифіковані передані дані були захищеними проти навмисних змін за допомогою інструментів ПЗ. Для класів ризику B, C ця вимога відноситься тільки до відкритих або частково відкритих мереж. Захист повинен застосовуватися проти навмисних змін, виконаних загальними простими інструментами ПЗ. Для класу D ця вимога застосовується до відкритих мереж і до частково закритих мереж при метрологічному контролі. Захист позначений електронним підписом до алгоритму, який гарантує, що підпис не ідентичний для різних наборів даних. Захист повинен застосовуватися проти навмисних змін, виконаних спеціальними складними інструментами ПЗ.

Повинна існувати можливість перевірити достовірність переданих результатів

вимірювань під час прийому даних. В мережі з невідомими учасниками необхідно однозначно ідентифікувати походження переданих даних вимірювань. Достовірність покладається на ідентифікаційний номер набору даних та адресу мережі. В закритій мережі всі учасники відомі, топологія мережі (число учасників) повинна бути встановлена і закріплена підписами.

Оброблення пошкоджених даних вимагає, щоб дані, які ідентифіковані як пошкоджені, не використовувалися в подальших розрахунках.

Затримка передачі не повинна впливати на вимірювання. Придатність послуг передачі вимагає, щоб не були втрачені жодні дані вимірювань, якщо послуги мережі стають недоступними. Користувач не повинен мати можливості затримувати передачу даних вимірювань. Випадкові затримки передачі, які не можуть бути виключені, повинні давати змогу пристрою впоратися з цією ситуацією.

Захист проти випадкових чи ненавмисних змін, а також вимога конфіденційності ключів аналогічні відповідним вимогам розширення L.

Розширення S - поділ ПЗ – це додаткова методологія проекту, яка дозволяє виробнику легко змінювати ПЗ, яке не підлягає метрологічному контролю. Якщо здійснюється розподіл ПЗ, то це розширення потрібно розглянути на додаток до основних вимог для типів P і U. ПЗ, що управляють вимірювальними приладами або системи, взагалі мають складні функціональні можливості і містять модулі, які підлягають і не підлягають контролю. Це вигідно для виробника і ревізора для відокремлення цих програмних модулів системи вимірювання. Існує два варіанта розподілу ПЗ:

- поділ ПЗ здійснюється незалежно від операційної системи в межах прикладної області, тобто, на рівні мови програмування (поділ ПЗ низького рівня). Примітка: Ця особливість здійснення в пристроях типу P і типу U;

- програмні модулі, які будуть відокремлені, реалізуються як незалежні об'єкти в термінах операційної системи (поділ ПЗ високого рівня). Примітка: Цей тип поділу звичайно можливий тільки для типу U.

Реалізація поділу ПЗ визначає, що повинна бути частина ПЗ, яка містить все ПЗ, що підлягає контролю, і параметри, що чітко відокремлені від інших частин ПЗ. У разі низького рівня поділу – це всі одиниці програми (підпрограми, процедури, функції, класи, і т.д.); у випадку поділу високого рівня - всі програми та бібліотеки, які сприяють обчисленню даних вимірювань або впливають на нього, які сприяють допоміжним функціям, наприклад, відображенню даних, безпеки даних, зберігання даних, ідентифікації ПЗ, виконання завантаження ПЗ, передачі даних або зберігання, що належать до ПЗ, яке підлягає метрологічному контролю. Всі змінні, тимчасові файли і параметри, що впливають на результати вимірювань, ідентифіковані функції та дані належать до ПЗ, що підлягає контролю. Компоненти захисного інтерфейсу ПЗ є частиною ПЗ, що підлягає контролю. ПЗ, яке не підлягає контролю, включає одиниці програми, дані або параметри, не зазначені вище. Модифікації до цієї частини дозволені без повідомлення УО, якщо дотримуються наступні вимоги поділу ПЗ.

Визначається, що обмін даними між ПЗ, яке підлягає контролю, і ПЗ, яке не підлягає контролю, повинен бути виконаний через захисний інтерфейс ПЗ, що включає взаємодію і потік даних. Всі взаємодії і потоки даних не повинні неприйнятно впливати на ПЗ, яке підлягає контролю, включаючи динамічну поведінку процесу вимірювань. Повинно бути однозначне призначення кожної команди, відправленої через інтерфейс ПЗ, до ініційованої функції або зміни даних у ПЗ, що підлягає контролю. Кодекси та дані, які не оголошені і зареєстровані як команди, не повинні жодним чином впливати на ПЗ, що підлягає контролю. Інтерфейс повинен бути повністю зареєстрований і будь-яка інша незареєстрована взаємодія або потік даних не повинен бути виявлений ані програмістом ПЗ, що підлягає контролю, ані програмістами ПЗ, що не підлягає контролю. Програмісти відповідальні за дотримання цих

обмежень. Технічно це означає перешкоджання «обходу» інтерфейсу ПЗ. Програмісти захисного інтерфейсу повинні бути проінструковані відносно цієї вимоги.

Розширення D - це розширення, яке повинно використовуватися для завантаження ПЗ, яке підлягає метрологічному контролю. Згідно нього ПЗ може бути завантажено тільки на ЗВТ, які характеризуються наступними властивостями:

- конфігурація апаратних засобів: цільовий пристрій є таким, що підлягає контролю. Це може бути прилад типу Р або прилад типу U. Лінії зв'язку для завантаження можуть бути прямими, по закритій мережі частково або повністю контрольовані, або по відкритій мережі;
- конфігурація ПЗ: можна керувати всім ПЗ цільового пристрою або можливий розподіл ПЗ.

Механізм завантаження та наступної установки ПЗ повинен бути автоматичним і повинен гарантувати захист середовища ПЗ на рівні завершення.

Цілісність завантаженого ПЗ вимагає, щоб гарантувалось, що завантажене ПЗ не було змінено під час завантаження.

Простежуваність завантаження ПЗ, що підлягає контролю, повинна гарантуватися за допомогою відповідних технічних засобів. Ця вимога дозволяє контролюючим органам, які відповідають за метрологічний нагляд за інструментами, фіксувати завантаження ПЗ, що підлягає контролю, протягом достатнього періоду часу, який залежить від законодавства.

Згода завантаження має гарантувати, що ПЗ може бути завантажено за згодою користувача або власника ЗВТ за необхідністю. Після того, як ЗВТ був впроваджений в експлуатацію користувачем або його власником, він несе відповідальність за нього. Ця вимога гарантує, що виробник не може змінити інтегроване до цього ЗВТ ПЗ, що підлягає метрологічному контролю, без згоди власника цього ЗВТ. Засоби, за допомогою яких користувач / власник заявляє про свою згоду, є частиною ПЗ, що підлягає контролю, і повинні бути захищені.

Застосування до ПЗ АСКОЕ процедури ідентифікації відповідно до вимог [10, 11] надасть можливість виконувати ДМА тільки для ВС (рівень АСКОЕ об'єктів обліку). Визначення значень МХ АСКОЕ на верхніх рівнях (локальному, регіональному і центральному) може бути виконано під час ідентифікації ПЗ відповідних рівнів і в подальшому використано під час визначення результируючих похибок ВК АСКОЕ. Втім, ідентифікацію ПЗ АСКОЕ слід розглядати лише як один з етапів забезпечення достовірності даних комерційного обліку. Процес забезпечення достовірності даних комерційного обліку можна вважати завершеним лише в разі запровадження комплексного підходу, який передбачає виконання наступних етапів [12]:

- створення єдиної нормативної бази побудови та функціонування АСКОЕ в Україні;
- запровадження уніфікованих технічних рішень на всіх рівнях розподіленої АСКОЕ ОРЕ України;
- визначення та затвердження процедури ДМА та ідентифікації ПЗ АСКОЕ на етапі впровадження в експлуатацію;
- виконання процедур верифікації та валідації даних комерційного обліку під час експлуатації АСКОЕ.

Виконання вищенаведених етапів дозволить створити передумови для побудови та ефективного застосування розподіленої АСКОЕ ОРЕ України за будь-якої моделі енергоринку.

1. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку України / Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоенергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від 17.04.2000р.

2. Коцар О.В., Павленко К.О. Шляхи забезпечення достовірності даних комерційного обліку в АСКОЕ оптового ринку електричної енергії України // Енергетика. Екологія.

Людина. Науково-технічна конференція – Матеріали, Київ, 28-29.04.2009.

3. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94 ДСЗЄВ
4. МИ 2002-89 ГСИ. Системы измерительные информационные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации.
5. Р 50-080-99 Метрологія. Системи вимірювальні інформаційні. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
6. Праховник А.В., Коцар О.В., Прокопець В.І. Сучасні принципи побудови АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та АСКОЕ споживачів в умовах енергоринку України // Енерг. и электрификация, 2006. - №4 - С.2 - 7.
7. Праховник А.В., Коцар О.В. Визначення обсягів метрологічної атестації під час побудови АСКОЕ суб'єктів ринку електричної енергії України // Український метрологічний журнал, 2009. - №2 - С.15 - 28.
8. Праховник А.В., Коцар О.В. Формування інформаційного забезпечення розрахунків за електричну енергію в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України // Енерг. и электрификация, 2009. - №3 - С.40 - 51.
9. ДСТУ 2681. Метрологія. Терміни та визначення.
10. WELMEC 7.1. Development of software requirements. Informative document. – May, 2005.
11. WELMEC 7.2. Software guide. Measuring directive 2004/22/EC. - May, 2005.
12. Праховник А.В., Коцар О.В. Дослідження та визначення шляхів забезпечення достовірності даних в АСКОЕ // Метрологічне забезпечення обліку електричної енергії в Україні. VII Науково-практична конференція – Матеріали, Київ, 09-10.06.2009.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВЕЙВЛЕТ – ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Волошко А.В., к.т.н., доц.; Лутчин Т.Н., студ.

Рассмотрен метод кластеризации информационных сигналов на основе адаптивного коэффициента отклонения относительно общей выборки значений. В качестве вектора первичных признаков распознавания выбраны значения средней мощности вейвлет – коэффициентов по субполосам.

Введение.

В настоящее время вейвлет – преобразование получило широкое применение для анализа нестационарных информационных сигналов. Целесообразность его использования в электроэнергетике обуславливается тем, что графики электрических нагрузок (ГЭН) носят аперриодический и нелинейный характер. Учитывая, что вейвлет – анализ представляет собой особый тип линейного преобразования информационных сигналов и отображаемых этими сигналами физических данных о процессах и физических свойствах природных сред и объектов, данный метод может быть успешно использован для математической обработки необходимых сигналов. С его помощью можно не только выявить характерные частоты сигнала, но и получить сведения об определенных локальных координатах, при которых проявляются эти частоты [1]. Результатом вейвлет – преобразования являются вейвлет – коэффициенты, которые в дальнейшем поддаются кластеризации, то есть автоматическому разбиению на группы по общему признаку [2]. Иными словами кластеризация представляет собой рациональный способ разложения данных и формирование представительных выборок.

Существующие методы кластерного анализа ГЭН представляют собой классический математический аппарат [3]. Например, для обработки графиков ГЭН часто используется кластеризация с учетом распределения плотности вероятности по нормальному закону. Но этот метод, в отличие от предлагаемого, имеет усложненный алгоритм вычислений и требует дополнительного определения пределов между кластерами. Кроме того, он не четко отображает разные по форме ГЭН. Исходя из того, что электрические сети постоянно изменяются, и при этом часто возрастает количество измеряемых параметров, возникает необходимость усовершенствования методов кластеризации с дальнейшим упрощением алгоритмов и сохраняемых данных.

В данной работе рассматривается метод кластеризации ГЭН на основе адаптивного коэффициента отклонения относительно общей выборки значений. В качестве вектора признаков для кластеризации рассматривается упорядоченная последовательность средних мощностей вейвлет – коэффициентов по субполосам [4].

Постановка задачи.

Вектор признаков кластеризации ГЭН формируется следующим образом (рис. 1). В вейвлет – спектре, сформированном на основе вейвлет – пакетов, усредняется мощность рассчитанных вейвлет – коэффициентов (аппроксимирующих и детализирующих) в пределах каждой субполосы разложения ($k_{m,n}(i)$). Усредненные коэффициенты ($\bar{P}_{m,n}$) нормируются и, в соответствии с их местами в общей пирамиде вейвлет – пакетов (слева – направо и сверху – вниз) [5], преобразуются в вектор признаков кластеризации Y .

Вначале определяется вид закона распределения нормированных коэффициентов вектора признаков. Предполагается, что члены ряда (вектора признаков) независимы друг от друга и носят случайный характер. Для установления закона распределения рассчитываются

основные характеристические параметры ряда – среднее значение (P_{ci}) и среднее отклонение (δ_{ci}). Результаты вычислений приведены на рис. 1. Анализ полученных значений показал, что закон распределения данных вектора признаков является нормальным, что будет учитываться при проведении дальнейших исследований.

Кластеризация на основе адаптивного коэффициента отклонения относительно общей выборки значений

Часто для оценки степени отклонения относительно среднего значения используется коэффициент вариации, который в отличие от среднего квадратичного или стандартного отклонения характеризует не абсолютную, а относительную меру разброса значений признака в статистической зависимости.

При этом использование коэффициента вариации позволяет:

1. сравнить вариацию одного и того же признака разных групп объектов;
2. выявить степень различия одного и того же признака у одной и той же группы объектов в разное время;
3. сопоставить вариацию разных признаков у одних и тех же групп объектов.

Коэффициент вариации определяется как

$$\gamma = \frac{\delta_i}{P_{ci}}. \quad (1)$$

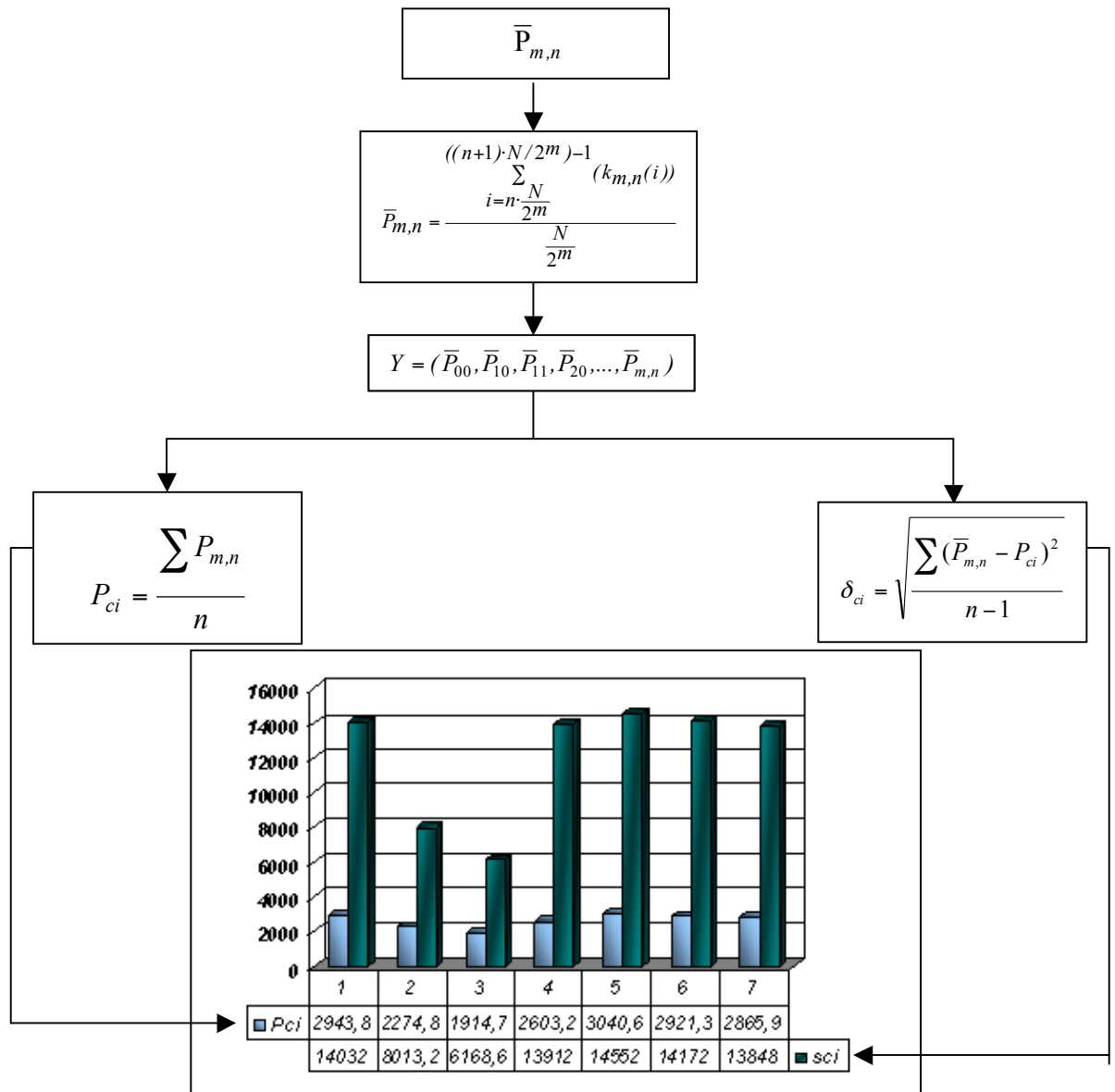


Рисунок 1 – Расчет базисных параметров преобразованных выборок данных

m – шаг разложения;

N – общее количество вейвлет – коэффициентов на m – ом шаге разложения;

n – порядковый номер вейвлет – коэффициента на определенном шаге разложения;

$k_{m,n}$ – значение вейвлет – коэффициента на 5 - ом шаге разложения.

В связи с тем, что коэффициент вариации не в полной мере отображает классовые отличия между ГЭН, как отмечается в публикации [6], с использованием выражения (1) невозможно произвести четкую кластеризацию данных. Более эффективным показателем для кластеризации данных является следующий коэффициент:

$$\beta = \frac{D_i}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n}}, \quad (2)$$

где D_i - дисперсия, которая определяется по выражению

$$D_i = \sum_{i,j=1}^{m,n} (P_{m,n} - \bar{P}_{ci})^2. \quad (3)$$

Результаты вычислений представим графически, проанализировав семь суточных ГЭН

(рис. 2):

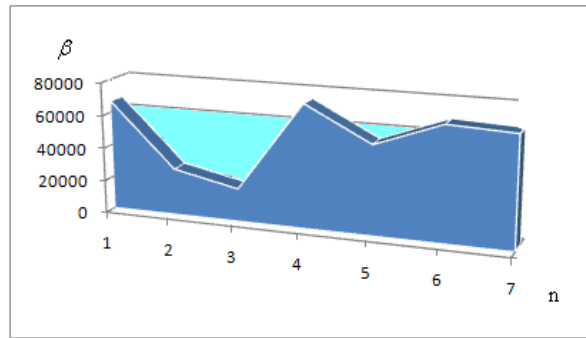


Рисунок 2 – Кластеризация ГЭН по адаптивному коэффициенту степени отклонения относительно всей выборки значений

Как показали результаты проведения кластеризации с учетом адаптивного коэффициента степени отклонения относительно всей выборки значений, формируются две группы вариационных рядов. Полученные группы соответствуют различным видам графиков потребления, а значит и есть решением поставленной задачи. Отнесение к определенной группе производится на основе следующего выражения

$$\beta \leq \beta_{пред} \text{ и } \beta > \beta_{пред}, \quad (4)$$

где $\beta_{пред}$ - граничное значение, которое определяется по формуле

$$\beta_{пред} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D_{\max}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\max}} + \frac{D_{\min}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\min}} \right). \quad (5)$$

$D_{\max}$ и $D_{\min}$ - дисперсии соответственно максимального потребления выходного дня и минимального потребления рабочего дня;

$\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\max}$ и $\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\min}$ - суммы средних значений мощности соответственно максимального потребления выходного дня и минимального потребления рабочего дня.

Для приведенной выборки исходных данных характерны диапазоны отличия. Формирование диапазонов считается завершенным, если определены граничные значения пределов (рис.3).

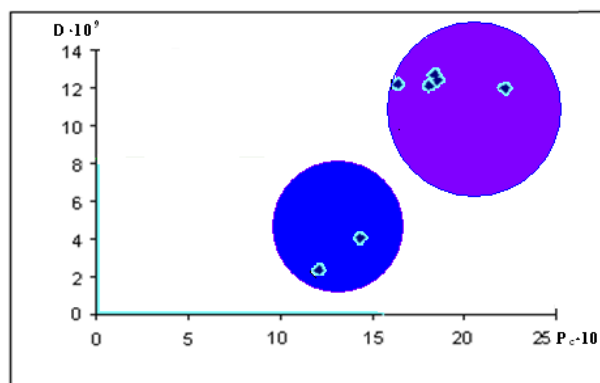


Рисунок 3 – Количественное отношение между дисперсией (D) и суммарными значениями ГЭН (P_c)

Следует отметить, что при определении предельного критерия кластеризации для данного объекта выборка исходных данных должна иметь представительный характер, то есть включать в себя данные для разных периодов потребления (например, зимний и летний

период). Таким образом, рассчитанный предел будет определен оптимально и соответствовать условиям выбора. В случае изменения объемов потребления электроэнергии, полученная точность обеспечит его применимость для дальнейшего использования.

Для определения граничного значения коэффициента $\beta_{пред}$ объем исходных данных зависит от количественного значения устанавливаемой величины ряда и величины отклонения относительно среднего значения. С учетом того, что объем выборки незначителен для оценки степени корреляции рассматриваемых величин применяется формула:

$$r_{P_c D} = \frac{N \sum P_{ci} D_i - \sum P_{ci} \sum D_i}{\sqrt{N \sum P_{ci}^2 - (\sum P_{ci})^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N \sum D_i^2 - (\sum D_i)^2}}. \quad (6)$$

В результате математических действий определяется наличие связи между величинами, полученное значение $r_{P_c D} = -0,12$ соответствует слабой корреляционной связи. Данный результат подтверждает необходимость применения дополнительного показателя, который бы отображал влияние двух рассматриваемых переменных. Проверим обоснованность использования адаптивного коэффициента степени отклонения относительно всей выборки значений.

Изучение аппаратов оценки математической статистики и теории классификации показало, что по результатам кластер – анализа объекты разбиваются на группы [7]. Для осуществления такого анализа необходимо оперировать следующими математическими характеристиками:

- центром кластера z_j ;
- радиусом $\bar{D}_j$.

На первом этапе вычисляется положение центров кластеров:

$$z_{Dj} = \sqrt[N_{Dj}]{\prod_{i=1}^{N_{Dj}} D_i} \text{ и } z_{Pj} = \sqrt[N_{Pj}]{\prod_{i=1}^{N_{Pj}} P_{ci}}, \quad (7)$$

где N_{Dj} и N_{Pj} - соответственно количество значений дисперсий и суммарных средних значений мощности.

В результате центр кластера составляет $z(z_{Pj}; z_{Dj})$.

На втором этапе вычисляется радиус кластера, который соответствует допустимому разбросу значений выборки данных относительно центра кластера таким образом, что бы выполнялось условие кластерного соответствия рассматриваемого ряда. В математическом виде радиус кластера описывается выражением:

$$\bar{D}_j = \sqrt{(\max(D_i - z_{Dj}))^2 + (\max(P_{ci} - z_{Pj}))^2}. \quad (8)$$

Полученные расчетные значения переменных в выражениях (7) и (8) сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Математические характеристики кластера

	P_c	$D \cdot 10^9$	$\bar{D}_p \cdot 10^9$
z_p	1, 75	8,85	6,46
z_d	1, 53	7,02	5,17

На основании данных выше приведенной таблицы оценивается соответствие значений проверочной выборки данных установленным классам. Для этого руководствуются

критерием:

$$\bar{D}_j \geq \sqrt{(D_i - z_{Dj})^2 + (P_{ci} - z_{Pj})^2} \cdot (9)$$

Если условие выполняется, рассматриваемая выборка данных принадлежит данному классу. В противном случае проверяется ее соответствие соседнему классу. Результаты такого сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Результаты проверки кластеризации

$\cdot 10^9 \bar{D}_p$	$\bar{D} \cdot 10^9$	Проверка
6,5	5,1	+
	5,95	+
	8,43	-
	6,18	+
	5,76	+
	5,82	+

Из них следует, что к первой группе относятся все значения выборки, кроме третьей. При сравнении дисперсий табл. 1 и табл. 2 было установлено классовое соответствие первой и второй группы. Можно сделать вывод, что предложенная модель обеспечивает выполнение условий кластеризации.

Осуществим еще одну проверку достоверности установленных границ, как это было представлено на рисунке 2. Графически результат такой проверки представлен на рис. 4. Определенные значения β формируют кластеры в виде областей, границы которых задаются диапазонами. При установлении классового соответствия выборок данных те, которые принадлежат одной группе, в действительности относятся к группе ГЭН подобных по форме.

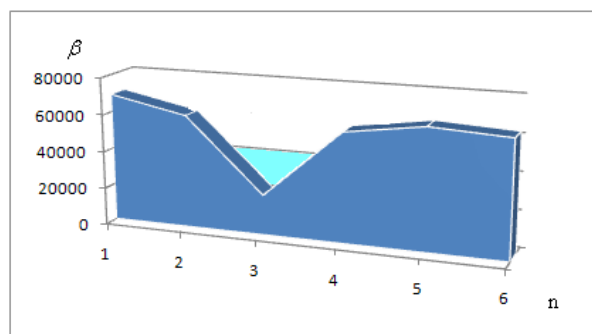


Рисунок 4 – Проверка кластеризации адаптивного коэффициента степени отклонения относительно всей выборки значений

При использовании информативного количества выборок определяется частота попадания ГЭН в заданный диапазон. При соблюдении сохранения поочередности ввода данных можно также установить повторяемость характера нагрузки (рис. 5).

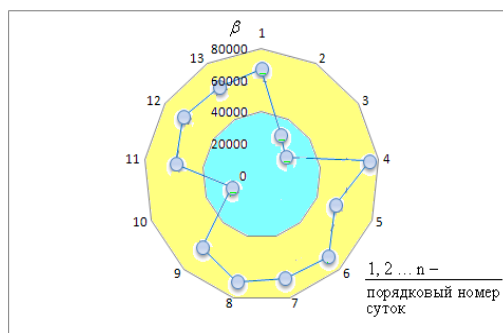


Рисунок 5 – Общее отображение величин адаптированных коэффициентов степени отклонения относительно всей выборки значений

Используя реальные ГЭН для разных сезонов можно убедиться, что предложенный метод кластеризации достоверен и применим без учета зимнего и летнего периода.

Выводы

Множество существующих способов вейвлет – преобразований позволяют эффективно обрабатывать сигналы с целью уменьшения объемов хранимых данных, их кодировки и решения других задач. В основном результатом таких преобразований становится нахождение решения только одной проблемы. Полученные вейвлет – коэффициенты, в случае дальнейшей обработки, требуют применения сложных математических аппаратов вычисления.

В статье предлагается изменить последний шаг обработки вейвлет – коэффициентов. Это приведет к формированию такой выборки значений, которая будет подчиняться существующим статистическим законам. Используя ряд известных зависимостей, предоставляется возможность для дальнейшей анализа расчетных данных, в данной статье, - кластеризация. Для проведения оптимального анализа вычисленных значений и определения четких границ между группами предлагается использовать адаптивный коэффициент степени отклонения относительно всей выборки значений вместо коэффициента вариации. Преимущество использования представленного метода заключается в определении параметра, который обеспечит увеличения расстояния между кластерами, что приводит к снижению влияния величины потребления и к увеличению зависимости от формы ГЭН.

Список литературы

1. Астафьева Н. М. Вейвлет – анализ: основы теории и примеры применения/ Н. М. Астафьева. - Успехи физических наук. – 1996. - т. 166. - № 11. - С. 1145 – 1170. – Библиогр.: с. 1146.
2. Дремин И. М. Вейвлеты и их использование/ И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло - УФН. – 2001. – Т. 171. – №5. – С. 465 - 501. – Библиогр.: с. 468.
3. Праховник А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий/ А. В. Праховник, В. П. Розен, В. В. Дегтярев. – М. : Недра, 1985. – 232 с. – Библиогр.: с. 168.
4. Волошко А. В. Метод формирования признаков классификации графиков электрических нагрузок на основе вейвлет – преобразования/ А. В. Волошко. - Промелектро / Научн. журнал, двухмес. - 2009. - № 1. - С. 39 - 43. – Библиогр.: с. 42.
5. Дворников С. В. Метод распознавания на основе вейвлет – пакетов/ С. В. Дворников, А. М. Сауков. - Научное приборостроение, 2004. – т. 14, №1. – С. 57 – 65. – Библиогр.: с. 60.
6. Козлов П. В. Вейвлет – преобразование и анализ временных рядов/ П. В. Козлов, Б. Б. Чен. – Вестник КРСУ. – 2002. - № 2. - С. 48 - 56. – Библиогр.: с. 54.
7. Гнатюк В. И. Методика оптимальным управлением энергопотребления/ В. И. Гнатюк. – Энергетика, 2008 г. - №4. – С. 128 – 136. – Библиогр.: с. 131, 132.

ПОБУДОВА ОПТИМАЛЬНИХ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОБАЛАНСІВ ВИРОБНИЧО – ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ’ЄКТІВ

*В. Ф. Находов, к.т.н., доцент, О. В. Бориченко, асистент, О.О. Мусатова, магістрант,
(Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ», м. Київ)*

Проаналізовано методи побудови енергобалансів для технологічних та виробничо-господарських об’єктів. Запропоновано подальший напрямок удосконалення методики побудови балансів споживання електричної енергії, який базується на застосування методів оптимального програмування для визначення найбільш достовірної структури витратної частини балансу.

Ключові слова: баланс споживання електричної енергії, оптимальна розрахункова модель електробалансу.

Проанализированы методы построения энергетических балансов технологических и производственно-хозяйственных объектов. Предложено дальнейшее направление усовершенствование методики построения балансов потребления электрической энергии, которое основано на использовании методов оптимального программирования для определения наиболее достоверной структуры расходной части баланса.

Ключевые слова: баланс потребления электрической энергии, оптимальная расчетная модель электробаланса.

Construction's methods of power balances for technological and productive objects are analyzed. It is offered further direction improvement of method construction balances of consumption to electric energy, which is based on use of methods optimal programming for determination most reliable structure to expense part of balance.

Key words: balance of consumption to electric energy, optimal calculation model of electrical balance.

Вступ

Необхідність практичного вирішення задач енергозбереження в усіх ланках національної економіки, і перш за все, у промисловості, яка є найбільшим споживачем палива та енергії всіх видів, стає все більш нагальною. Для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження потрібно здійснювати управління цими процесами як на державному рівні, так і на конкретних підприємствах, в організаціях чи установах. При цьому обов’язковою і надзвичайно важливою функцією такого управління є систематичний контроль та аналіз ефективності використання ПЕР на відповідних об’єктах [1].

Як відомо, в Україні оцінка та контроль енергоефективності, зокрема, у промисловості традиційно здійснюється шляхом нормування питомих витрат палива та енергії, яке, у свою чергу, базується на побудові, аналізі та раціоналізації енергетичних балансів виробничо-господарських об’єктів (підприємств, організацій, установ, їх структурних підрозділів тощо) [2]. Тому надзвичайно важливо, щоб енергетичні баланси, які будуються з метою контролю та аналізу енергоспоживання відповідних господарських об’єктів, були якомога більш точними і максимально об’єктивно відображали реально існуючі напрямки та обсяги корисного споживання і втрат палива чи енергії.

Аналіз традиційних методів побудови електричних балансів виробничо-господарських об'єктів

Теоретично для побудови енергобалансів будь-яких технологічних чи виробничо-господарських об'єктів можуть бути застосовані експериментальний (дослідний), розрахунково-аналітичний або комбінований методи, останній з яких являє собою поєднання двох попередніх методів [4, 5].

Найбільш точно енергобаланси технологічних об'єктів (машин, установок, агрегатів, окремих технологічних процесів тощо) можуть бути одержані експериментальним (дослідним) методом. Однак, застосування цього методу для одержання енергетичних балансів господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ, їх структурних підрозділів) здебільшого є просто неможливим, оскільки у цьому випадку мова йде про необхідність проведення синхронізованих у часі вимірювань у багатьох десятках чи навіть сотнях пунктів. Тому про використання експериментального методу для побудови енергобалансів господарських об'єктів мова може йти лише у тому випадку, якщо підприємство, організація чи установа має розгалужену систему технічного обліку енергоспоживання, зокрема, відповідну автоматизовану систему обліку. Однак, на сьогоднішній день переважна частина господарських об'єктів таких систем обліку не має.

Найбільш реальним для побудови енергобалансів різних виробничих об'єктів традиційно вважається комбінований метод. Однак, практичне застосування цього методу також є суттєво обмеженим, зокрема, через неможливість одержання з зазначених вище причин необхідних експериментальних даних.

Таким чином, для побудови балансів споживання електричної енергії для різних виробничо-господарських об'єктів зараз фактично використовується лише один метод - розрахунково-аналітичний. При використанні цього методу обсяги споживання електричної енергії для більшості установок та агрегатів на практиці визначається за спрощеною розрахунковою формулою, тобто, як добуток їх номінальної потужності на коефіцієнт завантаження і на тривалість роботи у відповідному періоді. Очевидно, що застосування такої спрощеної

розрахункової формули не тільки не дозволяє враховувати конкретні умови та режими роботи обладнання на тому чи іншому підприємстві, але й створює низку додаткових проблем, що виникають при нормалізації питомих витрат електричної енергії [2, 3]. Зокрема, коефіцієнт завантаження та тривалість роботи обладнання, що використовуються в зазначеній спрощеній формулі, здебільшого являють собою невизначені параметри, числові значення яких необґрунтовані відповідними експериментальними вимірюваннями, розрахунками або технологічною документацією. Таким чином, на сьогоднішній день баланси споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, що складаються з використанням розрахунково-аналітичного методу, фактично будуються в умовах невизначеності та неточності вихідних даних.

При цьому числові значення коефіцієнтів завантаження кожного з видів обладнання при побудові електробалансів, як правило, визначаються на підставі відповідної довідкової літератури (наприклад, [8]). Однак зрозуміло, що довідкові коефіцієнти не тільки є середньостатистичними величинами і, здебільшого, не відповідають конкретним виробничим умовам того чи іншого підприємства, але, до того ж, наводяться у вигляді досить широкого інтервалу можливої їх величини. Очевидно, що прийняття різних можливих значень довідкових коефіцієнтів завантаження (наприклад, мінімальних або максимальних) дуже помітно впливає на результати розрахунку обсягу споживання електроенергії того чи іншого виду обладнання. Тому необхідна точність побудови балансу споживання електроенергії на об'єкті досягається шляхом виконання численних ітеративних розрахунків, в ході яких підбираються найбільш достовірні значення коефіцієнтів завантаження відповідних установок чи агрегатів.

Те ж саме стосується тривалості роботи устаткування, достовірні значення якої також визначаються шляхом підбору. Очевидно, що при такому підході не можна очікувати, що прийняті в результаті ітеративних розрахунків значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного з видів обладнання будуть відповідати їх реальним величинам.

Тобто, можна сказати, що електробаланси виробничо-господарських об'єктів, одержані розрахунково-аналітичним методом, в дійсності являють собою не фактичні чи планові баланси, а деякі їх розрахункові моделі. Причому процедура побудови таких моделей не є чітко визначеною і значною мірою має суб'єктивний характер.

Постановка задачі

Зазначені обставини призводять до того, що при достатньо хорошому співпадінні розрахункового та фактичного обсягів споживання електроенергії по господарському об'єкті в цілому, розподіл загального електроспоживання між підрозділами та окремими видами обладнання здебільшого виявляється суттєво спотвореним і не відповідає структурі витратної частини фактичного електробалансу. Тобто, одержані таким чином розрахункові моделі балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів не є достатньо адекватними їх реальним балансам.

Таким чином, цілком очевидно, що в існуючих умовах удосконалення і подальший розвиток методів побудови балансів споживання електричної енергії на господарських об'єктах є задачею важливою і актуальною. Не менш очевидно також, що для об'єктів, не оснащених автоматизованими системами обліку споживання електроенергії, мова може йти про удосконалення методів побудови розрахункових моделей їх електробалансів. При цьому перш за все необхідно розробити певну об'єктивну процедуру побудови таких моделей, яка була б достатньо обґрунтованою і дозволяла б визначати найбільш реальну структуру витратної частини балансів електроспоживання.

Опис побудови оптимальних розрахункових моделей електро-балансів виробничо-господарських об'єктів

Як свідчить практика, спеціалісти та експлуатаційний персонал підприємства (енергетики, технологи, виробничі менеджери, оператори установок тощо) зазвичай мають досить чітке уявлення про межі, в яких з достатньо високою ймовірністю знаходяться фактичні значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи тих чи інших установок, до роботи яких ці працівники мають безпосереднє відношення.

Отже, з метою побудови найбільш реальних балансів споживання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах цілком можливим і доцільним є попереднє встановлення інтервалів, в яких знаходяться фактичні значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного виду обладнання. Для одержання обґрунтованих результатів визначення меж таких інтервалів необхідно використовувати відомі процедури експертного опитування відповідних спеціалістів [6, 7].

Виходячи з того, що для будь-якого виробничо-господарського об'єкту на підставі даних обліку завжди є точно відомим фактичний загальний обсяг споживання електричної енергії за період, на який необхідно побудувати електробаланс, визначення найбільш реальної структури його витратної частини може бути сформульоване як задача оптимального програмування. В процесі вирішення цієї задачі необхідно визначити такі числові значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного виду обладнання, при яких розрахунковий обсяг споживання електроенергії на об'єкті буде мінімально відрізнятися від фактичного обсягу його електроспоживання за один чи декілька відповідних попередніх періодів.

Таким чином, цільова функція такої оптимізаційної задачі має вигляд:

$$z = (W_{\text{факт}} - W_{\text{розрах}})^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

де $W_{\text{факт}}$ – фактичний загальний обсяг споживання електричної енергії на виробничо-господарському об'єкті за певний період, кВт·год;

$W_{\text{розрах}}$ – розрахунковий обсяг витрати електричної енергії на цьому об'єкті для того ж періоду, кВт·год.

Як зазначалося, при застосуванні розрахунково-аналітичного методу для визначення обсягу споживання електроенергії на будь-якому виробничо-господарському об'єкті використовується спрощена формула:

$$W_{\text{розрах}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{вст } i} \cdot k_i \cdot T_i, \quad (2)$$

де n – кількість видів обладнання, що споживає електричну енергію;

$P_{\text{вст } i}$ – загальна встановлена потужність обладнання i -го виду, кВт;

k_i – середній коефіцієнт завантаження відповідного обладнання;

T_i – середня тривалість роботи цього обладнання, год.

Враховуючи залежність (2), цільова функція оптимізаційної задачі, що розглядається, остаточно може бути записана у наступному вигляді:

$$z = \left(W_{\Sigma} - \sum_{i=1}^n P_{\text{вст } i} \cdot k_i \cdot T_i \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Очевидно, що на числові значення всіх змінних k_i та T_i , що входять до цільової функції (3), повинні бути накладені обмеження, які мають вигляд нерівностей:

$$k_{i.\min} \leq k_i \leq k_{i.\max}, \quad k_i > 0 \quad (4)$$

$$T_{i.\min} \leq T_i \leq T_{i.\max}, \quad T_i > 0.$$

Відповідні мінімальні та максимальні величини змінних, що входять до нерівностей (4), визначаються на підставі результатів експертного опитування відповідних спеціалістів щодо інтервалів значень, в яких знаходяться фактичні коефіцієнти завантаження та тривалості роботи кожного виду обладнання.

Таким чином, визначення найбільш реальної структури витратної частини балансу споживання електричної енергії на будь-якому виробничо-господарському об'єкті являє собою задачу квадратичного програмування з обмеженнями, для розв'язання якої можна скористатися одним з методів прямого пошуку оптимального значення цільової функції n змінних, зокрема, методом Хука-Дживса [9, 10].

Можливість та доцільність практичного застосування методики побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів, створеної авторами цієї статті, може бути проілюстрована на прикладі побудови балансу споживання електричної енергії однією з технологічних ліній підприємства з виробництва кабельної продукції, а саме – лінії виробництва мідної катанки. Склад основного та допоміжного обладнання цієї лінії, що споживає електричну енергію, встановлена потужність, прийняті значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи цього обладнання, а також відповідні розрахункові обсяги річного електроспоживання наведені в табл. 1.

Дані табл. 1 є реальними, оскільки вони являють собою частину розрахунків, виконаних для встановлення і затвердження норм питомої витрати електричної енергії для одного з підприємств з виробництва кабельної продукції.

З метою визначення оптимальних значень коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи обладнання T_i авторами цієї статті розроблена програма для ПЕОМ, що базується на використанні метода Хука-Дживса. Результати вирішення цієї задачі для зазначеної вище технологічної лінії виробництва мідної катанки, а також їх порівняння з відповідними розрахунковими величинами наведені в табл. 2 та на рисунках 1 і 2.

Розрахункові значення витрат електричної енергії технологічною лінією з виробництва мідної катанки									
Ділянка кабель-дроту-жил									
Виробництво мідної катанки									
Технологічне обладнання									
№ п/п	Найменування енергоспоживача обладнання	Тип (марка) обладнання	Встановлена потужність одиниці обладнання, кВт	Кількість одиниць обладнання, шт.	Загальна встановлена потужність обладнання, кВт	Розрахунковий коефіцієнт завантаження обладнання	Середня потужність обладнання, кВт	Розрахункова тривалість роботи за рік, год	Розрахункове річне електроспоживання, кВт*год
1	Піч плавильна ST400		460	1	460	0,8	368	8006	2946208
2	Ливарна витяжна машина		16,5	1	16,5	0,8	13,2	8006	105679,2
3	Піч роздаточна		190	1	190	0,8	152	8006	1216912
4	Намотувальне обладнання		0,46	10	4,6	0,6	2,76	8006	22096,56
5	Дистиллятор		2	2	4	0,7	2,8	8006	22416,8
Технологічне обладнання всього:									4313313
Допоміжне обладнання									
6	Кран-балка Q=10т. №72334		30	1	30	0,6	18	2001,5	36027
7	Освітлення	ДРЛ	0,4	21	8,4	1,12	8,4672	4336,583	36718,72
Допоміжне обладнання всього:									72745,72
								Всього:	4386058

Таблиця 2

Порівняння результатів визначення оптимальних значень коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи обладнання T_i з їх розрахунковими величинами

№ п/п	Найменування енергоспоживаючого обладнання	Розрахунковий коефіцієнт завантаження обладнання	Оптимальний коефіцієнт завантаження обладнання	Похибка результату, %	Розрахункова тривалість роботи за рік, год.	Оптимальна тривалість роботи за рік, год.	Похибка результату, %
1	Піч плавильна S7T400	0,8	0,8	0	8006	7980	0,32
2	Ливарна витяжна машина	0,8	0,85	6,25	8006	7982	0,3
3	Піч роздаточна	0,8	0,8	0	8006	7960	0,57
4	Намотувальне обладнання	0,6	0,65	8,33	8006	7978	0,35
5	Дистилятор	0,7	0,75	7,14	8006	7978	0,35
6	Кран-балка Q=10т. №72334	0,6	0,65	8,33	2001,5	1980	1,07
7	Освітлення	1,12	1,15	2,68	4336,583	4260	1,77
	Середня похибка результатів	X	X	4,68	X	X	0,68

Як свідчать дані табл. 2, оптимальні значення коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи T_i кожного виду обладнання несуттєво відрізняються від їх розрахункових величин.

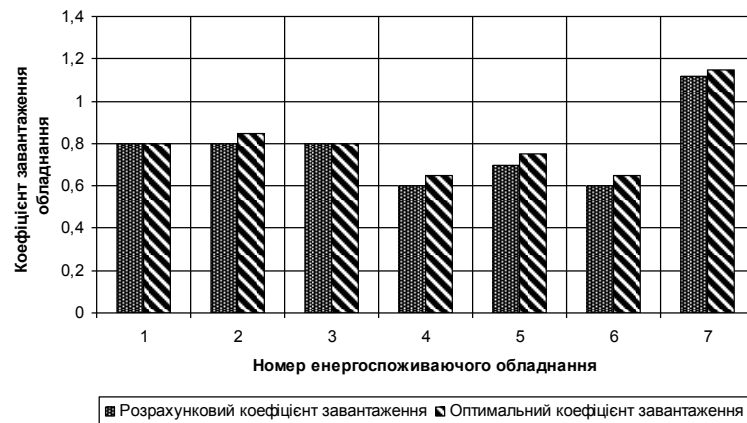


Рис. 1. Порівняння оптимальних та розрахункових значень коефіцієнтів завантаження енергоспоживаючого обладнання технологічної лінії виробництва мідної катанки.

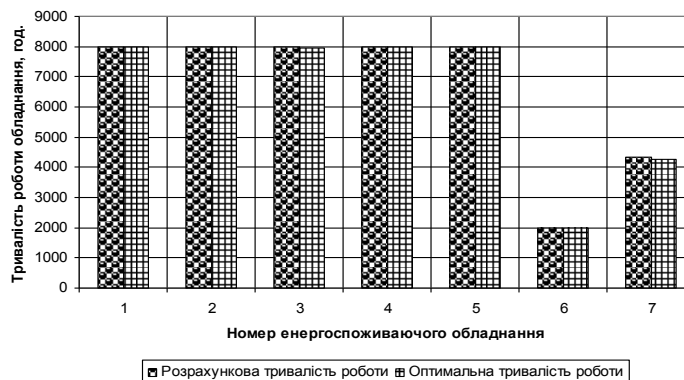


Рис. 2. Порівняння оптимальних та розрахункових значень тривалості роботи енергоспоживаючого обладнання технологічної лінії виробництва мідної катанки.

Результати численних подібних розрахунків, виконаних для інших виробничо-господарських об'єктів, підтверджують, що застосування для них методики побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів, розробленої авторами цієї статті, у кожному випадку дозволило одержати однозначний результат вирішення задачі, а також визначити оптимальні значення коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи T_i обладнання, близькі за величиною до відповідних розрахункових показників.

Висновки

Таким чином, можна стверджувати, що використання методики, що пропонується, дає можливість будувати баланси споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, які відображають найбільш достовірну структуру їх витратної частини, а також є значно більш обґрунтованими у порівнянні з електробалансами, одержаними розрахунково-аналітичним методом

Список літератури

1. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В. Ф. Находов // Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 34-42.
2. 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.
3. Находов В. Ф. Ймовірносно – статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо – господарських об'єктів / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // Промелектро. – 2007. – № 6. – С. 45-54.
4. Справочник по электропотреблению в промышленности / [О.А. Аузинь, О.Т. Балыковский, Л.Г. Бедынерман и др.]; под ред. Г. П. Минина, Ю. В. Копытова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 496 с., ил.
5. Архипов Л.И. Методы составления энергобалансов промышленных предприятий: учебное пособие по курсу «Энергобалансы промышленных предприятий» для студ., обучающ. по направлению «Теплотехника» / [Л.И. Архипов, А.Б. Гаряев, В.А. Горбенко и др.]; А.Л. Ефимов (ред.); Московский энергетический ин-т (Технический ун-т). – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 48 с.
6. Экспертные оценки и их применение в энергетике / [И. С. Вартазаров, И. Г. Горлов, Е. В. Минаев, Р. М. Хвастунов]; под ред. Р. М. Хвастунов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 188 с.
7. Экспертные оценки в научно – техническом прогнозировании / [Г. М. Д обров, Ю. В. Ершов, Е. И. Левин, Л. П. Смирнов]. – К.: Издательство «Наукова думка», 1974. – 160 с.
8. Справочник по электроснабжению и электрическому оборудованию: В 2 т. Т.2. Электрооборудование / [Р.Б. Авринский, С.И. Вершинина, С.И. Гамазин и др.]; под общ. ред. А. А. Фёдорова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с.
9. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: [підручник] / Ю.П. Зайченко. – [4-те вид., перероб. і допов.]. – Київ: ЗАТ “ВПОЛ”, 2001. – 688 с.- Бібліограф. 67 найм. – ISBN 966-646-001-7.
10. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс; [пер. с англ.] / Б. Банди – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВАКУУМНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

*І. О. Матвійко, В. В. Дубровська, к.т.н., доцент, В. І. Шкляр, к.т.н., доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
м. Київ
Україна*

Проведені дослідження роботи вакуумного сонячного колектора. Визначена ефективність його роботи в літній та зимовий час. Порівняна ефективність роботи плоского та вакуумного сонячного колектора. Виконаний ексергетичний аналіз сонячної установки з вакуумним сонячним колектором.

Проведены исследования работы вакуумного солнечного коллектора. Определена эффективность его работы в летнее и зимнее время. Сопоставлена эффективность работы плоского и вакуумного солнечного коллектора. Выполнен эксергетический анализ солнечной установки с вакуумным солнечным коллектором.

The investigation of vacuum solar collector had carried out. The efficiency of it work had determined in summer and winter period. The efficiency of flat plate and vacuum solar collector had compared. Also, the exergetic analysis solar water heating system with vacuum solar collector had performed.

Сучасний розвиток світової економіки невід’ємно пов’язаний із зростанням темпів виробництва енергії. Сьогодні в Україні одним з пріоритетних напрямів енергосектора є відновлювана енергетика і енергозбереження. З кожним роком в країні з’являється все більше нових підприємств, що виробляють устаткування для поновлюваної енергетики, велика частина якого сьогодні експортується за кордон, не знаходячи попиту в Україні.

В Україні є значний потенціал сонячної енергії. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м² поверхні на території України, знаходиться в межах: від 1070 кВт·год/м² у північній частині України до 1400 кВт·год/м² і вище в АР Крим.

Для дослідження ефективності різних конструкцій сонячних колекторів і визначення їх теплотехнічних характеристик в НТУУ «КПІ» був створений дослідний стенд у вигляді сонячної водонагрівальної установки, оснащений сучасною вимірювальною апаратурою та сонячним колектором «АТТ-b15», встановленим на фасаді корпусу №5 (рис.1).



Рис. 1 – Загальний вигляд дослідного стенду

Дослідний стенд складається з бака акумулятора, насосного модуля, блока управління, автоматизованої багатоканальної системи для вимірювання температур і густини сонячного випромінювання, розширювального бачка, сонячного колектора і пересувної платформи для розміщення колектора.

З допомогою цієї установки з лютого 2008 року проводяться дослідження українського вакуумного сонячного колектора «АТТ-b15» підприємства «АТТ-Solar».

Колектор «АТТ-b15» підприємства «АТТ-Solar» представляє собою пристрій, який складається із 15 вакуумних труб (колб), всередині яких вбудовані алюмінієві теплові труби, і теплоізолюваного теплообмінника. Кожна вакуумна труба має селективне поглинаюче покриття (абсорбер), нанесене на зовнішню поверхню внутрішньої скляної труби, яке забезпечує високий ступінь поглинання сонячної енергії. Загальна площа колектора складає 2,8 м², поглинаюча поверхня складає 1,9 м² [1].

Вакуум в скляних трубках забезпечує ідеальну ізоляцію, що дозволяє колектору працювати навіть в умовах сильної хмарності, використовуючи розсіяне випромінювання.

На основі експериментальних досліджень функціонування вакуумного сонячного колектора «АТТ-b15» протягом 2008-2009 р.р. були побудовані залежності (рис. 2-5), які характеризують ступінь нагрівання води і величини густини потоку падаючої сонячної теплової радіації від часу доби для зимового та літнього періоду.

Як видно із рис. 2, в яскравий літній день 07.06.08 р. вода в баці (бойлер - 125 л) нагрівається від 26 °С до 60 °С, тобто різниця температур складає 34 °С, а в похмурий 18.06.08 р. - від 27,3 °С до 30,8 °С, тобто різниця температур складає 3,5 °С, при середньомісячній денній температурі атмосферного повітря 24 °С. Отже, в похмурий день недостатньо сонячної радіації для нагрівання води споживачу. Гарантований підігрів води до 55 °С в системі ГВП можна забезпечити установкою бака-акумулятора більшого об'єму, ніж кількість води, яка споживається, для нагромадження водою енергії в сонячні дні.

В зимовий сонячний день 12.01.09 р. (рис. 3) вода в баці нагрівається від 23 °С до 40 °С, тобто різниця температур складає 17 °С при середній температурі навколишнього повітря - (-3,8) °С, а в похмурий день 05.02.09 р. вода в баці нагрівається від 12 °С до 15 °С, тобто різниця температур складає всього лише 3 °С, при середній температурі навколишнього повітря - (1,3) °С. Тому в зимовий період необхідний додатковий підігрів води дублюючим джерелом (наприклад: ТЕН або бойлер системи опалення).

На рис. 4 та 5 представлені залежності зміни температури нагрівання води і падаючої теплової сонячної радіації при роботі системи протягом трьох діб: 11-13.01.09р. та 11- 13.08.08р.

На рис. 4, можна побачити різке падіння температури гарячої води пов'язане з відбором нагрітої води споживачем. В зимовий період (рис. 5) відбори води не відбувалися, тому що температура води не відповідала нормативним вимогам.

На всіх графіках спостерігається зниження температури нагрітої води в нічний час. Таке зниження температури обумовлене якістю теплової ізоляції всієї установки [2].

На основі отриманих експериментальних даних, був розрахований коефіцієнт корисної дії вакуумного сонячного колектора (рис. 6) за формулою:

$$\eta = \eta_0 - C_1 \cdot x = \eta_0 - C_1 \cdot \frac{T_{ND} - T_{iN}}{I}, \quad (1)$$

де η_0 - оптичний коефіцієнт корисної дії сонячного колектора;

C_1 - коефіцієнт повних теплових втрат (для нашого випадку $C_1 = 1,529 \frac{\dot{A}_0}{i^2 \cdot \tilde{N}}$);

I - густина сонячного випромінювання, $\frac{Вт}{м^2}$;

$\tilde{O}_{ND}$ - середня температура теплоносія на вході та виході із абсорбера, °N;

$T_{i\tilde{N}}$ - температура навколишнього середовища, $^{\circ}\tilde{N}$.

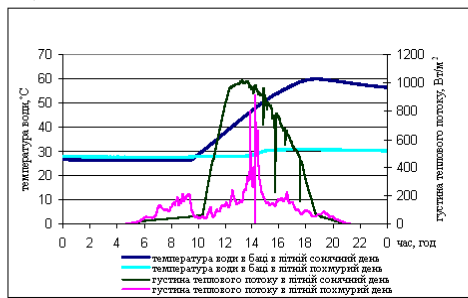


Рис. 2

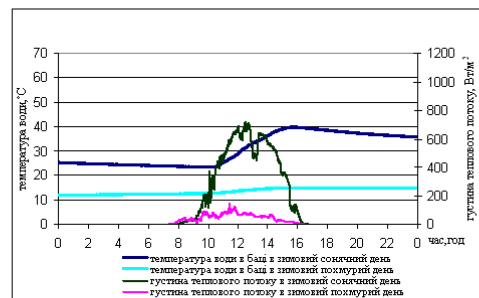


Рис. 3

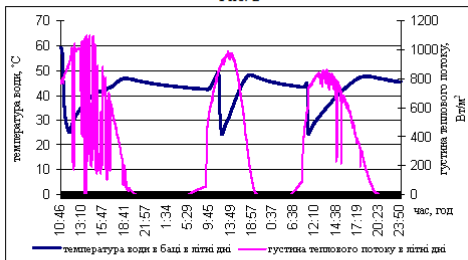


Рис. 4

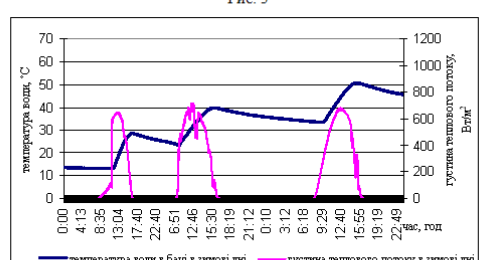


Рис. 5

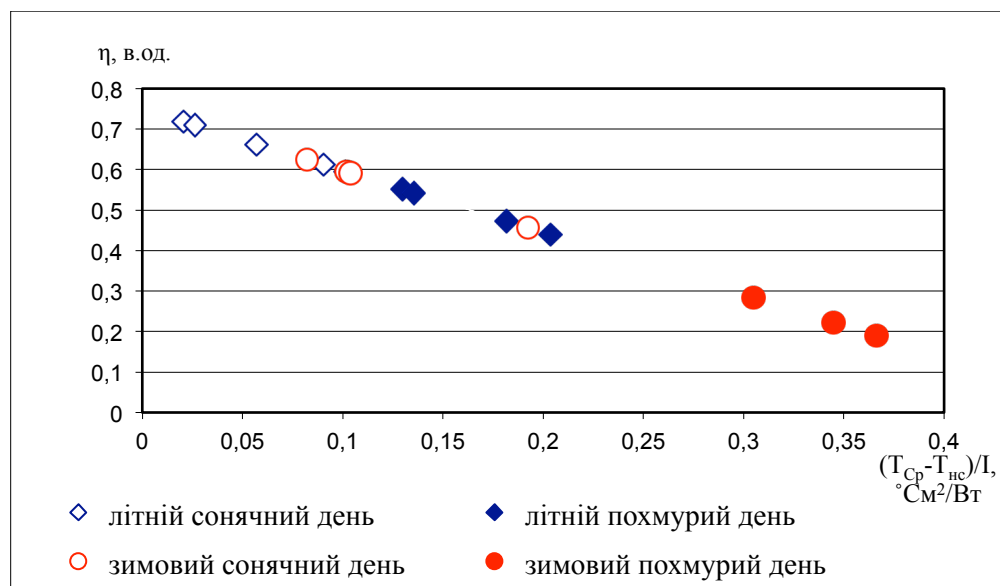


Рис. 6 – Коефіцієнт корисної дії вакуумного сонячного колектора

На рис. 7 наведені залежності ефективності плоского та вакуумного сонячного колекторів, від параметра $\tilde{\delta} = \frac{T_{ND} - T_{i\tilde{N}}}{I}$, а також нанесені експериментальні значення ефективності вакуумного сонячного колектора з тепловими трубами «АТТ-b15» в літній та зимовий сонячні дні.

Розрахунки проводилися за формулою:

$$\eta = \eta_0 - C_1 \cdot \frac{T_{ND} - T_{i\tilde{N}}}{I} - C_2 \cdot I \cdot \left(\frac{T_{ND} - T_{i\tilde{N}}}{I} \right)^2, \quad (2)$$

де C_2 - коефіцієнт теплових втрат (для нашого випадку $C_2 = 0,0166 \frac{\dot{A}\tilde{\delta}}{i^2 \cdot ^{\circ}\tilde{N}}$).

Як видно з рис. 7, ефективність вакуумного сонячного колектора з тепловими трубами найвища.

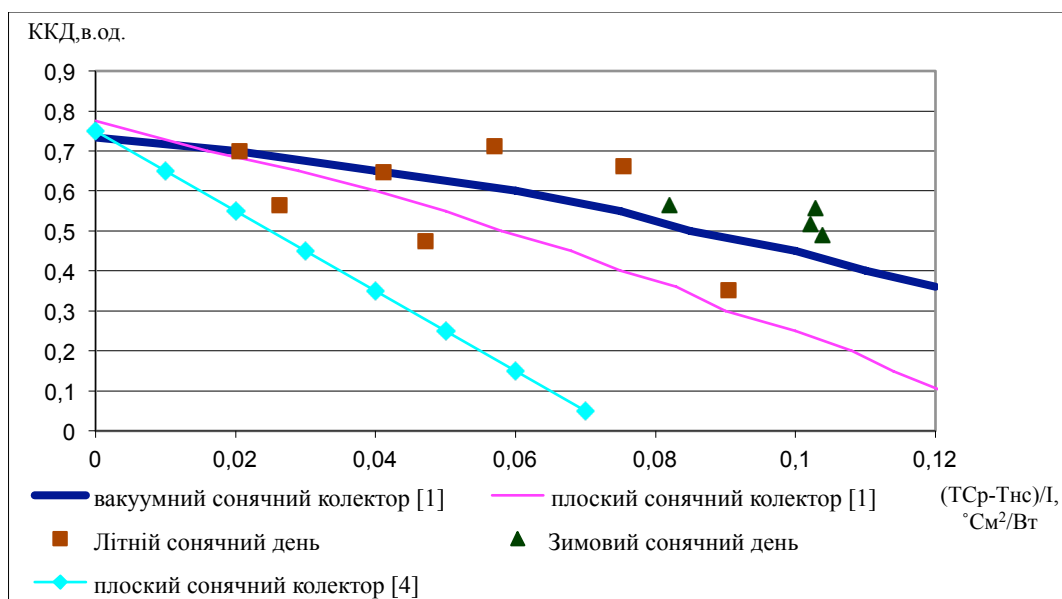


Рис. 7 – Порівняння ККД сонячних колекторів

На основі середньостатистичних значень питомого теплового потоку прямого і розсіяного сонячного випромінювання для м. Києва за 6 теплих місяців сонячним колектором «АТТ-b15» з площею може бути вироблено 1416 кВт·год теплової енергії [3]. Економія вугілля (ГР 0-100, $Q_H^P = 21,788$ МДж/кг; $\text{Ц} = 570$ грн/т) складає 260 кг (150 грн) за сезон.

Для визначення ефективності роботи сонячної установки на базі вакуумного колектора з тепловими трубками був проведений ексергетичний аналіз кожного елементу та всієї установки в цілому, включаючи сонячний колектор - I, циркуляційний насос - II та теплообмінник - III (рис.8).

При виконанні розрахунків були використані результати експериментів, отримані при дослідженні вакуумного колектора (табл. 1).

Визначення ексергетичної ефективності елементів установки та втрати ексергії здійснювались за відповідними формулами [4].

Результати розрахунків ексергетичної ефективності елементів сонячної установки та системи в цілому для 12 серпня 2008 року наведені в таблиці 2.

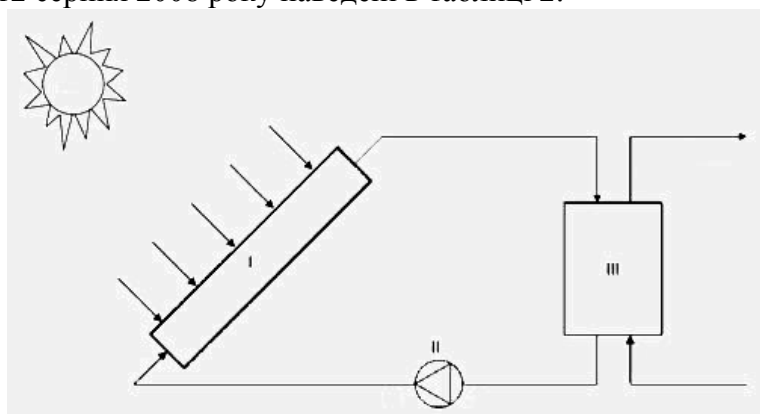


Рис. 8 – Спрощена схема установки

Таблиця 1.

Вихідні дані для розрахунків					
Дата	Час	Сонячна радіація, Вт/м ²	Вхідна температура, °С	Вихідна температура, °С	Температура навколишнього середовища
2.08.08	12:00	934,2	37,0	52,4	25,6
	15:00	985,3	47,5	58,8	27,3
	18:00	347,8	53,0	63,5	26,8
3.08.08	12:00	874,7	53,2	73,8	27,5
	15:00	839,1	59,9	79,2	30
4.08.08	15:00	939,7	39,6	57,1	28,4
5.08.08	12:00	317,8	53,9	61,9	24,2
	15:00	1085,7	55,5	72,7	26,5
6.08.08	15:00	670,9	33,1	43,9	20,7
7.08.08	12:00	868,8	38,1	56,3	16,3
11.08.08	12:00	1000,1	29,3	50,3	24,9
	15:00	900,1	48,2	55,1	26,0
18.08.08	12:00	132,0	31,5	33,8	15,5
	15:00	153,9	36,4	40,7	17,7

Таблиця 2.

Ексергетична ефективність сонячної установки	
Назва елементу	Ексергетична ефективність, %
Сонячний колектор	5,897
Циркуляційний насос	1,809
Теплообмінник	22,728
Система в цілому	14,159

Отже, ексергетичний аналіз дозволив оцінити ефективність кожного елементу системи та системи в цілому, а також допоможе в проектуванні більш ефективних систем.

На рис. 9 зображена залежність ексергетичної ефективності плоского сонячного колектора та вакуумного сонячного колектора з тепловими трубами «АТТ-b15» від параметра $x = \frac{T_{CP} - T_{HC}}{I}$.

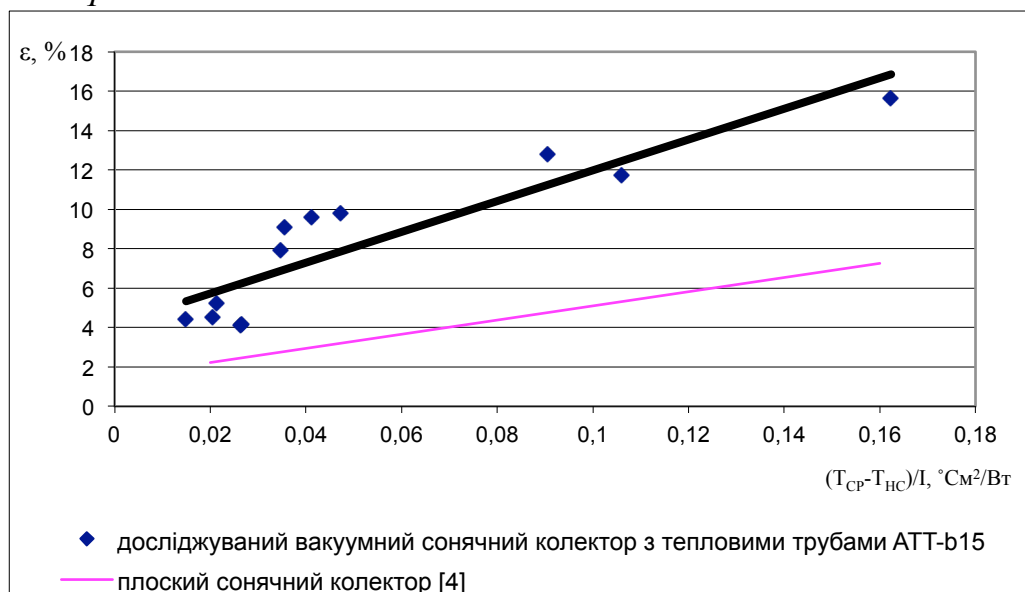


Рис. 9 – Порівняння ексергетичної ефективності сонячних колекторів

Література

1. Рассамакин Б.М., Зарипов В.К., Хайрнасов С.М., Рассамакин А.Б., Матвийко И.А. Стенд для испытаний солнечных коллекторов// 3б. наук. статей «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні», -Львів: ЛьВЦНТЕІ, 2009 р. с. 234-238.
2. Хайрнасов С.М., Рассамакин А.Б., Матвийко И.А., Дубровская В.В., Шкляр В.И. Исследование работы вакуумного солнечного коллектора «АТТ-b15». Праці 10-тої Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика ХХІ століття», смт. Миколаївка, АР Крим, Україна, 14-18 вересня 2009 р.
3. Гершкович В.Ф. Солнечные установки горячего водоснабжения. Пособие по проектированию, Киев ЗНИИЭП, 2006. – 26 с.
4. Huseyin Gunerhan, Arif Hepbasli. Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications.

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ПРИКЛАДІ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*Розен В.П., канд. техн. наук, Національний технічний університет України “КПІ”
Мильніченко С.М., Черкаський державний технологічний університет*

Проведено дослідження використання паливно-енергетичних ресурсів районів Черкаської області методом кластерного аналізу з метою знаходження однорідних груп районів для оцінювання ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Постановка проблеми. Забезпечення енергетичної безпеки України сьогодні є одним з головних питань політичного й економічного розвитку держави, що зачіпає інтереси кожного громадянина, кожного підприємця незалежно від форми власності.

Основними первинними енергетичними ресурсами в Україні є природний газ, нафта та вугілля. В балансі первинних енергоресурсів, що споживає народне господарство України, у перерахунку на умовне паливо нині частка газу становить 46 %, вугілля – 35 %, нафти – 19 %. У середньостроковій перспективі структура енергоспоживання істотно не зміниться, оскільки для цього необхідні значні фінансові ресурси та час.

Розроблення балансу основних паливно-енергетичних ресурсів на середньострокову перспективу ґрунтується на визначенні потреби України у нафті, природному газі, вугіллі та електроенергії, що визначається з урахуванням прогнозованих темпів зростання суспільного виробництва.

Проте необхідно мати на увазі, що в сучасних умовах точно визначити динаміку основних макропоказників неможливо: фактичний рівень може бути або нижчий, або вищий за заплановану межу. Тому доцільно, розраховуючи перспективну потребу, враховувати заплановані темпи зростання ВВП, потенційний попит на паливно-енергетичні ресурси, а також критичний попит, що спрямовано на забезпечення енергетичної безпеки країни.

Розрахувати потреби України в основних паливно-енергетичних ресурсах можна, зробивши оцінку можливостей збільшення власного видобутку і виробництва, перспектив розвитку світового ринку енергоресурсів загалом та оцінки експортоспроможності основних постачальників енергоносіїв в Україну [1].

Розроблення заходів із забезпечення енергетичної безпеки не може базуватися на єдиному підході для всіх районів Черкаської області. Необхідно виділити однорідні групи районів для яких необхідно запропонувати заходи із забезпечення енергетичної безпеки.

Задача класифікації районів за ступенем однорідності може бути розв'язана з використанням теорії розпізнавання образів, до якої відноситься кластерний аналіз.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи кластерного аналізу для аналізування енергетичних об'єктів вперше було застосовано для: класифікації режимів електроспоживання гірничовидобувних підприємств [2], класифікації районів за станом енергетичної безпеки та підвищення якості аналізування енергетичної ефективності виробничих систем [3, 4].

Формування мети. Метою даної статті є підвищення ефективності оцінювання рівня використання паливно-енергетичних ресурсів районами Черкаської області шляхом їх класифікації за ступенем однорідності.

Класифікація районів за використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Вихідними параметрами під час класифікації районів були прийняті такі паливно-енергетичні ресурси:

- 1) вугілля кам'яне, т;
- 2) брикети, окатиші та аналогічні види твердого палива з кам'яного вугілля, т;
- 3) дрова для опалення, щільн. куб. м;
- 4) газ природний, тис. куб. м;
- 5) пропан і бутан скраплені, т;
- 6) бензин моторний, т;
- 7) паливо дизельне, т;
- 8) мазути топкові важкі, т;
- 9) електрична енергія, тис. кВт·год.

Розглянемо методику визначення однорідних класів об'єктів, яка є базою для аналізу використання паливно-енергетичних ресурсів. Методика базується на теорії кластерного аналізу з використанням ієрархічного методу класифікації. Кластер районів – це група територіальних одиниць (районів), що мають подібні особливості розвитку.

Деревовидна кластеризація. Алгоритм методу ієрархічної кластеризації [5] включає такі кроки.

Перший крок. На початку формуємо матрицю спостережень x_{mn} . Вихідна множина складається з m елементів, що описані n параметрами; кожен її строчку можна інтерпретувати як точку або вектор, що розміщений в n -мірному просторі з координатами, що дорівнюють значенням n ознак для окремого району, що розглядається. В матриці спостережень m – кількість об'єктів класифікації (районів); n – число ознак об'єктів; x_{mn} – значення ознаки n для m району.

Фрагмент вихідних даних матриці спостережень для 26 районів і міст обласного значення наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Використання паливно-енергетичних ресурсів районами Черкаської області в 2007 році

Райони та міста обласного значення	Вугілля кам'яне, т	Брикети, окатиші, т	Дрова для опалення, щільн. куб. м	Газ природний, тис. куб. м	Пропан і бутан скраплені, т	Бензин моторний, т	Паливо дизельне, т	Мазути топкові важкі, т	Електрична енергія, тис. кВт·год
1. м. Ватутіне	4614	0	298	38203	0,7	753	3161	0	29507
2. м. Золотоноша	2134	0	124	73511	72	3529	2501	157	32772
3. м. Канів	1702	0	11887	35458	115,8	4649	4644	0	33244
4. м. Сміла	13898	0	8693	78103	147,4	6295	26985	3165	116390
5. м. Умань	6763	0	19600	131576	891,8	11173	9058	218	69860
6. м. Черкаси	195688	71,7	11256	1980721	1026,3	46019	40019	384	1289620
7. Городищенський	3128	0	285	26453	335,5	3436	3869	0	9153
8. Драбівський	2528	0	12	29360	118,8	3670	5686	0	8002
9. Жашківський	9964	0	136	31245	244,1	6835	8037	0	27334
10. Звенигородський	3167	0	12519	42559	95	5043	4321	0	17532
11. Золотоніський	2623	0	6211	21563	7,1	6439	9824	0	31396
12. Кам'янський	631	0	5111	43972	343,2	3686	3065	0	14913
13. Канівський	448	0	21	3584	13,1	466	2221	0	28672
14. Катеринопільський	2404	3	151	3205	0	1755	3183	0	10407
15. Корсунь-Шевченківський	7141	0	7309	33502	130,9	5359	5856	2	18783
16. Лисянський	1265	0	6486	4274	7,4	2600	4045	729	21647

17. Маньківський	4030	0	64	9727	0,1	2458	3633	0	11758
18. Монастирищенський	2640	0	2695	24314	79,8	2572	4834	0	15349
19. Смілянський	557	0	16463	2074	0	4719	5194	0	11399
20. Тальнівський	981	0	209	47060	281,4	3201	4217	39	25779
21. Уманський	2126	0	144	497	23,8	10896	15795	0	10466
22. Христинівський	1250	0	22	6383	88	4744	5445	0	15171
23. Черкаський	499	0	774	26238	800,8	5729	6714	0	50985
24. Чигиринський	1640	0	3853	3007	0,1	2941	2674	0	8524
25. Чорнобаївський	4101	1,7	281	27933	167,1	5593	8699	40	30536
26. Шполянський	2220	0	304	29498	146,3	3595	4804	0	17775

Другий крок. Для значень, включених у матрицю спостережень, необхідно здійснити приведення ознак до одної одиниці вимірювання, в нашому випадку це тони умовного палива (табл. 2).

Таблиця 2 – Використання паливно-енергетичних ресурсів районами Черкаської області в 2007 році в тисячах тонн умовного палива (тис. т у. п.)

Райони та міста обласного значення	Вугілля кам'яне	Брикет, окатиші	Дрова для опалення	Газ природний	Пропан і бутан скраплені	Бензин моторний	Паливо дизельне	Мазути топкові важкі	Електрична енергія
1. м. Ватутіне	3,69	0,00	0,07	43,93	0,00	1,12	4,58	0,00	3,63
2. м. Золотоноша	1,71	0,00	0,03	84,54	0,11	5,26	3,63	0,22	4,03
3. м. Канів	1,36	0,00	2,69	40,78	0,18	6,93	6,73	0,00	4,09
4. м. Сміла	11,12	0,00	1,96	89,82	0,23	9,38	39,13	4,34	14,32
5. м. Умань	5,41	0,00	4,43	151,31	1,40	16,65	13,13	0,30	8,59
6. м. Черкаси	156,55	0,04	2,54	2277,83	1,61	68,57	58,03	0,53	158,62
7. Городищенський	2,50	0,00	0,06	30,42	0,53	5,12	5,61	0,00	1,13
8. Драбівський	2,02	0,00	0,00	33,76	0,19	5,47	8,24	0,00	0,98
9. Жашківський	7,97	0,00	0,03	35,93	0,38	10,18	11,65	0,00	3,36
10. Звенигородський	2,53	0,00	2,83	48,94	0,15	7,51	6,27	0,00	2,16
11. Золотоніський	2,10	0,00	1,40	24,80	0,01	9,59	14,24	0,00	3,86
12. Кам'янський	0,50	0,00	1,16	50,57	0,54	5,49	4,44	0,00	1,83
13. Канівський	0,36	0,00	0,00	4,12	0,02	0,69	3,22	0,00	3,53
14. Катеринопільський	1,92	0,00	0,03	3,69	0,00	2,61	4,62	0,00	1,28
15. Корсунь-Шевченківський	5,71	0,00	1,65	38,53	0,21	7,98	8,49	0,00	2,31
16. Лісянський	1,01	0,00	1,47	4,92	0,01	3,87	5,87	1,00	2,66
17. Маньківський	3,22	0,00	0,01	11,19	0,00	3,66	5,27	0,00	1,45
18. Монастирищенський	2,11	0,00	0,61	27,96	0,13	3,83	7,01	0,00	1,89
19. Смілянський	0,45	0,00	3,72	2,39	0,00	7,03	7,53	0,00	1,40
20. Тальнівський	0,78	0,00	0,05	54,12	0,44	4,77	6,11	0,05	3,17
21. Уманський	1,70	0,00	0,03	0,57	0,04	16,24	22,90	0,00	1,29
22. Христинівський	1,00	0,00	0,00	7,34	0,14	7,07	7,90	0,00	1,87
23. Черкаський	0,40	0,00	0,17	30,17	1,26	8,54	9,74	0,00	6,27
24. Чигиринський	1,31	0,00	0,87	3,46	0,00	4,38	3,88	0,00	1,05
25. Чорнобаївський	3,28	0,00	0,06	32,12	0,26	8,33	12,61	0,05	3,76
26. Шполянський	1,78	0,00	0,07	33,92	0,23	5,36	6,97	0,00	2,19

Третій крок. Для розрахунку відстаней між об'єктами виникає питання, як провести об'єднання різних об'єктів. На цей час існує велика кількість методів класифікації, які після здійснення класифікації об'єктів дають приблизно такі самі результати. До таких методів можна віднести, наприклад, об'єднання кластерів, у яких будь-які два об'єкти найближчі один до одного, або об'єднання із визначенням відстаней між найбільш віддаленими

об'єктами в кластері. Для класифікації районів застосуємо другий варіант порядку об'єднання, тобто будемо використовувати відстані між об'єктами з двох кластерів, які найбільш віддалені один від одного. Цей метод називається методом „повного зв'язку” і ефективний у випадку, коли дійсно існують відмінні одна від одної групи об'єктів. Після проведення об'єднання повертаємось до першого кроку. Процедура продовжується до тих пір, поки не буде об'єднано всі кластери.

Розрахунок елементів матриці відстаней з урахуванням всіх елементів матриці спостережень виконувався за формулою евклідової відстані:

$$d_{ik} = \left[\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{kj})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

де d_{ik} – відстань між i -тим і k -тим районом;

x_{ij} – числове значення j -тої ознаки для i -того району;

x_{kj} – числове значення j -тої ознаки для k -того району.

Для класифікації було використано програмне забезпечення пакету STATISTICA 6.1.

Результати розрахунків матриці відстаней для даних табл. 2 наведено в табл. 3

Таблиця 3 – Фрагмент матриці відстаней класифікації районів

Райони та міста обласного значення	1. м. Ватутіне	2. м. Золотоноша	3. м. Канів	4. м. Сміла	5. м. Умань	6. м. Черкаси			21. Уманський	22. Христинівський	23. Черкаський	24. Чигиринський	25. Чорнобаївський	26. Шполянський
1. м. Ватутіне	0	41	8	60	109	2246			50	37	17	41	16	11
2. м. Золотоноша	41	0	44	39	69	2206			87	77	55	81	53	51
3. м. Канів	8	44	0	61	111	2249			44	34	12	38	11	8
4. м. Сміла	60	39	61	0	68	2198			93	90	68	95	65	67
5. м. Умань	109	69	111	68	0	2138			151	145	122	149	120	118
6. м. Черкаси	2246	2206	2249	2198	2138	0			2289	2283	2260	2287	2258	2256
21. Уманський	50	87	44	93	151	2289			0	19	34	23	34	39
22. Христинівський	37	77	34	90	145	2283			19	0	23	6	25	27
23. Черкаський	17	55	12	68	122	2260			34	23	0	28	5	7
24. Чигиринський	41	81	38	95	149	2287			23	6	28	0	30	31
25. Чорнобаївський	16	53	11	65	120	2258			34	25	5	30	0	7
26. Шполянський	11	51	8	67	118	2256			39	27	7	31	7	0

Четвертий крок. Результатом проведення кластерного аналізу є створення наочного відображення структури кластерів районів, які утворюють об'єкти класифікації. Її створюють за рахунок об'єднання районів у великі кластери, використовуючи визначену міру схожості. Дендрограма класифікації районів наведена на рис. 1. Вздовж вертикальної осі наведено назви районів, що підлягають класифікації, а вздовж горизонтальної осі відкладені відстані між об'єднаними об'єктами, при цьому відбувається поступове послаблення критерію об'єднання, тобто зниження граничного рівня критерію об'єднання двох об'єктів до одного кластеру. В результаті ослаблення критерію відбувається агрегація кластерів, які мають в своїй структурі все більш відмінні об'єкти.

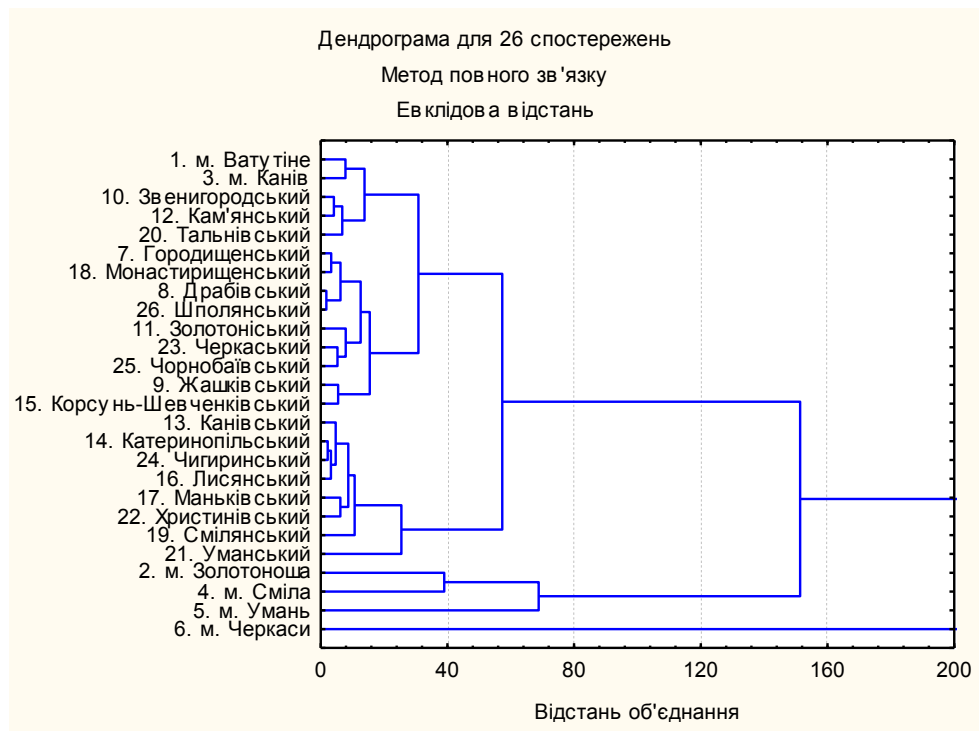


Рисунок 1 – Дендрограма класифікації районів

В результаті проведення розрахунку можна виділити шість кластерів районів області. До першого кластеру віднесено м. Черкаси; до другого кластеру віднесено м. Умань; до третього кластеру – м. Сміла та м. Золотоноша; до четвертого кластеру – м. Ватутіне, м. Канів, Звенигородський, Кам'янський, Тальнівський райони; до п'ятого – Городищенський, Монастирищенський, Драбівський, Шполянський, Золотоніський, Черкаський, Чорнобаївський, Жашківський, Корсунь-Шевченківський райони; до шостого кластеру – всі інші райони.

Результати кластерного аналізу використання паливно-енергетичних ресурсів районами Черкаської області в 2000 – 2007 роках зведемо до табл. 4.

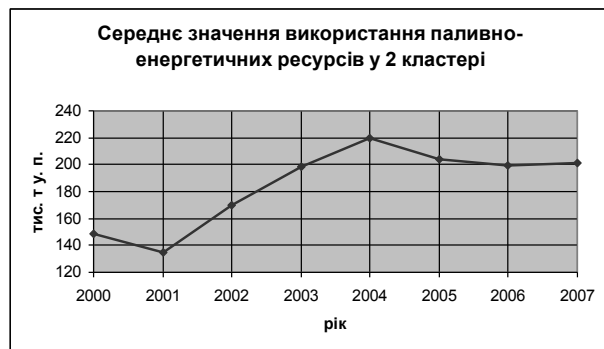
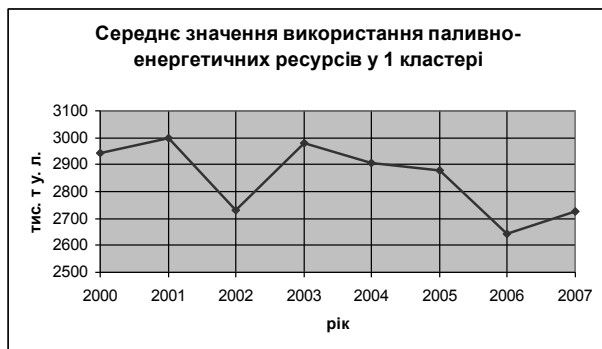
Таким чином, за допомогою цього методу можна отримати ієрархічну структуру кластерів районів. З дендрограми можна легко встановити структуру об'єктів всередині кластеру, взаємозв'язок кластерів між собою. Використання цього методу дає широкі можливості при виборі міри визначення відстані між об'єктами та порядку об'єднання кластерів між собою. Метод дозволяє проводити розрахунки при різному характері вхідної інформації. До недоліків слід віднести необхідність перерахунку всієї дендрограми у випадку необхідності класифікації додаткових об'єктів.

Таблиця 4 – Номер кластеру, в який попадають райони Черкаської області

Райони та міста обласного значення	Роки, за які проводився кластерний аналіз							
	2000 р.	2001 р.	2002 р.	2003 р.	2004 р.	2005 р.	2006 р.	2007 р.
1. м. Ватутіне	3	3	4	4	4	4	5	4
2. м. Золотоноша	4	5	3	3	3	3	3	3
3. м. Канів	4	5	4	4	4	4	4	4
4. м. Сміла	2	2	2	2	2	2	2	3
5. м. Умань	3	2	2	2	2	4	2	2
6. м. Черкаси	1	1	1	1	1	1	1	1

7. Городищенський	6	6	5	5	5	5	5	5
8. Драбівський	6	6	6	5	5	5	5	5
9. Жашківський	4	5	4	4	4	4	3	5
10. Звенигородський	5	6	5	5	5	4	4	4
11. Золотоніський	3	3	5	5	5	5	5	5
12. Кам'янський	4	5	4	5	4	4	3	4
13. Канівський	6	6	6	6	6	6	6	6
14. Катеринопільський	6	6	6	6	6	6	6	6
15. Корсунь-Шевченківський	5	6	5	5	5	5	4	5
16. Лисянський	5	6	6	6	6	6	6	6
17. Маньківський	6	6	6	5	5	6	6	6
18. Монастирищенський	5	5	6	5	5	5	5	5
19. Смілянський	6	6	6	6	6	6	6	6
20. Тальнівський	4	5	4	4	4	4	3	4
21. Уманський	6	6	6	6	6	6	6	6
22. Христинівський	4	5	6	5	5	6	6	6
23. Черкаський	4	5	5	5	4	5	5	5
24. Чигиринський	6	6	6	6	6	6	6	6
25. Чернобаївський	5	4	5	5	5	5	5	5
26. Шполянський	6	5	4	4	4	4	4	5
Всього кластерів	6	6	6	6	6	6	6	6
Кількість районів у кластерах								
1 кластер	1	1	1	1	1	1	1	1
2 кластер	1	2	2	2	2	1	2	1
3 кластер	3	2	1	1	1	1	4	2
4 кластер	7	1	6	5	7	8	4	5
5 кластер	5	9	6	11	9	7	7	9
6 кластер	9	11	10	6	6	8	8	8

Середнє значення. Середнє значення використання паливно-енергетичних ресурсів в кожному кластері покажемо в вигляді діаграм (рис. 2).



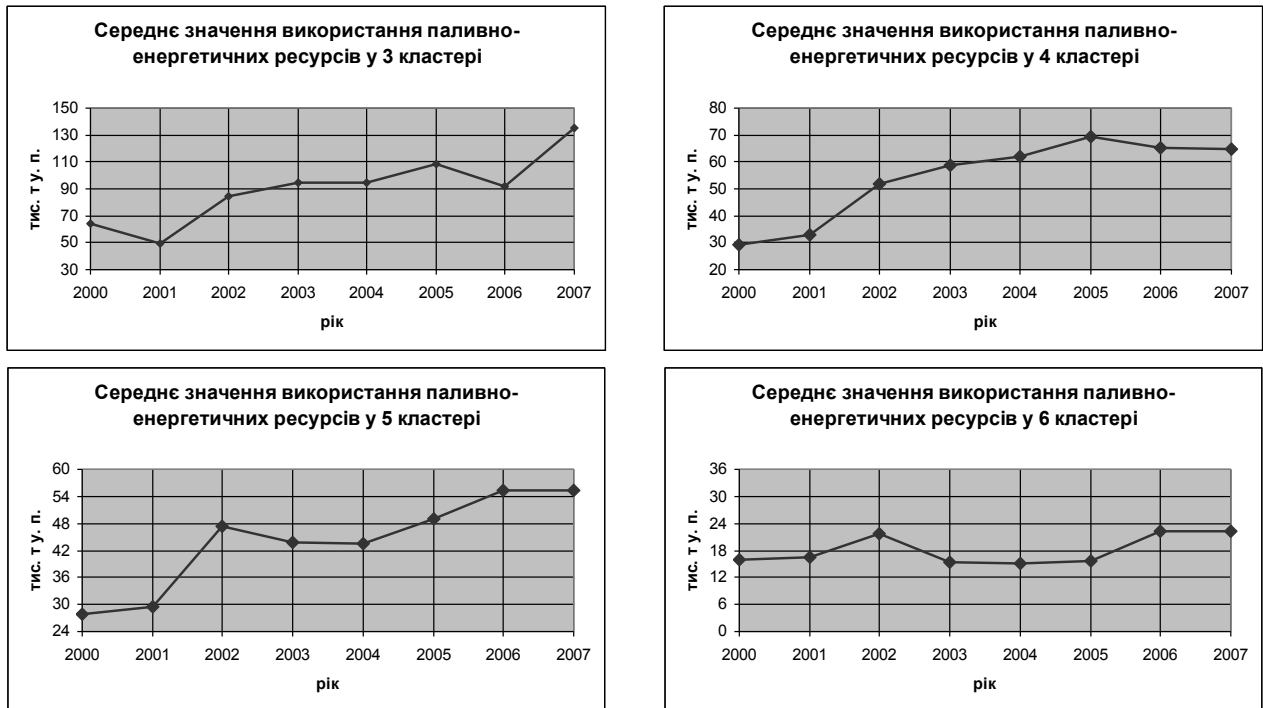


Рисунок 2 – Середнє значення використання паливно-енергетичних ресурсів в кластерах

Висновки

Дослідження використання паливно-енергетичних ресурсів районів Черкаської області з метою знаходження однорідних груп районів для оцінювання ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів може бути виконано методом кластерного аналізу.

1. Середнє значення використання паливно-енергетичних ресурсів в кластерах в залежності від років становить: 1 кластер $2642 \div 2997$ тис. т у. п.; 2 кластер $135 \div 220$ тис. т у. п.; 3 кластер $49 \div 135$ тис. т у. п.; 4 кластер $29 \div 70$ тис. т у. п.; 5 кластер $28 \div 55$ тис. т у. п. та 6 кластер $15 \div 22$ тис. т у. п.

2. Застосування ієрархічного методу класифікації дозволяє отримати дендрограму кластерів районів. Це дає можливість встановити структуру об'єктів всередині кластеру та взаємозв'язок кластерів між собою, що дозволить приймати обґрунтовані управлінські рішення для однорідних груп районів.

3. Застосування теорії кластерного аналізу дає можливість вибирати міру визначення відстані між об'єктами та правила об'єднання кластерів між собою.

4. Теорія кластерного аналізу не дає можливості включення нових об'єктів до вже існуючих кластерів, а вимагає проведення нової класифікації.

1. Забезпечення енергетичної безпеки України / Рада національної безпеки і оборони України, Нац. Ін-т проблем міжнародної безпеки. – К.: НІПМБ, 2006. – 264 с.
2. Праховник А. В., Розен В. П., Дегтярев В. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
3. Розен В. П., Танский А.–М. М. Прогнозирование показателей и классификация состояния энергетической безопасности региона // Энергетика: економіка, екологія. 2005. – № 2. – С. 101 – 109.
4. Розен В. П., Іщук П. П. Районування адміністративних одиниць Волинської області відповідно до стану їх енергобезпеки // Промелектро. – 2005. – № 4. – С. 40 – 45.
5. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов / пер. с англ. И.Б. Гуревича – М.: Мир, 1978. – 412 с.

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РІВЕНЬ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

В.П. Розен, канд.техн.наук, Національний технічний університет України «КПІ»

В.Ф. Ткаченко, Черкаський державний технологічний університет

Показано необхідність застосування статистично – математичних методів для підвищення рівня якості процесу аналізування факторів які впливають на енерговикористання у будівлях бюджетної сфери України.

Вступ

Енергетичне обстеження – це одна з форм проведення державної політики у сфері енергозбереження, яка полягає в наданні допомоги підприємствам, організаціям та установам в підвищенні рівня ефективності використання ними паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) шляхом технічних обстежень та розроблення рекомендацій по впровадженню організаційних, правових, технічних і технологічних заходів з енергозбереження, а також надання допомоги у розробці науково обґрунтованих норм та нормативів питомих витрат ПЕР. [1]. В українській нормативно-правовій базі «терміну енергетичне обстеження» відповідає термін «енергетичний аудит» [2]. **Енергетичний аудит це** - незалежний документовано оформлений процес обстеження, оцінювання потенціалу енергозбереження та рівня ефективності використання ПЕР об'єктом, а також розроблення рекомендацій щодо впровадження енергозберігаючих заходів з виконанням технічних вимог, вимог до якості продукції, охорони праці та довкілля. [2].

Для підвищення рівня ефективності споживання ПЕР необхідно визначити основні, прості методи аналізування їх споживання, фактори які впливають на енерговикористання об'єктів споживання енергії та методи аналізування ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. Застосування принципів менеджменту та логістики в управлінні споживанням ПЕР, впровадження комплексів заходів (спостережень, оцінок, прогнозів), реєстрування основних показників споживання, оперативне виявлення результатів впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на ефективність використання ПЕР виробничою системою є основою для впровадження енергетичного моніторингу [2].

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Проведення енергетичного аудиту не стало закономірністю, що було б логічною нормою в умовах зростання цін на енергетичні ресурси та погіршення екологічної ситуації в світовому масштабі. Розроблення законодавства, нормативно - правових документів і методів проведення енергетичного аудиту, на жаль, не призвело до проведення системних, регулярних та повсемісних обстежень. Адже кількісні оцінки енергетичної ефективності необхідні як для вирішення системних питань енергозбереження, так і під час впровадження конкретних організаційних та технічних заходів з енергозбереження.

Питанням енергетичного аудиту та управління енергозбереженням присвячено багато статей як науковців так і практиків [3, 4, 5, 6], в яких розглядаються, як правило, питання про впровадження системи енергетичного аудиту в Україні, вибір енергозберігаючих заходів і не розглядаються питання методології аналізування інформації про енергоспоживання.

Згідно закону України «Про електроенергетику» енергія – це електрична чи теплова енергія, що виробляється на об'єктах електроенергетики і є товарною продукцією,

призначеною для купівлі-продажу [7]. Так, ця товарна продукція, тобто товар, має всі характерні ознаки товару. Одна з найважливіших характеристик товару – це його якість.

Забезпечення якісного споживання енергії передбачає комплекс заходів (технічних, організаційних, нормативних, економічних тощо), які дозволяють виконати вимоги до характеристик вхідних і вихідних параметрів системи та її елементів. Під час вирішення завдань енергозбереження важливим є визначення потенційних можливостей економії того чи іншого виду енергії в технологічному процесі чи окремому споживачу, можливості їх міжвидового перетворення, взаємозаміни тощо. Аналіз цих величин обумовлює необхідність оперувати з поняттям «якісне споживання енергії» [8].

Енергію з точки зору якості можна розглядати в момент її виробництва, передачі та споживання. В даній статті мова йде про якісне (ефективне) споживання енергії та методи аналізу ефективного використання ПЕР.

Під якістю споживання енергії слід розуміти – кількість облікованої енергії, відповідної до договору якості, на рівні затвердженого регламенту, яка надійшла споживачу і використовується ефективно, на підставі економічного і технологічного обґрунтування.

Формування цілей та завдань статті

Метою статті є підвищення рівня якості процесу аналізування факторів від яких залежить споживання ПЕР у бюджетній сфері України та визначення їх пріоритетності і ваги.

Для вирішення поставленої цілі розглядаються наступні завдання:

- визначення факторів які впливають на енерговикористання у бюджетній сфері;
- систематизування факторів за допомогою схеми Ісікави [9,10,11,12];
- визначення пріоритетності та ваги факторів за допомогою методу попарних порівнянь [13,14];
- визначення пріоритетності та ваги впливу факторів забезпечення за допомогою статистичних методів аналізу, а саме, діаграми Парето. [2,10, 15]

Методика до визначення факторів впливу та факторів забезпечення на рівень енергоефективності

Для впровадження енергозберігаючих заходів, аналізування ефективності від впровадження енергозберігаючих заходів і аналізу ефективності витрат ПЕР буде правильно застосовувати, системний підхід, реалізація якого можлива лише в рамках системи управління якістю [12], або системи менеджменту якості разом з системою управління потоками енергії і витратами на її споживання тобто енергетичний менеджмент [8].

Відомий американський спеціаліст, в області економіки, Едвард Демінг ще в 1950 р. писав, що на 85 % вирішення проблеми залежить не від людей, а від системи управління якістю. [12]

Для аналізування результатів контролю якості широке застосування отримали методи статистичного контролю якості (Statistical Quality Control –SQC). Найбільше відомі серед них стали «сім інструментів контролю якості». В число цих інструментів входять: метод розшарування, графіки, діаграма потоку, діаграма Парето, причинно-наслідкова діаграма, контрольні карти, гістограми. [9]

Під час виявлення факторів, які впливають на який небудь показник, котрий характеризує якість, використовують схему Ісікави або, як її ще називають причинно-наслідковою діаграмою. Вона складається з показника якості, який характеризує результат, і факторних показників [9,10,11,12]. Під час складання причинно-наслідкової діаграми можливо виявити вторинні, а іноді, третинні і тд. причини які впливають на якість процесу [9].

Фактори від яких залежить рівень споживання ПЕР для різних областей економіки, різних регіонів, різних підприємств чи організацій – відрізняються. Тобто проблема енергозбереження чи заходи що до скорочення енергоспоживання для промислового підприємства і адміністративного району, а тим паче для організацій чи установ будуть різні.

Такий фактор впливу на проблему енергозбереження як кадрове забезпечення, для підприємства полягає в тому щоб мати на підприємстві кваліфікованого енергоменеджера. Для державного сектору економіки – необхідно забезпечити умови навчання такого спеціаліста, а для приватного сектору достатньо щоб були засновані центри консультування з питань раціонального використання енергії.

Для різних рівнів управління енерговикористанням, треба застосувати принципи децентралізації [16], тобто розділити проблему управління енерговикористанням на сім секторів, за адміністративними ознаками:

- загальнодержавна;
- галузева;
- регіональна;
- місцева;
- організацій та установ бюджетної сфери;
- підприємств;
- приватних будинків та господарств.

Виявлення та детальне аналізування факторів які впливають на проблему енергозбереження у бюджетній сфері України, показують неоднозначність впливу факторів та відсутність прямої дії їх впливу на об'єкт управління. Наприклад дуже важко знайти прямий зв'язок чи ступінь впливу керівних документів Державного рівня у сфері енергозбереження, на ефективне використання системи освітлення у конкретній кімнаті гуртожитку навчального закладу. Такий вплив можливо прослідити тільки через шлях обігу керівних документів, як це показано на рис.1.

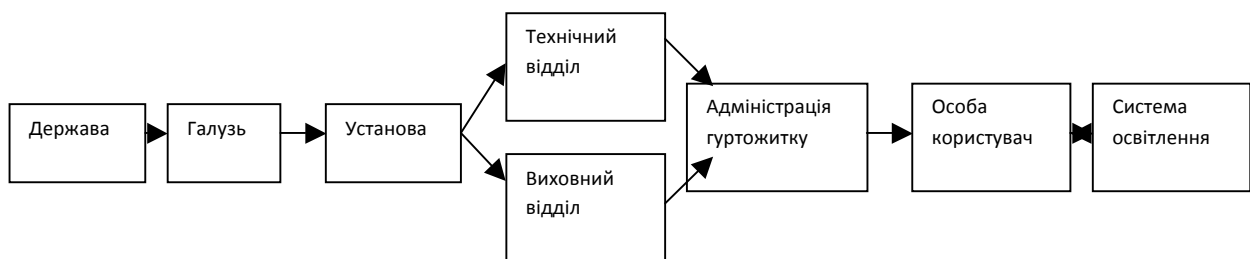


Рисунок 1 – Шлях обігу керівних документів

Фактори від яких залежить споживання ПЕР [9] можна поділити на дві групи:

фактори забезпечення – це фактори виконання чи вплив на які є передумовою управління проблемою енергозбереження, та **фактори впливу** – це фактори які безпосередньо впливають на управління проблемою.

Аналізуючи шляхи досягнення енергоефективності учбовими закладами в Україні, відмітимо, що існує велика кількість факторів, які за їх сумарною кількості складають «критичну масу» і не дозволяють досягти впевнених результатів у сфері енергозбереження.

Важливим завданням для досягнення ефективності використання ПЕР є пошук необхідних етапів і створення системної стратегії енергозбереження, що дозволять подолати перешкоди. Тобто, необхідними умовами для досягнення енергоефективності в Україні є руйнування «критичної маси» негативних перешкод.

Представимо на рис.2 фактори забезпечення, що впливають на управління ефективністю використання ПЕР у бюджетній сфері, зокрема у вищих навчальних закладах Черкаської області, з використанням схеми Ісікави.

На рис. 2 відображені тільки вторинні фактори, котрі, як правило виявляються факторами забезпечення, що не в повній мірі відображає проблему управління ефективним споживанням ПЕР або енергозбереженням у будівлях бюджетної сфери. Відображення на діаграмі факторів третього та наступних порядків покажуть наявність факторів впливу на конкретний об'єкт (систему) управління.

Предметом аналізу у даній статті є фактори від яких залежить енергоспоживання у закладах освіти Черкаської області. Сучасний стан аналізу можна охарактеризувати як розвинену у теоретичному плані науку. Разом з тим, наука знаходиться у стані розвитку. Ведуться дослідження в області більш широкого використання математичних методів, які дозволяють оптимізувати управлінські рішення.

Для виявлення впливу на проблему енергозбереження факторів забезпечення застосуємо метод попарних порівнянь (МПП) [13,14,17]. Який має великі потенційні можливості у розв'язанні задач прийняття рішень. Результатом проведення аналізу (МПП) буде виявлення пріоритетності та вага факторів від яких залежить ефективне використання енергії. Такі задачі відносяться до задач нематематичної статистики [17].

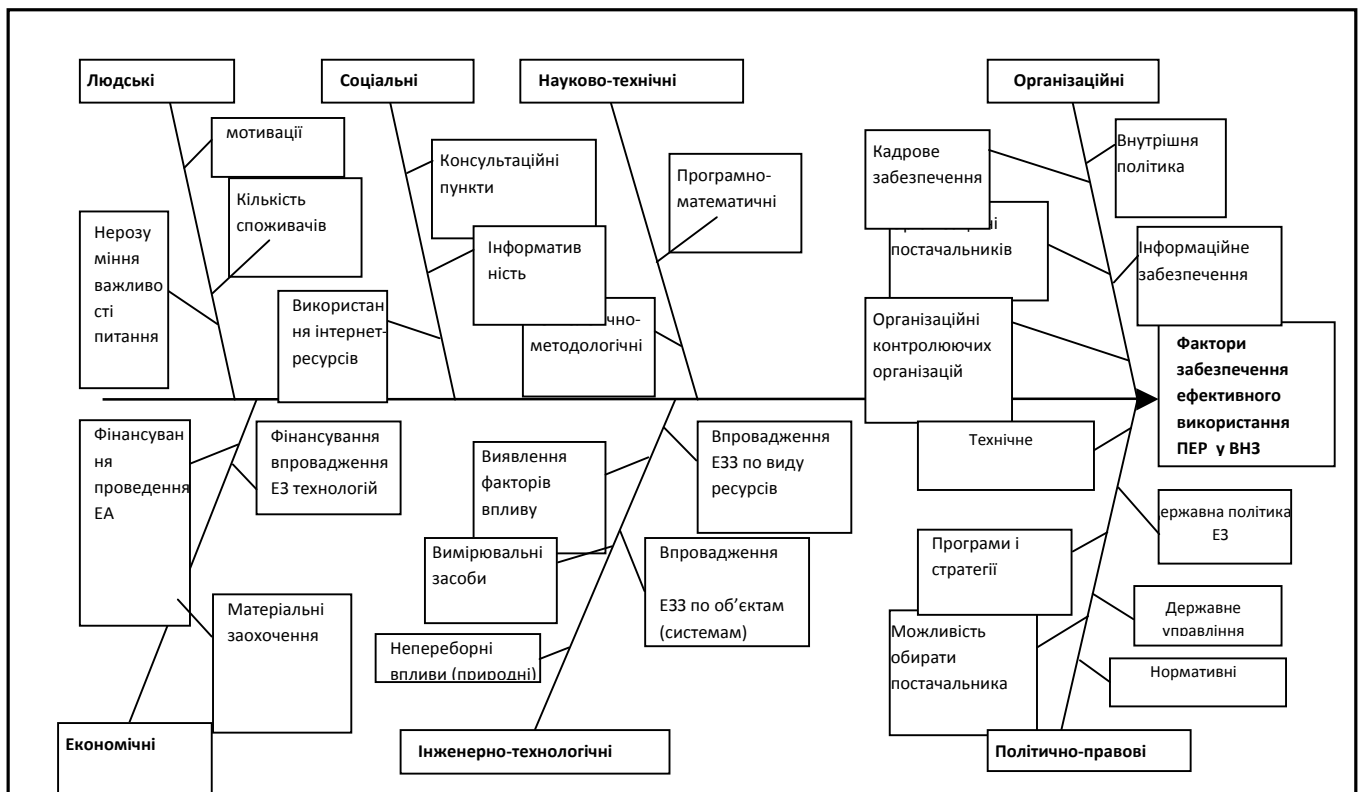


Рисунок 2 - Схема Ісікава, фактори забезпечення які впливають на ефективність використання ПЕР у навчальних закладах

Вхідними даними, для рішення поставленої задачі будуть вершини причинно-наслідкової діаграми рис. 2, яким присвоюємо індекси, відповідно $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихідні данні для МПП

Індекс фактору	Найменування фактору забезпечення
X_1	Організаційний
X_2	Інженерно-технологічний

X ₃	Соціальний
X ₄	Політично-правовий
X ₅	Науково-технічний
X ₆	Економічний
X ₇	Людський

Виявлення ступеня важливості (пріоритету) серед факторів визначаємо за допомогою експертних оцінок. Для виконання даного етапу задачі були запрошені п'ять експертів в області енергетики. Вони попарно оцінювали фактори забезпечення, виходячи з умов, що фактори мають три ступеня вагомості: «>», «<», «=». Оцінки переводимо у кількісний вид: знак «>» – 1,5, знак «<» – 0,5, і знак «=» – 1. Данні їх опитування занесені в табл. 2.

Таблиця 2 – Експертна оцінка факторів

Порівняльні пари	Найменування порівняльних пар		Експерти					Середня оцінка порівняння факторів	
			1	2	3	4	5	1-ша	2-га
X1-X2	Організаційний	Інженерно-технологічний	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0,9	1,1
X1-X3	Організаційний	Соціальний	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
X1-X4	Організаційний	Політично-правовий	1	1	0,5	1,5	1,5	1,1	0,9
X1-X5	Організаційний	Науково-технічний	1	0,5	1,5	0,5	0,5	0,8	1,2
X1-X6	Організаційний	Економічний	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,4	0,6
X1-X7	Організаційний	Людський	1,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,1	0,9
X2-X3	Інженерно-технологічний	Соціальний	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
X2-X4	Інженерно-технологічний	Політично-правовий	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,4	0,6
X2-X5	Інженерно-технологічний	Науково-технічний	1	1	1,5	1,5	1	1,2	0,8
X2-X6	Інженерно-технологічний	Економічний	0,5	1,5	0,5	1,5	1,5	1,1	0,9
X2-X7	Інженерно-технологічний	Людський	1,5	1,5	0,5	1,5	1,5	1,3	0,7
X3-X4	Соціальний	Політично-правовий	0,5	1	1	0,5	0,5	0,7	1,3
X3-X5	Соціальний	Науково-технічний	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5
X3-X6	Соціальний	Економічний	1	1,5	0,5	1	1,5	1,1	0,9
X3-X7	Соціальний	Людський	0,5	1	1	1,5	1,5	1,1	0,9
X4-X5	Політично-правовий	Науково-технічний	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,9	1,1
X4-X6	Політично-правовий	Економічний	1,5	1,5	0,5	1,5	1,5	1,3	0,7

X4-X7	Політично-правовий	Людський	0,5	0,5	1	0,5	1,5	0,8	1,2
X5-X6	Науково-технічний	Економічний	1,5	1	0,5	1,5	1,5	1,2	0,8
X5-X7	Науково-технічний	Людський	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	0,7
X6-X7	Економічний	Людський	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	0,7

Підсумкову (середню) оцінку виявляємо як результат опитування всіх експертів, за наступною формулою:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^m B_i}{m},$$

де B_i – значення ступеня вагомості фактору, визначене кожним експертом;

m – кількість експертів.

Це перша середня оцінка.

Значення оцінок k_1 і k_2 повинні бути визначені для кожної порівняльної пари. Середня оцінка k_2 визначається за формулою:

$$k_2 = 2 - k_1$$

На підставі даних експертного опитування заповнюємо таблицю пріоритету факторів табл. 3.

Таблиця 3 – Пріоритети факторів забезпечення

Індекс фактору	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Визначення пріоритету		Пріоритет фактору	Вага фактору, %
								сума	$K_{\text{пріоритету}}$		
X1	0	0,9	1,5	1,1	0,8	1,4	1,1	6,8	0,076	3	16,2
X2	1,1	0	1,5	1,4	1,2	1,1	1,3	7,6	0,084	1	18,1
X3	0,5	0,5	0	0,7	0,5	1,1	1,1	4,4	0,049	7	10,5
X4	0,9	0,6	1,3	0	0,9	1,3	0,8	5,8	0,064	4	13,8
X5	1,2	0,8	1,5	1,1	0	1,2	1,3	7,1	0,079	2	16,9
X6	0,6	0,9	0,9	0,7	0,8	0	1,3	5,2	0,058	5	12,4
X7	0,9	0,7	0,9	1,2	0,7	0,7	0	5,1	0,057	6	12,1

Коефіцієнт пріоритету факторів впливу знаходимо за наступною формулою:

$$K_{\text{пріоритету}} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} k_i}{n \cdot (n-1)},$$

де значення $\sum_{i=1}^{m-1} k_i$ береться із стовпця «сума» таблиці 3; n – кількість порівняльних факторів.

Вагу фактору розраховуємо по відсотковій шкалі. Визначаємо скільки відсотків від цілого займає кожен із факторів за формулою:

$$B_{i \text{ фактору}} = \frac{K_i \text{ пріоритету}}{\sum_{i=1}^m K_i \text{ пріоритету}} \cdot 100 \%,$$

де m – кількість порівняльних факторів.

Дані розрахунку заносимо у табл. 3.

Для візуалізації пріоритетності та ваги факторів забезпечення застосуємо графічний метод статистичного аналізу - діаграму Парето за допомогою статистичного програмного комплексу «STATISTICA» (рис 3).

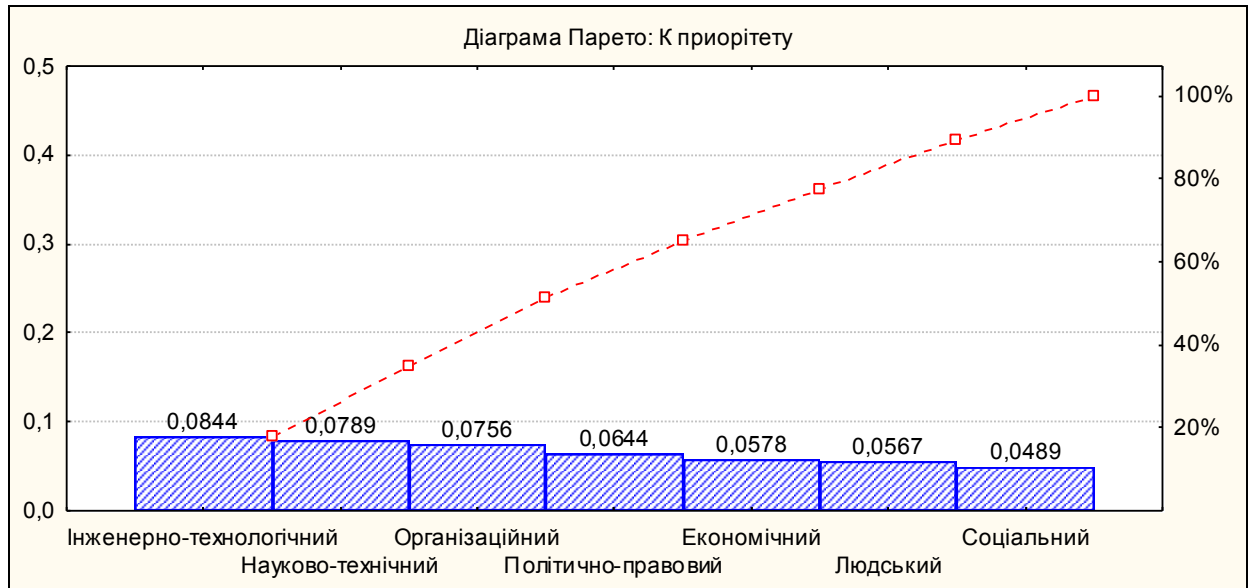


Рис.унок 3 – Діаграма Парето. Пріоритетність та вага факторів забезпечення

Ця діаграма візуально показує вклад кожного з факторів забезпечення у загальну вагу проблеми управління енергозбереженням. Діаграма Парето це особлива форма вертикального стовпчикowego графіку який допомагає визначити, які є проблеми і порядок їх вирішення.

Висновки

1. Запропонований новий методологічний підхід до визначення факторів впливу та факторів забезпечення на рівень енергоспоживання у навчальних закладах Черкаської області дозволяє підвищити рівень якості процесу аналізування факторів від яких залежить споживання ПЕР та визначити пріоритети і вагу факторів які впливають на енергоспоживання у закладах освіти.
2. Встановлено, що найголовніші фактори забезпечення, це інженерно-технологічні, науково-технічні, організаційні і політично правові. Вага цих факторів має найвищі значення, а відповідно і вклад у процес управління енергозбереженням.
3. Застосування методики для аналізу проблеми енергозбереження в установах освіти дозволить визначити основні напрямки впливу на управління енерговикористанням, дасть можливість візуально показати напрямок першочергових рішень для поліпшення стану енергозбереження у закладах освіти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тимчасове положення про порядок проведення енергетичного обстеження підприємств і атестації спеціалізованих організацій на право його проведення. № 49 від 12.05.1997 р.
2. Енергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с
3. Маляренко В.А., Немировский И.А. Энергосбережение и энергетический аудит. Учебное пособие / Под ред. проф. Маляренко В.А. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 253 с. с прил.
4. Бодюк А.В., Циба Р.П., Хотянівська Н.В., Централізоване управління енергозбереженням. Журнал «Енергосбережение» №10, 2007 г. Донецк.
5. Башмаков А.И. «Повышение энергоэффективности в организациях бюджетной сферы» Журнал «Енергосбережение» №6, 2009 г. Москва.
6. Г.Я.Вагин, А.Б.Лоскутов, и др. «Энергоаудит организаций бюджетной сферы Нижегородского региона». Журнал «Энергоеффективность: опыт, проблемы, решения» № 1 1999 г. Нижегородская обл.
7. Закон України „Про електроенергетику ” від 16.10.1997 р. № 575.
8. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України/ Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський А.К. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
9. Огвоздин В.Ю. Управление качеством. Основы теории и практики: Учебное пособие. – М.: Издательство «Дело и сервис», 1999 г. – 160 с.
10. Учебник для вузов / С.Д. Ильенкова, Н.Д. Ильенкова, и др. Под.ред.С.Д. Ильенковой. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 199 с
11. Шегда А.В. Менеджмент: Підручник. – К.: Знання, 2004. – 687 с.
12. Шаповал М.І. Менеджмент якості:Підручник. – К.: Знання, 2006. – 471 с.
13. Горлова Л.П., Крыжановская Е.П., Муровская В.В. Организация функционально-стоимостного анализа на предприятии. – М.: Финансы и статистика, 1982 г. – 127 с.
14. Карпунин М.Г., Толмачев А.В., Внедрение ФСА в электротехнической промышленности // Электротехн. Пром-сть.Общепромышленные вопросы. – 1978.– № 2. – С: 3–4.
15. Окрипелов В.В. Управление качеством: Учебник для вузов / 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ОАО «Изд-во «Экономика», 1998. – 639 с.
16. Таранов П.С. Манёвры общения. – Донецк: Сталкер, 1999. – 432 с
17. Нечисловая статистика / А.И.Орлов. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 513 с .
18. Экономический анализ: Учебное пособие для самостоятельного изучения дисциплины. – Х.: ИД «ИНЖЕК», 2003. – 208 с.

МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ПРОЕКТІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙ БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ

Розен В.П., к.т.н., проф., Чернявський А.В., Ячник Є.А. аспірант

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Кафедра АУЕК, НТУУ „КПІ”, м. Київ, 03056, Україна

Анотація

У статті розглянуто авторський підхід щодо розроблення методики моніторингу проектів з енергозбереження в організаціях бюджетної сфери. Сформульовану задачу вирішено у нечіткій постановці, враховуючи невизначеність вхідної інформації.

Ключові слова: енергозбереження, моніторинг проектів з енергозбереження, невизначеність вхідної інформації.

Аннотация

В статье рассмотрен авторский подход к разработке методики мониторинга проектов по энергосбережению в организациях бюджетной сферы. Сформулированная задача решена в нечеткой постановке, учитывая неопределённость исходной информации.

Ключевые слова: энергосбережение, мониторинг проектов по энергосбережению, неопределенность исходной информации.

Annotation

In the article author approach is considered in relation to development of method of monitoring of projects from an energy-savings in organizations of budgetary sphere. The formulated task is decided in the unclear raising, taking into account the vagueness of entrance information.

Keywords: energy-savings, monitoring of projects from an energy-savings, vagueness of entrance information.

Постановка проблеми. Одним з важливих факторів оптимізації витрат на утримання організацій, які фінансуються з бюджетів різних рівнів, є зменшення витрат на оплату паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР).

На всіх рівнях державного управління в повній мірі повинні бути використані такі інструменти як управління системою енергозбереження та фінансування проектів з енергозбереження.

Мета системи моніторингу споживання ПЕР – це оцінювання ефективності використання фінансових ресурсів, а також можливостей зменшення витрат бюджетних споживачів, а відповідно – і бюджетних витрат.

Дієвим інструментом, який би сприяв раціоналізації системи платежів за ПЕР, є розроблення системи, яку спрямовано на єдиний результат і запроваджено на основі даних, які отримані від бюджетних організацій.

Така система створює реальну основу для зниження витрат на ПЕР за умови подальшої реалізації проектів з енергозбереження об'єктів бюджетної сфери та стимулює економне споживання ПЕР. Планування бюджетних витрат, які надаються організації бюджетної сфери на енергозбереження, здійснюється на основі визначення фактичної потреби в них та встановлення лімітів фінансування.

До системи управління енергозбереженням входить програма впровадження проектів з енергозбереження, яка є сукупністю науково-технічних та інноваційних проектів, які об'єднані загальною метою, термінами виконання та механізмами фінансування.

Методика моніторингу базується на принципах об'єктивності отриманих даних, незалежності, безперервності пооб'єктного контролю та обліку інформації, яка поступає для подальшого планування витрат ПЕР, захист від суб'єктивної інтерпретації тих осіб, які збирають чи надають інформацію, що досягається чіткістю, визначеністю параметрів, які фіксуються кількісно [1].

У методиці моніторингу особливу увагу потрібно приділяти таким важливим складовим: організація регулярних потоків інформації про впровадження проектів з енергозбереження та об'єми фінансування на окремих об'єктах, її аналіз та оцінки. Аналіз зібраних даних є основою для оцінювання, в результаті якого визначають об'єкти з неефективним споживанням ресурсів на впровадження проектів з енергозбереження.

Аналіз впровадження та реалізації планів впровадження проектів з енергозбереження показав: а) різноманітність планів; б) довільність групування проектів з енергозбереження; в) відсутність однаковості показників ефективності проектів з енергозбереження. Крім того, ефективність проектів часто розглядають як аналітичний (довідковий) матеріал та недостатньо враховують у разі прийняття планових рішень. Вибір та розроблення визначених проектів з енергозбереження нерідко здійснюється без достатньо глибокого економічного обґрунтування. У плани вводять різнохарактерні, не ув'язані між собою заходи, що перешкоджає концентрації ресурсів на важливих напрямках використання наявного потенціалу енергозбереження. У загальному комплексі проектів з енергозбереження поряд з великими та відносно капіталомісткими (впровадження нового виду обладнання та технологій, реконструкція виробництв з модернізацією та заміною застарілого обладнання та ін.) входять заходи, реалізація яких не потребує великих витрат [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Побудова оптимізаційної моделі плану впровадження проектів з енергозбереження, вибір алгоритмів її рішення є пріоритетним для аналізування [3]. У [2] проаналізовано задачі оптимізації плану впровадження заходів з енергозбереження у разі відбирання їх для введення до плану використання потенціалу енергозбереження за умови невизначеності вхідної інформації.

Формування мети дослідження. Метою даної роботи є підвищення рівня ефективності використання ПЕР в організаціях бюджетної сфери за умов обмеження фінансових ресурсів шляхом ефективного енергетичного моніторингу впровадження проектів з енергозбереження та невизначеності вхідної інформації.

Математична постановка задачі. За реальних умов планування впровадження проектів з енергозбереження об'єктів бюджетної сфери здійснюється, як правило, в умовах невизначеності вхідної інформації, її неповноти, що породжує невизначеність умов їх планування.

На першому етапі моніторингу проектів важливо визначити потребу в фінансових ресурсах, яких не вистачає на виконання усіх заходів з енергозбереження, проаналізувати причини їх низької економічної ефективності та необхідність впровадження [4].

Крім того, перелік заходів з енергозбереження, проектів, які будуть впроваджені у кожному звітному періоді варіюють. Це вносить свої корективи у кінцеву їх вартість, що у свою чергу відображається на отриманій економії. Ці величини ймовірнісні, містять невизначеність вхідної інформації. У цих умовах рішення задачі потребує використання відповідного математичного апарату, а саме, теорії нечітких множин (ТНМ) [2].

Задача оптимізації плану впровадження заходів з енергозбереження у разі відбирання їх для включення до проекту впровадження може бути сформульовано двояко: максимізація функції цілі для заданих ресурсів чи мінімізація ресурсів та переведення функції цілі у обмеження.

Нехай загальна кількість вибраних заходів з енергозбереження - n і $j = \overline{1, n}$. Кожний j -ий захід з енергозбереження дає ефект (економію енергоресурсів, т у. п.) у розмірі c_j . Витрати фінансових ресурсів на реалізацію кожного заходу з енергозбереження позначимо через a_j . Відомий також лімітований об'єм фінансових ресурсів R . Метою рішення задачі є вибір із сукупності заходів з енергозбереження більш ефективних щодо енерговикористання.

Цільову функцію буде представлено у вигляді

$$Z = f(x_j) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \quad (1)$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq R, \quad (2)$$

$$0 \leq a_j \leq R, \quad (3)$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j\text{-ий захід з енергозбереження вибирають для включення до проекту;} \\ 0, & \text{якщо } j\text{-ий захід з енергозбереження не вибирають.} \end{cases}$$

У разі прямого перебирання різних комбінацій, які запропоновані до впровадження заходів з енергозбереження, можуть виникнути технічно несумісні, тому доповнимо систему обмежень на допустимі поєднання заходів з енергозбереження умовою

$$\sum_{j \in R_q} x_j \leq 1, \quad q = \overline{1, Q}, \quad (4)$$

де R_q - множина індексів заходів з енергозбереження, які складають q -е недопустиме поєднання;

Q - загальна кількість недопустимих поєднань заходів з енергозбереження.

Враховуючи невизначеність величини c_j , цільову функцію (1) потрібно подати у вигляді

$$\tilde{Z} = \tilde{f}(x_j) = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j \rightarrow \max, \quad (5)$$

де $\tilde{Z}$ - нечітка цільова функція;

$\tilde{f}(x_j)$ - нечітка функція x_j ;

$\tilde{c}_j$ - нечіткі коефіцієнти.

Крім того, враховуючи невизначеність величини a_j , обмеження (2), (3) потрібно представити у наступному вигляді

$$\tilde{\varphi}(x_j) = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_j x_j \subseteq \tilde{R}, \quad (6)$$

де $\tilde{\varphi}(x_j)$ - нечіткі функції x_j ; $F(R^m) \rightarrow F(R)$, де $F(R^m)$ та $F(R)$ - сукупність нечітких множин, які визначені на m -мірному просторі R^m і на множині дійсних чисел R ; $\tilde{a}_j$ - нечіткі коефіцієнти.

Для рішення задачі оптимізації нечіткої цільової функції (5) у разі нечітких обмежень (6) скористаємося методом, який оснований на заміні нечітких множин множинами α -

рівня, який запропоновано у [5-9]. Тоді для рішення поставленої задачі достатньо вирішити задачу (1) у разі обмежень

$$\varphi^\alpha(x_j) = \sum_{j=1}^n a_j^\alpha x_j \leq R^\alpha, \quad \sum_{j \in R_q}^m x_j \leq 1, \quad q = \overline{1, Q}, \quad (7)$$

Це є задача класичного лінійного програмування на α -рівні. Отже, початкову задачу можна звести до рішення безлічі нескінчених класичних задач оптимізації [5-8].

Якщо прийняти, що рішенням задачі (1) буде значення x_j^α , то розв'язок початкової задачі буде мати вигляд

$$x_j^*(x_j^\alpha) = \sup \left\{ \alpha / f(x_j^\alpha) = \max_{x_j^\alpha} f(x_j) \right\}. \quad (8)$$

Задачу оптимізації з нечіткою ціллю та нечіткими обмеженнями у векторному вигляді сформулюємо наступним чином.

Нехай $\mu_{\tilde{f}} \in F[F(R^m)]$ – нечітка ціль, а $\mu_{\tilde{\varphi}} \in F(R^m)$ – нечітке обмеження. Тоді задачею оптимізації з нечіткою ціллю та нечіткими обмеженнями є умова

$$\tilde{Z} = \tilde{f}(x) = \tilde{c}x \rightarrow \max, \quad (9)$$

за обмежень

$$\tilde{a}x \subseteq \tilde{R}. \quad (10)$$

Для рішення задачі (9) та (10) об'єднаємо дві задачі – оптимізацію з нечіткою ціллю та чіткими обмеженнями і задачу оптимізації з чіткою ціллю та нечіткими обмеженнями. Отримаємо наступну модель

$$f^{\alpha_l}(x) = c^{\alpha_l} x \rightarrow \max, \quad (11)$$

$$a^{\alpha_l} x \leq R^{\alpha_l}, \quad (12)$$

$$\text{де } \alpha_l (l = \overline{0, k}) \in [0, 1], \quad \tilde{f} = \sum_{l=0}^k \mu_l / f^{\alpha_l}, \quad \tilde{\varphi}_1 = \sum_{l=0}^k \mu_l / \varphi_1^{\alpha_l}, \quad \mu_l \geq 1 - \alpha.$$

Така модель відноситься до класу задач нелінійного програмування зі змінними, частина яких є булевими [9].

Рішення задачі за допомогою ТНМ забезпечує можливість оперативного перерахунку та вибору оптимальної сукупності проектів з енергозбереження які дають більший ефект залежно від зміни бюджетного фінансування.

Методика виконання задачі за допомогою теорії нечітких множин

Метод, який оснований на ТНМ за нечітких обмежень та цільовій функції [9], передбачає наступну послідовність дій:

Крок 1. Збирання вхідних даних. Як приклад, зібрано вхідну інформацію для 30 бюджетних організацій, які входять до комунального підприємства “Група впровадження проектів з енергозбереження у адміністративних та громадських будівлях м. Києва”. Бюджетні організації перебувають на балансі м. Києва у рамках звітності про впровадження програм (проектів) для моніторингу заходів з енергозбереження та ефективності їх використання згідно з Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.12.08 № 1567-р “Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів”.

Фрагмент вхідних даних параметрів a , b та наближеної точкової оцінки L переліку заходів з енергозбереження, які заплановано для впровадження у бюджетних організаціях, наведено у табл. 1.

Нехай на поточний звітний період моніторингу були заплановані для впровадження наступні заходи з енергозбереження x_j , кожному з яких надано найменування A_j :

x_1 - встановлення радіаторних рефлекторів A_1 ;

x_2 - ущільнення стиків вікон та дверей A_2 ;

x_3 - встановлення системи регулювання опалення та ГВП A_3 ;

x_4 - встановлення аераторів на водопровідних кранах A_4 ;

x_5 - встановлення лічильників тепла A_5 .

Припустимо, що бюджетно-фінансові ресурси на впровадження заходів з енергозбереження для включення до проекту реалізації для кожного j -ого заходу даної кількості бюджетних організацій (табл. 1) будуть складати 50000 грн. (фінансові ресурси, які виділено на поточний плановий період для організацій бюджетної сфери на розвиток енергозбереження).

Таблиця 1 - Фрагмент вхідних даних параметрів a , b та наближеної точкової оцінки L переліку заходів з енергозбереження, які заплановано для впровадження у бюджетних організаціях

п/п	Місце впровадження	Заходи з енергозбереження, які заплановано для впровадження*	Вартість розроблення та впровадження заходів з енергозбереження, грн.	Параметри, які визначають рівень економії теплової енергії, т у. п.		
				a	L	b
	Установа № 1					
		$A_{1.1}$	37 766,02	0,69	0,72	0,76
		$A_{1.2}$	22659,61	0,86	0,90	0,95
		$A_{1.3}$	75532,04	5,17	5,42	5,68
		$A_{1.4}$	3776,60	0,17	0,18	0,19
		$A_{1.5}$	22659,61	6,89	7,23	7,57
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
0	Дошкільна учбова установа № 19					
		$A_{30.1}$	37 099,18	0,79	0,84	0,88
		$A_{30.2}$	22259,51	0,99	1,04	1,09
		$A_{30.3}$	74198,35	5,97	6,27	6,56
		$A_{30.4}$	3709,92	0,19	0,21	0,22
		$A_{30.5}$	22259,51	7,96	8,35	8,75

* - набір заходів, вартість та економічний ефект сформовані виходячи з досвіду впровадження проектів з енергозбереження у адміністративних та громадських будівлях м. Києва

Крок 2. Формування нечіткої моделі, враховуючи приведені значення економії ПЕР в т у. п. та обмеження.

Нечітка модель для кожної з 30 організацій бюджетної сфери буде мати вигляд

$$f(x_j) = (0,5/a_j + 1/L_j + 0,5/b_j)x_j \rightarrow \max \quad (13)$$

Для закладу № 1 нечітка модель буде представлена у вигляді

$$f(x_j) = (0,5/0,69 + 1/0,72 + 0,5/0,76)x_1 + (0,5/0,86 + 1/0,90 + 0,5/0,95)x_2 + \\ + (0,5/5,17 + 1/5,42 + 0,5/5,68)x_3 + (0,5/0,17 + 1/0,18 + 0,5/0,19)x_4 + \\ + (0,5/6,89 + 1/7,23 + 0,5/7,57)x_5 \rightarrow \max$$

(14)

враховуючи обмеження

$$\varphi_1(x_j) = 37766,02x_1 + 22659,61x_2 + 75532,04x_3 + 3776,6x_4 + 22659,61x_5 \leq 50000, \quad (15)$$

$$x_j = \{0, 1\}, \quad i = (\overline{1, 5}), \quad (16)$$

де $f(x_j)$ – ефект від впровадження всіх заходів з енергозбереження, т у. п.;

$\varphi(x_j)$ – кошторисна вартість впровадження, грн;

x_j – заходи з енергозбереження, кожному з яких присвоєно найменування: $\dot{A}_i$: x_1 - $\dot{A}_1$; x_2 - $\dot{A}_2$; x_3 - $\dot{A}_3$; x_4 - $\dot{A}_4$; x_5 - $\dot{A}_5$.

Задача оптимізації впровадження заходів з енергозбереження основана на таких значеннях x_j , $i = (\overline{1, 5})$, за яких досягається максимізація економії ПЕР у разі обмежень (15), (16).

Крок 3. Використання алгоритму методу повного перебирання [9], який полягає у виявленні оптимальної групи заходів з енергозбереження для уведення до проекту реалізації, враховуючи обмеження (15), (16).

Для виявлення цієї оптимальної групи необхідно розрахувати значення величин економії теплової енергії, які отримано у разі реалізації усіх можливих варіантів груп заходів.

Отримуємо 3-критеріальну задачу [9], для рішення якої застосовано метод згортання критеріїв з фіксованими пріоритетами λ_i ($i = \overline{1, 3}$) [9].

У результаті максимізації згортки критеріїв згідно виразу

$$J = \lambda_1 f(x_j)^{0,5} + \lambda_2 f(x_j)^{0,5} + \lambda_3 f(x_j)^{0,5}, \quad (17)$$

де $\sum_{j=1}^3 \lambda_i = 1$, отримаємо

$$J = 0,25(0,69x_1 + 0,86x_2 + 5,17x_3 + 0,17x_4 + 6,89x_5) + \\ + 0,50(0,72x_1 + 0,90x_2 + 5,42x_3 + 0,18x_4 + 7,23x_5) + \\ + 0,25(0,76x_1 + 0,95x_2 + 5,68x_3 + 0,19x_4 + 7,57x_5). \quad (18)$$

Методом повного (прямого) перебирання варіантів, враховуючи обмеження (15), (16), був отриманий наступний результат набору заходів з енергозбереження для впровадження:

$$x_1^* = 0, \quad x_2^* = 1, \quad x_3^* = 0, \quad x_4^* = 1, \quad x_5^* = 1;$$

Остаточна економія теплової енергії в т. у. п. та у грн за звітний період складе:

$$f(x_j) = 8,32 \text{ т у. т.} = 3173,25 \text{ грн};$$

$$\varphi_1^*(x_2^*, x_4^*, x_5^*) = 49095,82 \text{ грн.} < 50000 \text{ грн.}$$

Оптимальним у разі обмежень (15) та (16) є впровадження заходів x_2 , x_4 , x_5 . Аналогічні розрахунки проведено для бюджетних організацій які залишились. Фрагмент остаточних значень отриманої економії теплової енергії від впровадження певного набору заходів з енергозбереження, які відображають оптимальний розподіл фінансових бюджетних ресурсів для кожного з 30 приведених об'єктів, наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Фрагмент остаточних значень отриманої економії теплової енергії від впровадження певного набору заходів з енергозбереження

п/п	Місце впровадження	Заходи з енергозбереження, які заплановано для впровадження	Вартість розроблення та впровадження заходів з енергозбереження, грн.	Економія теплової енергії $f(x_j)$	
				т у. п.	грн.
	Установа № 1				
		$A_{1,2}$	22659,61	8,32	3173,25
		$A_{1,4}$	3776,60		
		$A_{1,5}$	22659,61		
		Разом	49095,82		
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
0	Дошкільна учбова установа № 19				
		$A_{1,2}$	22259,51	9,61	3666,32
		$A_{1,4}$	3709,92		
		$A_{1,5}$	22259,51		
		Разом	48228,94		

Висновки

У разі моніторингового відслідковування у кожному звітному періоді проводять оптимальний перерозподіл фінансових бюджетних ресурсів та визначають новий склад впроваджених заходів з енергозбереження, для уведення їх до проекту реалізації в організаціях бюджетної сфери.

Отже, реалізацію методики моніторингу проектів бюджетної сфери спрямовано як на ефективне використання фінансових ресурсів в умовах обмежень, так і на ефективність у разі впровадження вибраних проектів з енергозбереження.

Перелік використаних джерел

1. Розен В. П. Энергетический мониторинг программ энергосбережения учреждений бюджетной сферы [Текст] / В. П. Розен, А. В. Чернявский, Е. А. Ячник, В. И. Литвин // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 3, частина 2. – С. 190–194.
2. Розен В. П. Планирование оптимального использования потенциала энергосбережения промышленных предприятий Украины [Текст] / В. П. Розен, А. И. Соловей, А. В. Чернявский, М. А. Казмирук // Технічна електродинаміка. 2006. №5. – С.59–68.
3. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк: Відпов. ред. А. К. Шидловський. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
4. Нейкова Л. И. Анализ эффективности технического перевооружения промышленных предприятий [Текст] / Л. И. Нейкова. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 87 с.: ил.
5. Экель П. Я. Учет фактора неопределенности в задачах моделирования и оптимизации электрических сетей [Текст] / П. Я.Экель, В. А. Попов // Известия Академии наук СССР «Энергетика и транспорт». – 1985. – №2. С. 50–58.
6. Алиев Р. А. Управление производством при нечеткой исходной информации [Текст] / Р. А. Алиев, А. Э. Церковный, Г. А. Мамедова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.: ил.
7. Алтуни А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. [Текст] / А. Е. Алтуни, М. В. Семухин. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
8. Шер А. П. Решение задачи математического программирования с линейной целевой

функцией в размытых ограничениях [Текст] / А. П. Шер // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 7. – С. 137–143.

9. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1975. – 536 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ–РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

*Розен В.П., канд. техн. наук, Национальный технический университет Украины
«КПИ»*

Курбака Г.В., Черкасский государственный технологический университет

Розроблена система класифікації споживачів-регуляторів потужності виробничих систем з урахуванням режиму їх роботи та вимог до автоматизації процесами управління

Общая постановка задачи

В структуре энергозатрат промышленных предприятий, как правило, 50 – 70 % составляют затраты на электроэнергию и предприятия заинтересованы в формировании эффективных режимов электропотребления (РЭП) и повышения конкурентоспособности продукции. Промышленные предприятия являются потребителями электрической энергии и планируют свои режимы, как правило, без учета генерирующих возможностей энергосистем и напряженность энергобаланса в энергосистеме может возникнуть даже при кратковременном отключении энергоблоков. Поэтому становится очевидной проблема повышения эффективности действующих генерирующих мощностей электростанций. Одним из направлений решения этой проблемы является уплотнение суточных графиков электрической нагрузки (ГЭН) энергосистем.

Анализ последних исследований и публикаций

К проблеме выравнивания графиков нагрузки энергосистем в последнее время в Украине снизился интерес, хотя эта проблема включена в десятку проблем стоящих перед человечеством. Это связано с переходным периодом в экономике Украины и практически отсутствующим финансированием для решения этой проблемы. Сегодня решением этой проблемы занимаются научные школы Праховника А.В. – Национальный технический университет Украины «КПИ» и Пивняка Г.Г. – Национальный горный университет [1–4].

Основные материалы исследования

Опыт проведения энергетических аудитов промышленных предприятий показывает, что многие предприятия являются довольно энергоемкими потребителями, которые можно использовать для изменения режима электропотребления. Управление РЭП производственных систем дает возможность выравнивать графики электрической нагрузки энергосистем, используя, потребители-регуляторы (П-Р) мощности.

Потребители-регуляторы мощности – потребители, используемые для регулирования активной мощности с целью уплотнения графика нагрузки энергосистемы [5].

Критерии выравнивания ГЭН энергосистемы имеют вид:

$$J = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \rightarrow \min, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

или

$$J = \sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}| \rightarrow \min, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где P_i – часовая электрическая нагрузка ГЭН энергосистемы;

$\bar{P}$ – среднее значение ГЭН;

n – количество часов в сутках.

Критерий выравнивания ГЭН (формула 2) используется редко, так как правая часть критерия не дифференцируема и при минимизации требует использования специальных методов математического программирования.

Для системного решения задачи управления РЭП необходимо разработать систему классификации П–Р мощности.

Классификация П–Р мощности не претендует на абсолютную полноту и неизменность, поскольку её можно изменить и дополнять в зависимости от выбранных признаков и детальности группировки и она является развитием классификации предложенных в [1, 5].

При работе П–Р мощности в реальном масштабе времени классификационные признаки должны учитывать:

1. Технические требования к характеристикам и видам ресурсов, поступающих на П–Р мощности;
2. Требования к системе управления;
3. Критерии управления.

1. Технические требования должны учитывать такие классификационные признаки, как:

- количество потребителей-регуляторов;
- параметры потока ресурса на входе и выходе;
- вид заполнения и освобождения потока ресурса на входе и на выходе;
- параметры регулирования производительности.

По количеству потребителей-регуляторов, используемого в основных технологических циклах, потребители можно разделять на:

- одиночные;
- совокупные.

Первые могут участвовать в регулировании графика нагрузки только по времени. Вторые же, частично или полностью, могут быть использованы при плавном регулировании графика нагрузки, т. е. и по времени, и по мощности.

По параметру потока ресурса на входе и на выходе П–Р мощности можно разделить на:

- П–Р мощности, заполнение и освобождение аккумулирующих емкостей которых, производится непрерывными потоками (перекачка газообразных, жидких и сыпучих материалов);
- П–Р мощности, заполнение и освобождение аккумулирующих емкостей которых, производится дискретными потоками – порциями (транспортировка твердых материалов);
- П–Р мощности, заполнение и освобождение аккумулирующих емкостей которых, производится совокупностью непрерывных и дискретных потоков (характерны для устройств транспортировки твердых и сыпучих материалов).

По характеру потоков заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей П–Р мощности можно разделить на:

- П–Р мощности, потоки заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей которых являются детерминированными величинами;
- П–Р мощности, потоки заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей которых являются стохастическими величинами;
- П–Р мощности, потоки заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей которых является совокупность детерминированных и стохастических потоков.

Стохастические потоки в некоторых случаях могут проявлять определенную периодичность (суточную, сезонную, либо обе сразу).

По параметру регулирования производительности основных потребителей электрической энергии различают:

- П-Р мощности с возможностью регулирования производительности в широких пределах;
- П-Р мощности, регулирование производительности которых, возможно в незначительных пределах;
- П-Р мощности, регулирование производительности которых, невозможно.

Классификации П-Р мощности по техническим требованиям представлена в табл. 1.
Таблица 1 – Классификация П-Р мощности по техническим требованиям

Требования	Классификационные признаки	
	1 страта	2 страта
Технические требования к характеристика и видам ресурсов поступающих к П-Р мощности	Количество П-Р мощности	Одиночные П-Р мощности Совокупность П-Р мощности
	Параметры потока ресурса на входе и выходе	Непрерывный Дискретный Совокупность непрерывных и дискретных
	Вид заполнения и освобождения потока ресурса на входе и на выходе	Детерминированные Стохастические Совокупность детерминированных и стохастических
	Параметры регулирования производительности	Полное Частичное Невозможность

2. Требования к системе управления П-Р мощности, можно разделить:

- по виду структурной схемы;
- по виду управления.

По виду структурной схемы П-Р мощности можно разделить на:

- П-Р мощности с простой структурной схемой, когда контуром управления охвачен один П-Р;
- П-Р мощности со сложной структурной схемой, когда контуром управления охвачено несколько П-Р.

По виду управления П-Р мощности можно разделить на:

- П-Р мощности с планово-оперативным управлением, которое осуществляется по заранее разработанной программе.
- П-Р мощности с автоматическим управлением, которое осуществляется в реальном масштабе времени.

Классификации П-Р мощности по требованиям к системе управления представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Классификация П-Р мощности по требованиям к системе управления

Требования	Классификационные признаки	
	1 страта	2 страта
Требования к системе управления	Структурная схема	Простая Сложная
	Вид управления	Планово-оперативное Автоматическое

3. По критериям управления П–Р мощности можно разделить на:

– потребители, регулирование режима электропотребления которых приведет к максимизации прибыли предприятия:

$$\Pi \rightarrow \max;$$

– потребители, регулирование режима электропотребления которых, минимизирует потребление электроэнергии в часы максимума и полупика нагрузки:

$$W_{\Pi} \rightarrow \min;$$

– потребители, регулирование режима электропотребления которых, приведет к снижению потерь электрической энергии в сетях предприятия и энергосистемы:

$$\Delta W \rightarrow \min;$$

– потребители, регулирование режима электропотребления которых, приведет к минимизации ущерба от их ограничений:

$$Y \rightarrow \min;$$

– потребители, регулирование режима электропотребления которых, приведет к минимизации риска от нарушения величины ограничения по мощности:

$$R \rightarrow \min.$$

Классификация по критериям управления должна учитывать ограничения:

1. Ресурсное ограничение по мощности:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq P_{\text{рес}},$$

где $P_{\text{рес}} = P_{\text{заявл}} - P_{\text{бр}}$;

$P_{\text{бр}}$ – нагрузка потребителей, которые не участвуют в регулировании нагрузки энергосистемы;

2. Ресурсное ограничение по мощности, задаваемое промышленным предприятием для выполнения ограничения по экологической броне (**экологическая броня** электроснабжения потребителя – минимальный уровень потребления электрической энергии потребителем (кроме населения), обеспечивающий условия для предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного и естественного характера) [3]:

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.э}};$$

3. Ресурсное ограничение по мощности, задаваемое предприятием для выполнения по технологической броне (**технологическая броня** – наименьшая потребляемая мощность и продолжительность времени, необходимые потребителю для безопасного завершения технологического процесса, после чего может быть произведено отключение соответствующих электроприемников):

$$g_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.т}};$$

4. Ресурсное ограничение по мощности, задаваемое предприятием для выполнения по аварийной броне (**аварийная броня** – минимальный расход электрической энергии (наименьшая мощность), обеспечивающий безопасное для персонала и окружающей среды состояние предприятия с полностью остановленным технологическим процессом):

$$g_4(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.авар}};$$

5. Временное ограничение, задаваемое при выполнении технологических процессов промышленного предприятия:

$$g_5(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq T;$$

6. Ресурсное ограничение по потреблению электроэнергии, задаваемое энергосистемой и технологиями предприятия:

$$g_6(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq W_{\text{рес}};$$

7. Ограничение на риск превышения ресурсных условий:

$$g_7(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq R_{pec};$$

$x_j \geq 0; j = \overline{1, n}$ – ограничение на положительность.

Классификация П-Р мощности по критериям управления представлена в табл. 3.

Формулировка задачи выравнивания ГЭН энергосистемы по критериям отличается одна от другой только лишь видом экстремума функции цели.

Основные усилия ученых, которые занимались решением поставленной задачи, были направлены на исследования по оценке ущерба от ограничений энергосистемы[5]. Решение этой же задачи с критерием максимизации прибыли не вызывает трудностей, так как функция цели легко находится по отчетным данным производственных систем статистическими методами. Решение задачи с критерием минимизации риска от нарушения величины ограничений по мощности является в настоящее время новым и недостаточно разработанным подходом.

Таблица 3 – Классификация П-Р мощности по критериям управления

Наименование критерия	Функция цели	Ограничения
Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы	$J = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \rightarrow \min,$ $J = \sum_{i=1}^n P_i - \bar{P} \rightarrow \min,$ $i = \overline{1, n},$	$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq P_{pec}$ $g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{бр.э}$ $g_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{бр.м}$ $g_4(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{бр.авар}$
Прибыль предприятия	$\Pi \rightarrow \max$	$g_5(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq T$
Электропотребление	$W_{\Pi} \rightarrow \min$	$g_6(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq W_{pec}$
Потери электроэнергии в сетях предприятия и энергосистемы	$\Delta W \rightarrow \min$	$g_7(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq R_{pec}$
Ущерб от ограничений	$Y \rightarrow \min$	$x_j \geq 0; j = \overline{1, n}$
Риск от нарушения величины ограничения по мощности	$R \rightarrow \min$	

Выводы

Проблема выравнивания графиков нагрузки энергосистем с использованием потребителей-регуляторов мощности связана с необходимостью разработки системы классификации потребителей, что позволяет учесть классификационные признаки при разработке новых видов математических моделей регулирования нагрузки с учетом режима их работы и требований к автоматизации процесса управления.

Литература

1. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. –232 с.
2. Праховник А.В. Управління енерговикористанням: проблеми, завдання та методи вирішення // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під загальною редакцією Праховника А.В. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 169–190
3. Інструкція про порядок складання акта екологічної, аварійної та технологічної броні електропостачання споживача. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 16 с.

4. Разумный Ю.Т. Научные основы повышения эффективности регулирования режимов электропотребления при ограничениях электроснабжения угольных шахт. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Днепропетровск: 1996. – 40 с.
5. Хронусов Г.С. Формирование эффективных режимов электропотребления промышленных предприятий. Ч1.– Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1998. –340 с.
6. Червонный Е.Н. Методы исследования возможностей регулирования электропотребления промышленных предприятий // Электромеханика. – 1988 г. – № 9. С. 47–51.

МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

О.О. Закладний, аспірант, Закладний О.М. к.т.н., Кондратенко В.В.

Вступ. Асинхронні двигуни (АД), як правило, розраховані на термін служби 15 - 20 років без капітального ремонту за умови правильної їх експлуатації. Під правильною експлуатацією двигуна розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, вказаних у паспорті. Реально має місце значне відхилення від номінальних режимів експлуатації АД.

На даний час понад 70% експлуатованого парку АД складають машини, які побували в капітальному ремонті хоч би один раз [1, 2]. У переважній більшості випадків (85...95%) відмови АД потужністю понад 5 кВт пов'язані з пошкодженням ізоляції обмоток двигуна і розподіляються таким чином: міжвиткові замикання – 93%, пробій міжвиткової ізоляції – 2%. Решта відмов у роботі викликана механічними пошкодженнями [3]. Таким чином, термін служби асинхронного електродвигуна визначається, в основному, якістю ізоляції його обмоток.

Аналіз стану проблеми. Надійність електричної машини – це здатність її виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, відповідно до заданих режимів і умов використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність має комплексний характер, і залежно від призначення машини та умов її експлуатації може включати безвідмовність, довговічність і збереженість. Термін служби – показник довговічності, а його прогнозування зводиться до розрахунку надійності електричної машини [4]. Слід відмітити, що головним чинником, який впливає на термін служби ізоляції є її робоча температура.

Метою роботи є розрахунок температури обмотки і оцінка залишкового ресурсу АД з урахуванням всіх нагріваючих втрат, а також показників якості електроенергії.

Найчастіше перегрівання обмоток АД виникає при загальмованому роторі (заклинюванні), обриві фази статора, відхиленні напруги мережі від нормованих значень, несиметрії живлячої напруги [5].

Одним з основних методів дослідження теплових процесів у АД є метод еквівалентних теплових схем заміщення [6]. Система диференціальних рівнянь, яка описує теплові процеси в АД, має вигляд

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\tau_1}{dt} = \frac{1}{C_1} [\Delta P_1 - A_1 \Delta\tau_1 - A_{12} (\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2)] \\ \frac{d\Delta\tau_2}{dt} = \frac{1}{C_2} [\Delta P_2 - A_2 \Delta\tau_2 - A_{12} (\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2)] \end{cases} \quad (1)$$

де $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$ - перевищення температури міді і сталі над температурою довкілля; ΔP_1 , ΔP_2 - потужність втрат енергії в міді й сталі; C_1 , C_2 - теплоємність міді й сталі; A_1 , A_2 - тепловіддача від міді й сталі в довкілля; A_{12} - теплопередача між міддю і сталлю [7].

У практичних розрахунках найчастіше застосовується розрахунок нагрівання за експонентою, тобто представлення електродвигуна одним тілом нагрівання або диференціальним рівнянням першого порядку (рівняння теплового стану)

$$\frac{d\Delta\tau}{dt} = \frac{1}{C}[\Delta P - A\Delta\tau], \quad (2)$$

де $\Delta\tau$ - перевищення температури двигуна над температурою довкілля; t - час; ΔP - потужність втрат енергії в двигуні; C - сумарна теплоємність двигуна; A - сумарна тепловіддача.

Криві нагрівання, отримані за рівняннями (1) і (2), зображені на рис. 1.

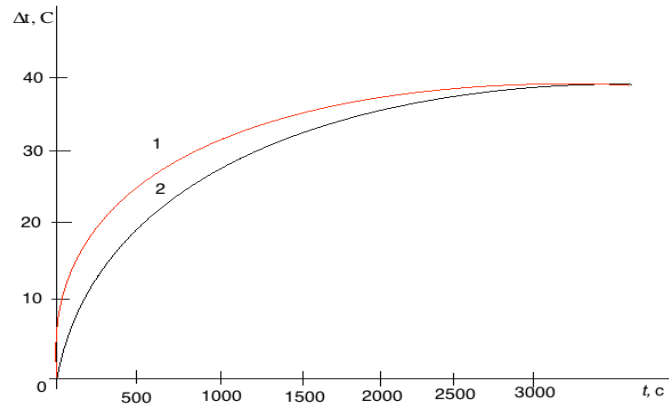


Рисунок 1 - Криві нагрівання АД за рівняннями (1) і (2)

За постійних втрат загальноприйняте розв'язання рівняння (2)

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{уст} (1 - e^{-\frac{t}{T_n}}) + \Delta\tau_{поч} e^{-\frac{t}{T_n}},$$

де $\Delta\tau_{уст}$ - усталене перевищення температури, $\Delta\tau_{поч}$ - початкове перевищення температури.

Точніше цей вираз, відповідно до [8], має вигляд

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{уст} (1 - e^{-t/[T_0 + (T_n - T_0)(1 - e^{-t/T_n})]}) (1 + 1,05 e^{-4t/T_n}) + \Delta\tau_{поч} e^{-t/[T_0 + (T_n - T_0)(1 - e^{-t/T_n})]},$$

де $T_0 = T_n \frac{D_a}{D_i}$ - початкова стала часу нагрівання статора двигуна; T_n - стала часу нагрівання при номінальному навантаженні; D_a , D_i - діаметри розточування і зовнішній діаметр сердечника статора.

Дійсні криві нагрівання обмоток електричних машин, отримані дослідним шляхом, відрізняються від експоненти. У початковій своїй частині крива нагрівання визначається лише втратами в обмотці та її теплоємністю. У міру збільшення температури обмоток починають позначатися теплоємність ізоляції і сталі, а також втрати в сталі [9]. Усталена температура обмотки АД з урахуванням можливого перевантаження спрощено визначається формулою [10]

$$\Delta\tau_{уст} = \Delta\tau_{ном} \left(\frac{I}{I_{ном}} \right)^2, \quad (3)$$

де $\Delta\tau_{ном}$ - перевищення температури обмотки за номінального струму над температурою довкілля.

В.В. Овчаровим запропонована формула для розрахунку усталеної температури обмотки з урахуванням втрат в електродвигуні і зміни параметрів матеріалу провідника [11]

$$\Delta\tau_{уст} = \Delta\tau_{ном} \frac{a + k^2}{1 + a - \alpha \Delta\tau_{ном} (k^2 - 1)}, \quad (4)$$

де $a = \frac{\Delta P_{с.н.}}{\Delta P_{м.н.}}$ - коефіцієнт номінальних втрат в електродвигуні; $\alpha=0,0043 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ – температурний коефіцієнт опору міді; $k = \frac{I}{I_{ном}}$ - кратність робочого струму по відношенню до номінального. Під номінальним розуміється струм, який викликає номінальне нагрівання обмотки АД.

У різницевій формі, придатній для реалізації на цифровому пристрої, рівняння (2) виглядає так [7]:

$$\Delta\tau_k = \Delta\tau_{k-1} + \frac{\Delta h}{C}(\Delta P - A\Delta\tau_{k-1}), \quad (5)$$

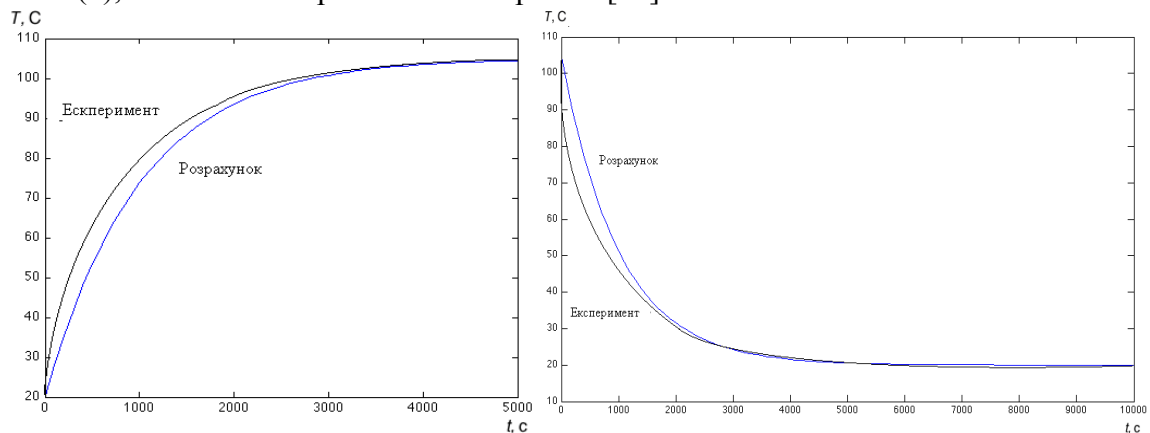
де $\Delta\tau_k$ - перевищення температури в k -й момент часу; $\Delta\tau_{k-1}$ - перевищення температури в $(k-1)$ -ий – момент часу; Δh - крок розрахунку.

У формулі (5) $\Delta P = V_1 + V_2 + \Delta P_{он} + \Delta P_{от}$, де V_1, V_2 - втрати в обмотках статора і ротора, $\Delta P_{он}, \Delta P_{от}$ - додані і додаткові втрати в АД. Таким чином, на відміну від моделей (3), (4) в (5) ураховуються всі нагріваючі втрати, включаючи втрати від відхилення напруги, несиметрії і несинусоїдальності.

Зважаючи, що рівняння (5) можна переписати як

$$\Delta\tau_k = \Delta\tau_{k-1} + \frac{\Delta h}{T_n} \left(\frac{(V_1 + V_2 + \Delta P_{он} + \Delta P_{от})\Delta\tau_{из} - \Delta\tau_{k-1}}{\Delta P_n} \right), \quad (6)$$

На рис. 2 наведено результати моделювання кривих нагрівання і охолодження за рівнянням (6), а також експериментальна крива з [12].



а б
Рисунок 2 - Експериментальні та розрахункові криві нагрівання (а) й охолодження (б) АД

Термін придатності ізоляції (рис. 3) визначається за емпіричною формулою

$$Z = Ce^{-b\tau}, \quad (7)$$

де C і b – сталі коефіцієнти для даного виду ізоляції, τ – температура ізоляції [13,14].

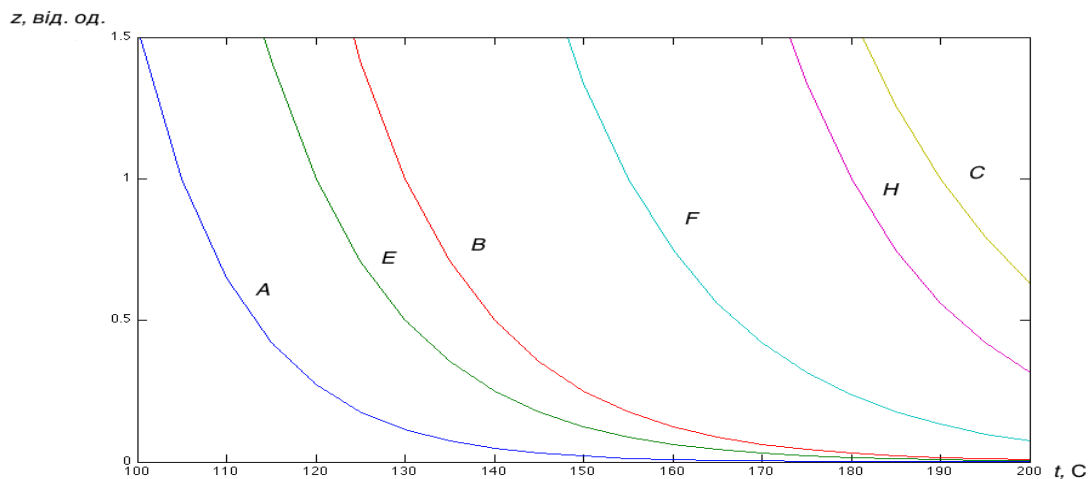


Рисунок 3 - Залежність відносного значення тривалості життя ізоляції від її температури для різних типів ізоляції

Істотний вплив на термін служби АД спричиняє якість напруги живлення, регламентована ГОСТ 13109-97.

У [14] наведена формула для розрахунку температури обмоток τ_{ϵ} АД у функції несиметрії напруги

$$\tau_{\epsilon} = \tau[1 + 2(\epsilon_u \%)^2],$$

де τ – температура обмоток при симетричній напрузі мережі, ϵ_u - коефіцієнт несиметрії напруги, що дорівнює відношенню напруги зворотної послідовності до номінальної. З цього виразу видно, що при $\epsilon_u = 3,5\%$ температура обмоток двигуна підвищується на 25%.

На рис.4,а зображена крива нагрівання для випадків: 1 – симетрична напруга, 2 – несиметрія 2%, нормально допустима згідно ГОСТ 13109-97, 3 – несиметрія 4%, граничне допустиме значення. На рис.4,б зображена залежність терміну життя для ізоляції класу А від коефіцієнта несиметрії напруги і температури ізоляції.

Якщо АД тривалий час працює на зниженій напрузі, то через прискорене зношування термін служби його зменшується (рис.4). Приблизно термін служби ізоляції Z можна визначити за формулою [15]

$$Z = \frac{Z_H}{R},$$

де $Z_{ном}$ - термін служби ізоляції двигуна при номінальній напрузі і навантаженні, R - коефіцієнт, залежний від значення і знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна

$$R = (47\delta U^2 - 7,55\delta U + 1)k_z^2, \text{ при } -0,2 < \delta U < 0; R = k_z^2, \text{ при } 0,2 \geq \delta U > 0$$

де δU - відхилення напруги, k_z - коефіцієнт завантаження АД. Тому з погляду нагрівання АД небезпечніші в даних межах негативні відхилення напруги.

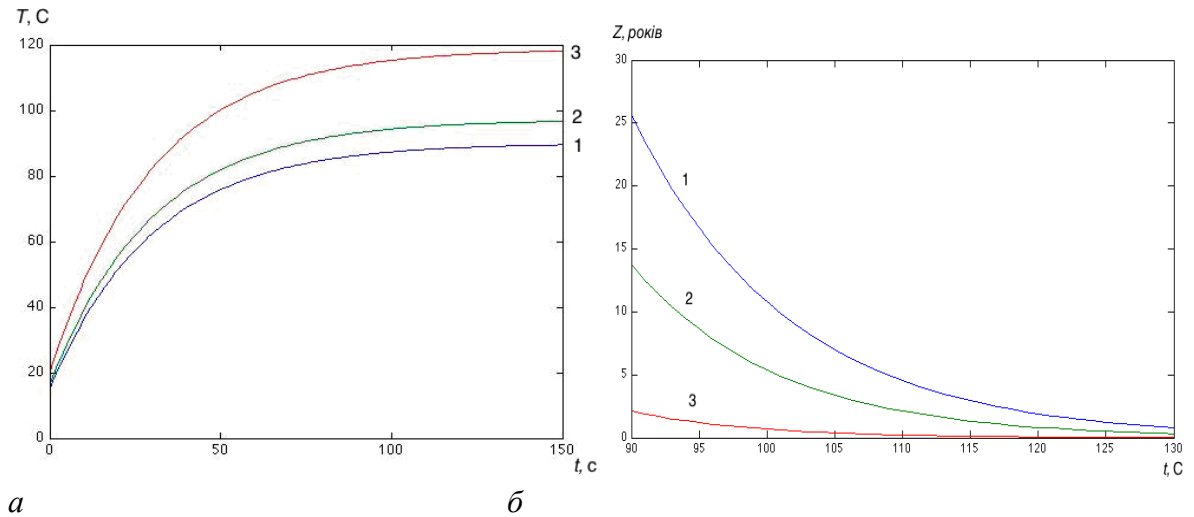


Рисунок 4 - Графіки кривих нагрівання (а) та залежності терміну життя ізоляції від температури (б)

На рис. 5 зображено залежності терміну придатності ізоляції обмоток АД при різних коефіцієнтах завантаження й різних значеннях негативного відхилення напруги.

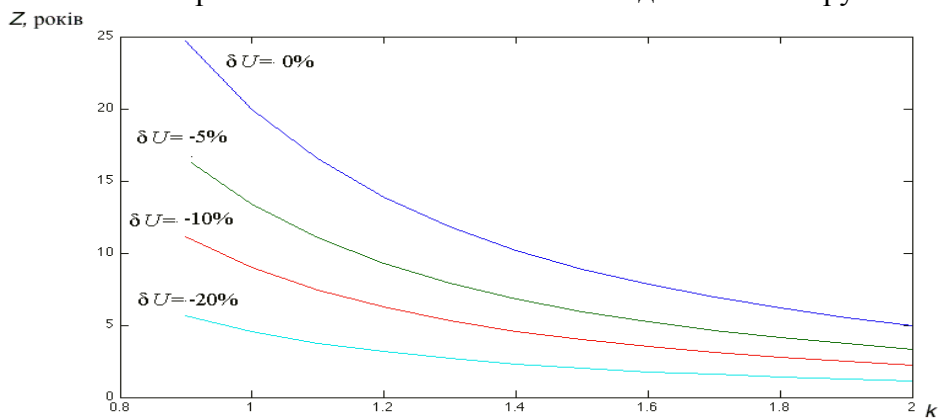


Рисунок 5 – Графіки залежності терміну життя ізоляції від коефіцієнта завантаження

При змінній у часі t температурі τ (рис.6), тобто при навантаженні, що змінюється, термін придатності ізоляції визначається за формулою

$$Z = C \int_0^t e^{-b\tau} d\tau$$

Поточна температура за k -ий проміжок часу визначається згідно рівнянню (6).

На рис.6 показано експериментально знята спожита потужність АД насосного агрегату станції другого підйому одного з українських міст та крива зміни температури.

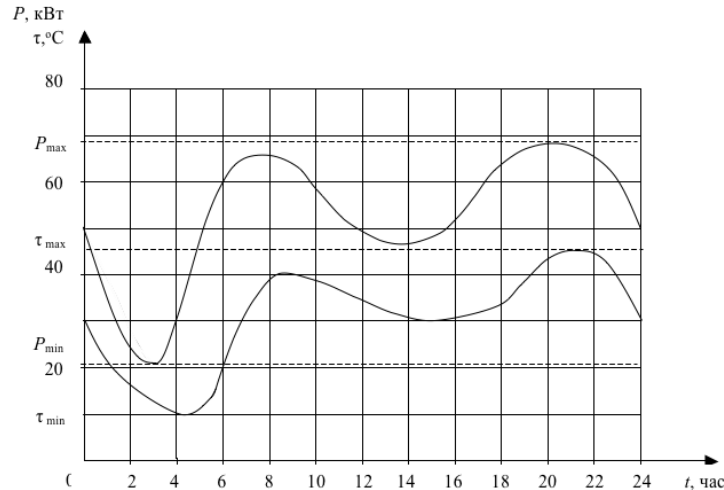


Рисунок 6 - Графіки зміни навантаження і кривої температури

Висновок. У наведених матеріалах розглянуто методи визначення температури обмотки АД. Запропоновано використовувати в системі моніторингу енергетичного стану АД модель вигляду (6), у якій необхідно враховувати всі нагріваючі втрати, включаючи втрати від несиметрії і несинусоїдальності напруги.

Також розглянуто вплив відхилень показників якості електроенергії на тривалість терміну служби АД, а також наведена формула для розрахунку цього терміну як в сталому режимі роботи, так і при навантаженні, яке довільно змінюється в перебігу часу.

1. *Бешта А.С.* Определение потерь в стали асинхронного двигателя по методике холостого хода/ А.С. Бешта, Т.А. Желдак // Сб. Статей «Проблемы создания новых машин и технологий», в.1. – Кременчуг, 1998.

2. *Слоним Н.М.* Испытания асинхронных двигателей / Н.М. Слоним. – М., Энергия, 1980.

3. *Котеленец Н.Ф.* Испытания и надежность электрических машин / Н. Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов. – М., Высшая школа, 1985

4. *Воробьев В.Е.* Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В.Е. Воробьев, В.Я. Кучер. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 56 с.

5. *Ковалев А.П.* Оценка пожарной опасности электродвигателей, эксплуатирующихся на промышленных предприятиях Украины / А.П. Ковалев, О.А. Шевченко, В.В. Якимшина, О.Г. Пинчук //Вісник Кременчугського держ. політехн. університету, 2004, вип 2/2004 (25). – 64 с.

6. *Бурковский А.Н.* Нагрев и охлаждение электродвигателей взрывонепроницаемого исполнения / А.Н. Бурковский, Е.Б. Ковалев, В.К. Коробов. – М.: Энергия, 1970. – 184 с.

7. *Синчук О.Н.* Тепловая модель кранового АД для диагностирования и настройки цифровой защиты от перегрузок / О.Н. Синчук, В.В. Чумак, С.Л. Михайлов // Електротехніка, 2003, №3

8. *Бурковский А. Н.* Определение допустимого тока статора взрывозащищенных асинхронных двигателей серии В, ВР в кратковременных режимах работы/ А. Н. Бурковский, Т.О. Титкова, Т.П. Канашенкова, В.В. Макеев // Електротехнічна промисловість. Серія “Електричні машини”. Вип. 7(89). 1978г. – с.5-7.

9. *Сыромятников И.А.* Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей/ И.А. Сыромятников. - 4-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с., ил.

10. *Корогодский В.И.* Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ / В.И. Корогодский, С.Л. Кужеков, Л.Б. Паперно. - М.: Энергоатомиздат, 1987 - 248 с.

11. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. - Киев: Изд-во УСХА, 1990. -110 с.
12. *Петров И.И.* Специальные режимы работы асинхронного электропривода / И.И. Петров, А.М. Мейстель. - М.: Энергия, 1968.
13. *Филиппов И.Ф.* Теплообмен в электрических машинах / И.Ф. Филиппов. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.
14. *Шидловский А.К.* Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – Киев : Наук. думка, 1985. – 268 с.
15. *Суднова В.В.* Качество электрической энергии / В.В. Суднова. - <http://www.test-electro.ru>

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ КОМПЕНСАТОРІВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З НЕЛІНІЙНИМИ НЕСТАЦІОНАРНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

Денисюк С. П., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Кафедра електропостачання, НТУУ „КПІ”

Дерев'янка Д. Г., магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Кафедра електропостачання, НТУУ „КПІ”

вул. Борищагівська 115, м. Київ, 03056, Україна

Тел./факс: (044) 241-76-37,

E-mail: Riannon87@meta.ua

В даній статті розглянуто види енергосистем, та показана важливість впливу спотворень на їх роботу. А також технічні засоби, а саме, різноманітні компенсатори і їх коригуючі дія на наявні в системі спотворення.

Ключові слова: спотворення, енергосистема, FACTS, інтелектуальні системи, розосереджені системи.

На початку ХХІ століття особливо важливою стала проблема спотворення сигналів в системах електроживлення. Перед енергетичними компаніями стоїть маса проблем: зношені та все більш ненадійні мережі електропередач, застаріла система односторонньої передачі енергії, зміна характеру попиту і пропозиції, до того ж потрібно шукати нові, більш ефективні способи задоволення зростаючого попиту на електроенергію. У той же час споживачі вимагають зниження тарифів, підвищення надійності послуг, прозорості методів доставки енергії та більш широкого вибору її постачальників.

З'явилося все більше досліджень стосовно переваг часткової децентралізації та шляхів інтеграції децентралізованих систем виробництва енергії в централізовану систему. Та створення інтелектуальних мереж Smart Grid.

Технологія Smart Grid вирішує безліч проблем, що стоять перед енергетичними компаніями. Smart Grid - це інтелектуальні лічильники, динамічне керування електромережами, регулювання попиту, підвищення безпеки і економія витрат.

Під інтелектуальними енергосистемами Smart Grid розуміють таку систему передачі і розподілу електричної енергії, яка поєднує в собі елементи традиційної енергетики і новітні енергетичні технології, комплексні інструменти контролю та моніторингу, а також інформаційні технології та засоби комунікації, що забезпечують більш високу продуктивність енергосистеми. Smart Grid дозволить підключити до інтелектуальної мережі все наше обладнання, від електричних генераторів до побутових пристроїв.

Крім того на основі аналізу вітчизняних та зарубіжних джерел[1] можна зробити висновок, що децентралізована генерація є збірним поняттям, яке об'єднує в собі розподілену та розосереджену генерацію, а розвиток інтелектуальних систем є дуже важливим з точки зору можливості управління розподіленою генерацією.

В електроенергетиці останнім часом широко залучають системи гнучкої передачі змінним струмом. Прогрес у силовій електроніці, широке впровадження в енергетику цифрових систем автоматичного керування, розвиток телекомунікаційних систем передачі даних разом із сучасними інтелектуальними системами керування режимами привели до появи цілого сімейства системних пристроїв гнучкого автоматичного регулювання,

об'єднаних під одним загальним ім'ям – FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems). Ці системи дозволяють адаптивно регулювати основні системні параметри передачі змінного струму, і в реальному масштабі часу домагатися найкращих характеристик передачі потужності. Іншими словами, технології FACTS збільшують гнучкість енергосистем, роблячи їх більш керованими та надійними.

Основна ідея більшості FACTS базується на добре відомих принципах подовжньої та поперечної компенсації реактивних параметрів передачі електроенергії. Застосування ж швидкодіючих тиристорних ключів і мікропроцесорних систем керування дозволило перейти від повільного і дискретного оперативного керування до плавного автоматичного регулювання реактивних параметрів передачі зі швидкодією, яка достатня для керування режимами при протіканні перехідних процесів в енергосистемах.

Ідея використання послідовно з лінією електропередачі подовжнього УПК дозволяє змінювати результуючий опір ланцюга, а отже й впливати на потокорозподілення потужностей по двох лініях зв'язку. Якщо ж установити подовжній компенсатор, що по суті є плавно і швидко регульованим УПК, то з'являється можливість гнучко керувати режимами роботи зв'язку між енергосистемами, змінюючи опір такого компенсатора. Гнучкість керування полягає у тому, що в залежності від генерації і споживання в кожній з енергосистем, що змінюються в часі, можливо, безупинно в автоматичному режимі підкоригувати опір передачі для досягнення поставленої мети регулювання. Наприклад, забезпечення мінімуму втрат електроенергії в нормальних режимах чи демпфірування низькочастотних коливань потужності при перехідних процесах.

Класифікація систем FACTS може бути проведена відповідно до типу компенсації: системи подовжньої компенсації, системи поперечної компенсації і комплексні системи, що поєднують в одному пристрої подовжню і поперечну компенсацію.

Основними перевагами впровадження технологій FACTS в електроенергетику (див. табл. 1) є:

- підвищення економічної ефективності перспективного розвитку мереж;
- збільшення пропускної здатності існуючих мереж; поліпшення статичної і динамічної стійкості;
- демпфірування низькочастотних коливань потужності;
- ефективне керування напругою, потоками активної і реактивної потужності в складнозамкнених мережах згідно трансакціям енергоринку чи програм експорту-імпорту електроенергії;
- підвищення надійності;
- зниження втрат електроенергії;
- скорочення загального часу регулювання.

Таблиця 1 - переваги впровадження технологій FACTS в електроенергетику

Тип компенса-тора	Керування рівнем напруги	Керування потоками і потужностей	Поліпшення статичної стійкості	Поліпшення динамічної стійкості
SVC	+		+	+
STATCOM	+		+	+
UPFC	+	+	+	+
TCSC		+	+	+
TCR		+		
TCPAR		+	+	

У 90-х роках в НТУУ «КПІ» було сформульовано та запропоновано нову концепцію двоетапного управління електричними навантаженнями:

- На першому етапі здійснюється оптимізація розподілу потужності і визначення «завдань» для споживачів на підставі певної системи критеріїв
- На другому етапі на рівні споживачів енергії забезпечується управління у реальному часі з урахуванням прийнятих за згодою двох сторін «завдань».

Проведемо паралель між західними та нашими технологіями, і спробуємо дізнатися як ці пристрої будуть себе вести на прикладі нашої енергосистеми.

Розглянемо, на прикладі, схему Генератор(Г) + Навантаження (Н) + Компенсатор(К).

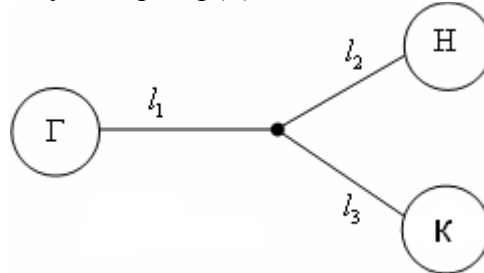


Рисунок 1 – схема енергосистеми.

Оцінка впливу зміни параметрів елементів системи практично зводиться до використання функцій чутливості та аналізу стійкості в малому.

Для моделей кіл при $n_{\Gamma} > 1$ та $n_H > 2$ вплив зміни параметрів та сигналів кількох генераторів і навантажень на виділений елемент можна оцінити за такими формулами на основі функцій чутливості:

$$\Delta\gamma = \sum_{i=1}^{n_{\text{пс}}} \Delta q_i \frac{\partial \gamma}{\partial q_i} = \sum_{i=1}^{n_{\text{пс}}} A_i \Delta q_i, \quad (*)$$

$$\Delta\gamma/\gamma = \sum_{i=1}^{n_{\text{пс}}} S_{qi} \delta q_i, \quad (**)$$

де $\Delta\gamma$ – зміни сигналу γ на виділеному елементі системи; Δq_i – зміни виділеного i -го параметра чи сигналу генераторів та навантажень системи; $n_{\text{пс}}$ – кількість виділених елементів та сигналів; A_i – коефіцієнти впливу; $\delta q_i = \Delta q_i/q_i$ – відносна зміна i -го параметра чи сигналу; $S_{qi} = (q_i/\gamma)(\partial\gamma/\partial q_i)$ – функція чутливості.

Без порушення узагальнення систему відносно вузла, до якого підключається компенсатор (К), представимо з'єднанням генератора (Г) та навантаження (Н). Для такої системи можна виділити варіанти, зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – розрахункові варіанти для системи Г+Н+К

№ варіанта	Генератор Г	Навантаження Н	Компенсатор К
1	$u_1(t)$	$i_1(t) + i_{\infty}(t)$	$i_1(t) + i_{\infty}(t)$
2	$u_1(t) + u_{\infty}(t)$	$i_1(t) + i_{\infty}(t)$	$i_1(t) + i_{\infty}(t)$

Здійснимо оцінку обмінних процесів по реактивному струму $i_p(t)$ з використанням обмінної потужності $Q_{\text{об}}$. Зазначимо, що для синусоїдальних кіл має місце співвідношення $Q_1 = \pi Q_{\text{об}}$ (варіант 1 табл. 1).

Для оцінки спотворень у варіантах 1,2 (див. табл.2) обмінні процеси у вузлі для заданої діючої напруги генератора $u(t)$ розділимо за першою (індекс «1»), однією j -ю вищою (індекс « j »), всіма вищими (індекс « ∞ ») та всіма (індекс « Σ ») гармоніками згідно з наступними виразами:

$$Q_{\text{ОБ}}^{(1)} = 1/T \int_0^{t^+} u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt; \quad (1)$$

$$Q_{\text{ОБ}}^{(j)} = 1/T \int_0^{t^+} u(t) (I_{m(j)} \sin(j\omega t - \psi_j^i)) dt. \quad (2)$$

$$Q_{\text{ОБ}}^{(\infty)} = 1/T \int_0^{t^+} u(t) \left(\sum_{k=2}^{N_{\Gamma}} I_{m(k)} \sin(k\omega t - \psi_k^i) \right) dt. \quad (3)$$

$$Q_{\text{ОБ}}^{(\zeta)} = 1/T \int_0^{t^+} u(t) \left(\sum_{k=1}^{N_{\Gamma}} I_{m(k)} \sin(k\omega t - \psi_k^i) \right) dt. \quad (4)$$

Аналіз дії спотворень на основі обмінних процесів дає можливість:

- аналізу обмінних процесів при наявності в системі різнойменних гармонік;
- аналізу обмінних процесів, коли окремі фрагменти системи (макромоделі) можуть бути представлені джерелами напруги і струму (ідеальними та / чи реальними);
- аналізу обмінних процесів на вищих гармонічних складових напруги та струму для систем постійного струму;
- відмовитись від ідентифікації параметрів моделей, зокрема, величин $Z(n\omega)$ та $Y(n\omega)$ на кожній із частот, кратній основній (не потрібно здійснювати переформатування (зміну) параметрів моделей, коли її елементи змінюються з плином часу).

Для оцінки дії спотворень на погіршення якості електроенергії в системі можуть бути запропоновані два підходи.

Перший базується на використанні алгоритму оцінки взаємного впливу елементів з виділенням внеску елемента у спотворення електроенергії у вибраному вузлі та аналізу величини впливу спотворюючих факторів на електромагнітні процеси в елементі системи. Вплив елементів системи оцінюється поза залежністю від попередніх режимів роботи як системи в цілому, так і конкретних його елементів, а кількісні показники взаємного впливу визначаються сумою впливів для кожного з виділених факторів неякості електроенергії з врахуванням критерію мінімуму втрат електроенергії. Виділення внеску j -го елемента у спотворення електроенергії у вузлі системи передбачає формування інтегральної моделі оцінки взаємного впливу і розщеплення моделі системи на дві ортогональні складові, які відображають відповідно протікання активного та реактивного струмів. Далі здійснюється розрахунок обмінних потужностей у розщепленій моделі на основі реактивної складової струму згідно зі співвідношеннями (1) – (4) та визначається дольовий внесок для j -го елемента:

$$\Delta Q_{\text{в},j} = Q_{\text{ОБ},j} / Q_{\text{ОБ}}, \quad (5)$$

де $Q_{\text{ОБ},j}$ – обмінна потужність через перетин приєднання j -го елемента до системи; $n_{\text{ЕУ}}$ – кількість елементів системи, підключених до виділеного вузла;

$$Q_{\text{ОБ}} = \sum_{j=1}^{n_{\text{ЕУ}}} Q_{\text{ОБ},j}; \quad \sum_{j=1}^{n_{\text{ЕУ}}} \Delta Q_{\text{в},j} = 1. \quad (6)$$

Другий підхід передбачає оцінку зміни величин обмінних потужностей як функцій від окремих змінюваних параметрів, наприклад, згідно з коефіцієнтом впливу (чутливістю) S_j^i зміни обмінної потужності $Q_{\text{ОБ},i}$ i -го елемента від зміни параметра Π_j j -го елемента системи: $k_{Q,\Pi} = S_j^i = \Delta Q_{\text{ОБ},i} / \Delta \Pi_j$.

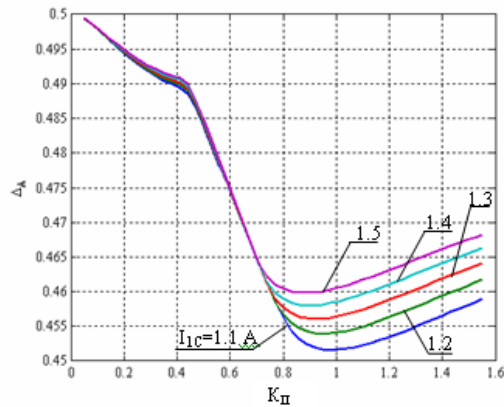
При оцінці впливу режимів роботи компенсатора К на навантаження Н у випадку зміни їх гармонічних спектрів струму на входах (зміни спектрів $\{\Delta S_K\}$ та $\{\Delta S_H\}$), що приводить до зміни обмінних потужностей у вузлі відповідно на $\Delta Q_{\text{ОБ},S2}$ та $\Delta Q_{\text{ОБ},S1}$, доцільно використати коефіцієнт впливу $k_{Q,S} = \Delta Q_{\text{ОБ},S1} / \Delta Q_{\text{ОБ},S2}$. При цьому множини зміни спектрів $\{\Delta S_H\}$ та $\{\Delta S_K\}$

включають як однойменні, так і різнойменні гармоніки сигналів.

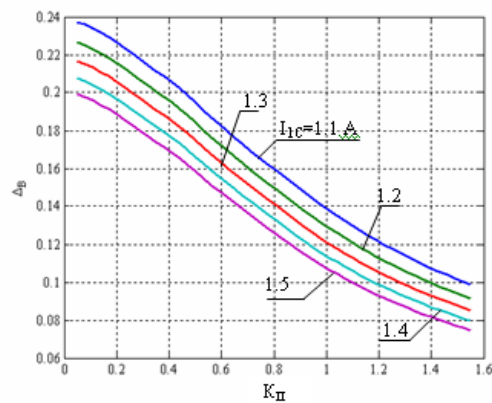
Для аналізу впливу режимів роботи компенсатора К на навантаження Н протягом інтервалу часу $\Delta t = t_2 - t_1$ коефіцієнт впливу $k_{Q,t}$ визначається згідно співвідношення $k_{Q,t} = (Q_{\text{об},H1(t_2)} - Q_{\text{об},H1(t_1)}) / (Q_{\text{об},H2(t_2)} - Q_{\text{об},H2(t_1)})$, де $Q_{\text{об},H1(t_1)}$ та $Q_{\text{об},H1(t_2)}$ – значення обмінних потужностей навантаження Н в моменти часу t_1 та t_2 ; $Q_{\text{об},H2(t_1)}$ та $Q_{\text{об},H2(t_2)}$ – значення обмінних потужностей компенсатора К в моменти часу t_1 та t_2 .

Аналіз впливу факторів неякісності електроенергії у виділеному вузлі на j -й елемент може здійснюватися для вихідної моделі системи та оцінюватися за алгоритмом, аналогічним наведеному. Для цього доцільно використовувати коефіцієнти впливу.

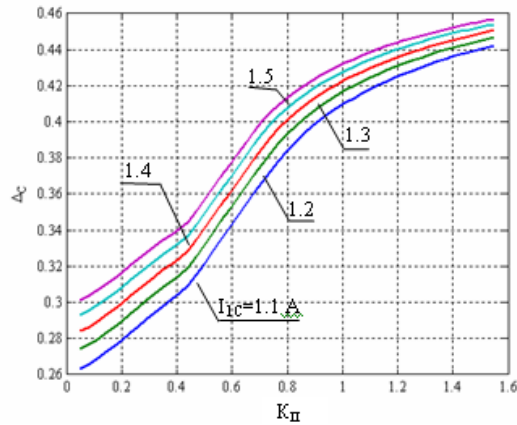
Як приклад розглянемо оцінку дії спотворень для виділеної системи згідно першого підходу. Проведемо аналіз обмінних процесів для системи, де до генератора Г (перетин А–А) підключено навантаження Н (перетин В–В) та компенсатор К (перетин С–С)). Напряга генератора $u(t) = U_{m(1)} \sin(\omega t)$; струми навантажень Н та К відповідно дорівнюють $i(t)_B = I_{1Bm} \sin(\omega t + \varphi_{1B})$ та $i(t)_C = I_{1Cm} \sin(\omega t + \varphi_{1C}) + K_{I,H2} I_{1Cm} \sin(3\omega t + \varphi_{3C})$. У цьому випадку струм генератора $i_A(t) = i_C(t) + i_B(t)$. Для аналізу обмінних процесів визначимо реактивний струм компенсатора К: $i_p(t) = I_{m(1)} \sin(\psi_1^i) \cos(\omega t) + I_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_3^i)$.



а



б



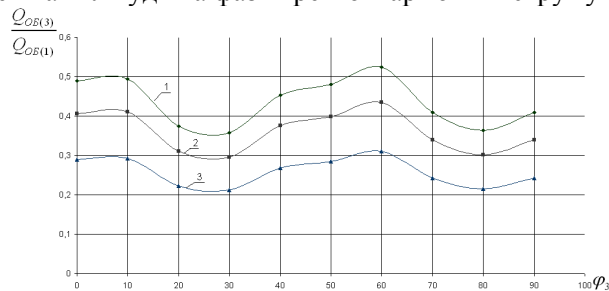
В

Рисунок 2 - залежність коефіцієнтів взаємного впливу Δ_A , Δ_B , Δ_C від зміни коефіцієнта пульсації K_{Π}

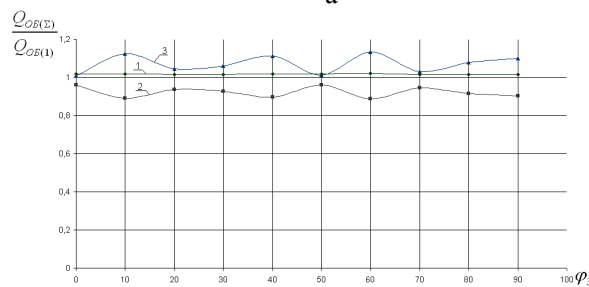
Графіки на рис. 2,а–в показують залежність коефіцієнтів взаємного впливу Δ_A , Δ_B , Δ_C (згідно співвідношення (3)) від зміни коефіцієнта пульсації K_{Π} третьої гармоніки струму на навантаженні К за умови, що $U_1 = 1B$; $I_{1Bm} = 1A$; I_{ICm} змінюється від 1,1 до 1,5 з кроком в 0,1 А; $\varphi_{1C} = 30^\circ$; $\varphi_{3C} = 0^\circ$; $\varphi_{1B} = 30^\circ$.

Для виділеної схеми на рис. 3 наведено залежності $Q_{OB}^{(3)} / Q_{OB}^{(1)}$ та $Q_{OB}^{(\Sigma)} / Q_{OB}^{(1)}$ при зміні кута φ_3 для $K_p = 0,25$. Вихідні дані при розрахунку $U_1 = 100$; $I_1 = 10$. Наведені графіки наглядно ілюструють процес взаємокомпенсації обмінних процесів на першій та третій гармоніках.

Аналіз графіків, наведених на рис. 2 та 3, показує складний характер впливу компенсатора К на величину спотворень у функції коефіцієнта пульсації K_{Π} , а також можливість появи екстремумів в залежності від співвідношень амплітуди та фази третьої гармоніки струму компенсатора К.



а



б

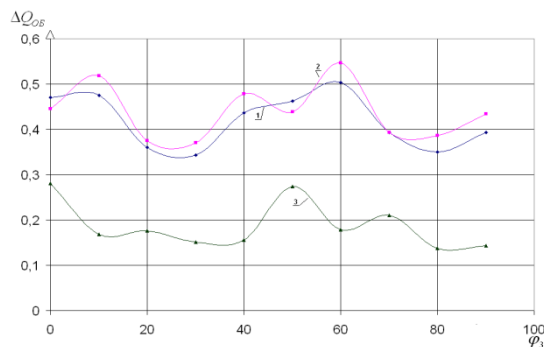


Рисунок 3 - складний характер впливу компенсатора К на величину спотворень в системі

Висновки

1. Розрахунково-аналітичний метод, дає змогу зробити висновок про складність процесів, що протікають в енергосистемі. Складність отриманих характеристик дає нам змогу побачити вплив спотворюючих факторів на графіки навантажень. З чого ми можемо зробити висновок про необхідність встановлення компенсаторів, а саме гібридних фільтрів для коригування наявних спотворень.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Праховник А.В. Стан та перспективи інтеграції децентралізованої генерації в єдину систему енергопостачання / Праховник А.В., Кулик О.В. // Праці ІЕД НАНУ спец. випуск. – 2006. – с. 39 – 42.

2. Праховник А.В. Энергетика устойчивого развития регионов / А. В. Праховник, В. А. Попов, Е. Н. Иншеков, А. В. Волошко// Научный журнал «Энергетика: экономика, технологии, экология». –Киев, НТУУ «КПІ». – 2008. – №2. – С. 3-9.

3. G. Benysek. Improvement in the Quality of Delivery of Electrical Energy

ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТРАТЕГІЇ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДЕРЖАВИ

*Іншеков Є.М., канд. техн. наук, Козуб О.М., аспірант, Дробаха О. С., аспірант
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ»*

В роботі проводиться аналіз визначальних тенденцій еколого-економічного розвитку та енергетичної політики розвинених країн, в основу яких покладені енергобезпека, енергоефективність, енергозбереження та екологічна гармонізація суспільного розвитку, та обговорюється проблема комплексного підходу щодо забезпечення сталого розвитку держави з врахуванням енергетичних, економічних та екологічних аспектів. Запропоновано шляхи удосконалення національної енергетичної стратегії України, враховуючи світовий досвід.

В работе анализируются определяющие тенденции эколого-экономического развития и энергетической политики развитых стран, на основании энергобезопасности, энергоэффективности, энергосбережения и экологической гармонизации общественного развития, и обсуждается проблема комплексного подхода по обеспечению устойчивого развития государства с учетом энергетических, экономических и экологических аспектов. Предложены пути усовершенствования национальной энергетической стратегии Украины, учитывая мировой опыт.

In this paper analyze of the defining trends of ecological and economic development and energy policies of developed countries, based on the energy security, energy efficiency, energy saving and environmental harmonization of social development, and discuss the problem of an integrated approach to state sustainable development including energy, economical and environmental aspects. Proposes ways of improving Ukrainian national energy strategy, taking into account international experience..

Досліджуючи проблеми забезпечення енергетичної безпеки національних економік в умовах посилення екологічних вимог важливим є досвід країн, які являються загально визнаними світовими лідерами реального масштабного енергозбереження і адаптації національних економік до кліматичних змін. Необхідним також є об'єднання зусиль світової спільноти з метою подолання енергетичної кризи, що наближається, перші симптоми якої виявляються вже сьогодні. Загально визнаним є твердження, що людство підійшло до тієї межі, коли «майбутньотворне планування» повинне стати керівництвом до дії. Якщо такого повороту у діяльності людства не відбудеться, то песимістичні картини майбутнього, представлені у сучасних міжнародних доповідях, можуть стати реальністю [1]. Динамічні зміни у сценарії світового розвитку, примусили багато країн переглянути підходи до реалізації енергетичної політики і забезпечення національної енергетичної безпеки, на власному досвіді з'ясувати нові грані її розуміння у глобалізованому просторі [2].

Міжнародна енергетична агенція (МЕА) застерігає від глобальної енергетичної кризи, яка буде значно болючішою ніж нинішня фінансова. Особливістю минулих років стала підвищена увага світової спільноти до глобальних проблем, що становлять загрозу існуванню людства: ресурсний та енергетичний дефіцит (попит на нафту й газ збільшуються, тоді як їхні запаси зменшуються), глобальні зміни клімату, пов'язані з руйнуванням озонового шару атмосфери, під дією «парникового ефекту» [3].

Аналіз міжнародного досвіду та визначальних тенденцій еколого-економічного розвитку у регіональному і світовому масштабах дає підстави стверджувати, що в сучасних умовах основою ефективної енергетичної політики виступають: енергобезпека,

енергоефективність, енергозбереження та екологічна гармонізація суспільного розвитку. Більшість країн світу, які відчули гострий дефіцит енергетичних ресурсів під час світових енергетичних криз 1973 і 1979 років, поставили енергетичну безпеку і енергозбереження в якості основної задачі свого розвитку. Були прийняті енергетичні плани з акцентом на економію, облік і контроль витрати енергії, здійснювалось регулярне фінансування їх виконання. Також були прийняті ефективні закони і угоди, які стимулювали проведення політики енергозбереження. Підтвердження зв'язку між антропогенними викидами парникових газів (ПГ) і глобальною зміною клімату дало поштовх до прийняття Кіотського протоколу, який зобов'язує розвинені країни в цілому скоротити свої викиди ПГ на 5% в порівнянні з базовим рівнем 1990 року. Протокол відкрив принципово нові можливості для міжнародного співробітництва в області розвитку енергозбереження, зниження емісій ПГ і забезпечення енергетичної безпеки. Україна підтримує ініціативу Європейського Союзу з розробки угоди пост-Кіотського періоду, тобто ідею продовження дії механізмів Кіотського протоколу на наступний звітний період (підписання пост-Кіотського протоколу). За статистикою МЕА Україна входить в двадцятку найбільших забруднювачів планети парниковими газами та має найбільший в світі потенціал енергозбереження. Отже, необхідно взяти на себе зобов'язання не перевищення викидів парникових газів на рівні 2007 року, тобто 0 % збільшення викидів в усі наступні роки до 2020 року в рамках переговорів за новою угодою, покликаною замінити собою Кіотський протокол [4].

Спалювання викопного палива – основне джерело викидів ПГ. Його масштаби продовжують зростати. Згідно оцінки МЕА, до 2030 року світовий попит на енергоносії зросте на 50%. А це призведе до підвищення концентрації ПГ в атмосфері, що, в свою чергу, загрожує катастрофічними наслідками для людства. Тому розробка і реалізація широкого кола підходів та заходів стосовно скорочення спалювання викопного палива в світовій економіці являється найважливішим напрямком дій щодо запобігання глобальній зміні клімату в найближчі десятиліття. Іншою стороною тієї ж діяльності являється підвищення енергоефективності та впровадження політики енергозбереження. Ці види діяльності покликані не допустити стрімкого росту викидів ПГ і перейти до їх глобального скорочення і безвуглецевої енергетики, основаної на відновлювальних джерелах енергії і обмеженому використанні викопного палива з обов'язковим вловлюванням і захороненням CO₂.

Обидві мегапроблеми – зміна клімату і енергетична безпека – мають свої особливості і гостроту в конкретних країнах і регіонах. Відповідно й підходи до них будуть чимось відрізнятись, чимось бути схожими. В той же час сумарна ефективність дій міжнародної спільноти щодо зменшення викидів ПГ і забезпечення енергетичної безпеки буде ефективна тільки в результаті узгоджених дій і активного співробітництва всіх країн [5]. Виходячи із зазначеного, досить актуальним на сьогодні є вивчення сучасних загроз глобального характеру та напрямів їх подолання, формування адекватних вимог до розробки національної енергетичної стратегії Української держави.

Сучасний етап розвитку світової енергетики характеризується прискореним ростом енергоефективності, диверсифікацією виробничої структури і джерел енергії. В більшості промислово розвинених країн бажання підвищити енергоефективність отримало характер національної ідеї. Внутрішня державна політика там націлена на оптимізацію енерговитрат шляхом енергозбереження і розвитку відновлювальних джерел енергії. Найважливішими інструментами реалізації державної політики енергозбереження в країнах з розвинутою економікою являються:

- по-перше, нормативно-правова база. Наприклад, в США, Японії, Канаді і Нідерландах ефективно діють спеціальні закони про енергозбереження. В інших промислово розвинених країнах законодавче регулювання в сфері енергозбереження втілюється в реальне життя за допомогою окремих нормативних актів, урядових директив, присвяченим питанням економії палива і енергії в різних областях, які є ефективними і значною мірою

сприяють реалізації цілей державної енергозберігаючої політики.

- по-друге, цінова і податкова політика. Це не тільки підвищення цін і податків на енергоносії, але й наявність економічної мотивації в потенційних учасників енергозберігаючої політики (податкові пільги на придбання енергоефективного обладнання, субсидіювання з бюджету інвестицій в енергозбереження, ставок банківських кредитів [6].

Певні уроки з чужого досвіду повинна винести й Україна, яка поки системного підходу до формування та реалізації політики енергоефективності не має. І це ще один недолік нинішньої державної енергетичної політики, який підтверджує, що в макроекономічному контексті вона належно не розглядається та не вибудовується.

Порівняльна оцінка енергоспоживання, енергоємності та екологічності національного виробництва в Україні і світі доводить, що однією з базових передумов забезпечення стійкого реального зростання української економіки, посилення її конкурентних позицій є істотне підвищення енергоефективності внутрішнього виробництва, з орієнтацією принаймні на середньосвітові чи на європейські показники. Масштаб та загальний технологічний уклад української економіки обумовлюють досить значне кінцеве споживання первинних енергоресурсів — у 2007 році (для можливості порівняння використовуються дані МЕА саме за цей рік) нашою країною спожито 137,3 млн. т н.е., що значно перевищує середній показник для країн, які становлять ядро Євросоюзу (рис.1). Проаналізовані індикатори абсолютних енергетичних затрат і обсягу ВВП на душу населення (рис.2) чітко демонструють, що макроекономічний ефект від загального споживання енергоресурсів в Україні значно нижчий, ніж у порівнюваних з нею країнах ЄС. І тому нагальне завдання нашої енергетичної політики полягає в оптимізації й істотному підвищенні ефективності енергоспоживання.

Причина існування цієї значної різниці між показниками подушного доходу (який є безпосередньою оцінкою рівня економічного розвитку або загальноекономічного добробуту) в Україні і зазначених європейських країнах — неприпустимо висока енергоємність українського виробництва. За вказаний період (2007 рік) у нашій країні на створення одного дол. США ВВП витрачалося 414 г.н.е, тоді як в середньому у світі — лише 195 грамів (рис.3).

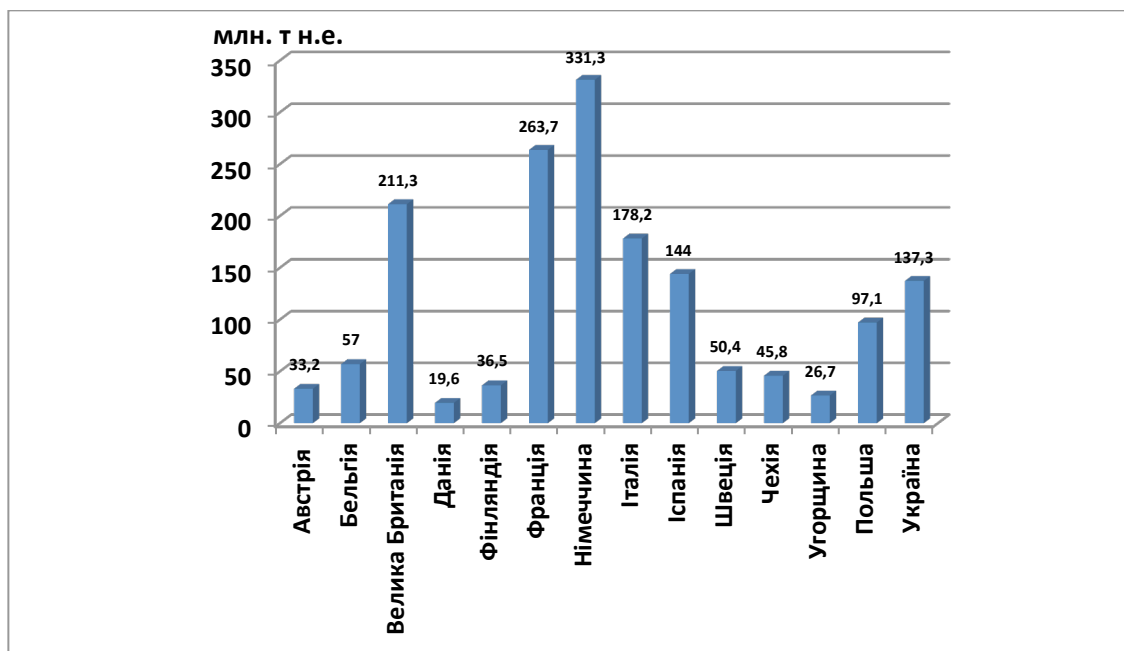


Рис. 1. Обсяг кінцевого споживання первинних енергоресурсів у країнах ЄС та Україні в 2007 р., млн. т н.е.

У сьогоднішньому світі енергоемність розглядається серед впливових чинників національної конкурентоспроможності. А тому державна політика, орієнтована на її посилення, має включати окрему складову — політику енергоефективності, заходи якої реалізовуватимуться одночасно в енергетичній, економічній та екологічній площині і стосуватимуться насамперед енергозбереження, техніко-технологічної модернізації та екологізації національного виробництва.

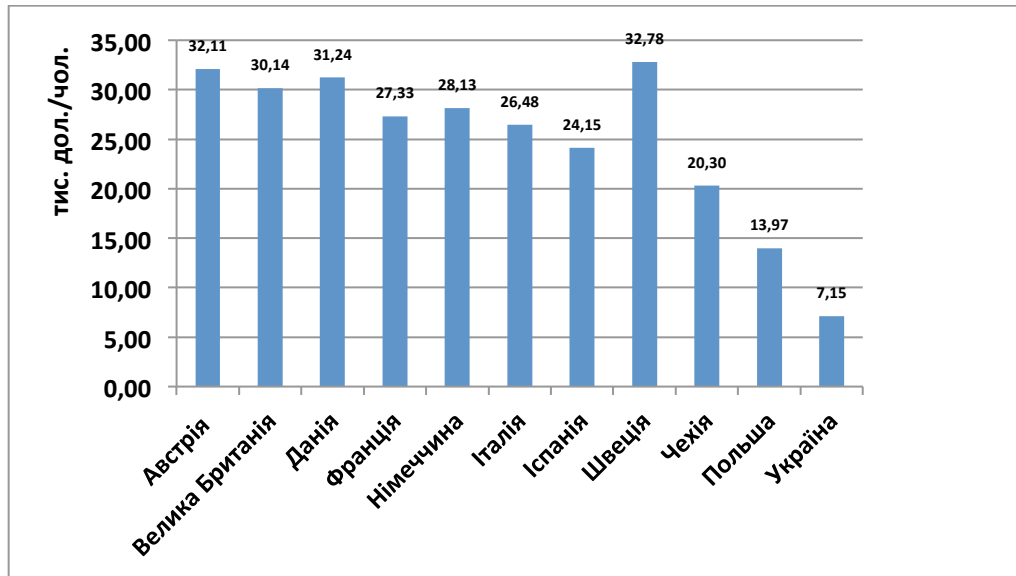


Рис. 2. Обсяг ВВП на душу населення у країнах ЄС та Україні в 2007 р., тис. дол./чол.

Покладаємо надію і на те, що при цьому і в Енергетичній стратегії України, і в її енергетичній політиці нарешті приділятиметься увага екологічній складовій. Вона є надзвичайно важливою тому, що наразі такий пріоритет державної політики провідних держав, як національна конкурентоспроможність, розглядається виключно через призму екологічного гармонізованого функціонування економіки.

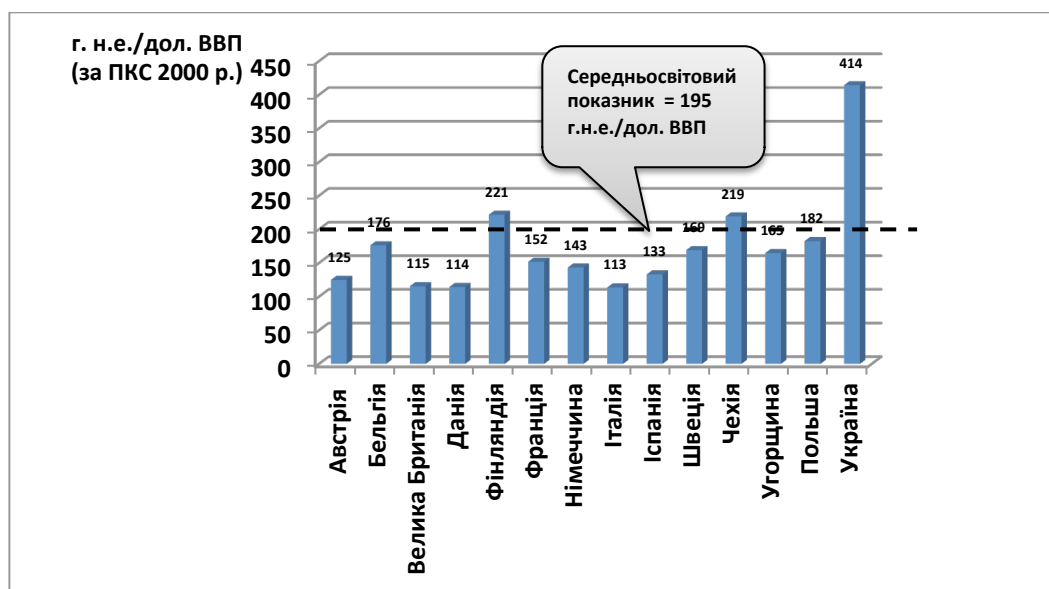


Рис. 3. Енергоемність виробництва (співвідношення затрат первинних енергоресурсів і ВВП) у країнах ЄС та Україні в 2007 р., г.н.е./ дол. ВВП (за ПКС 2000 р.)

Сьогодні країна має набагато гірші індикатори екологічності виробництва, ніж європейські та інші розвинуті країни світу. Створення одного дол. США ВВП в Україні в 2007 році давало вдвічі більше шкідливе навантаження на довкілля, ніж в середньому у світі (рис.4). Ця причина акцентує увагу на необхідності уважного розгляду енергетичної політики України ще й в екологічному контексті[7].

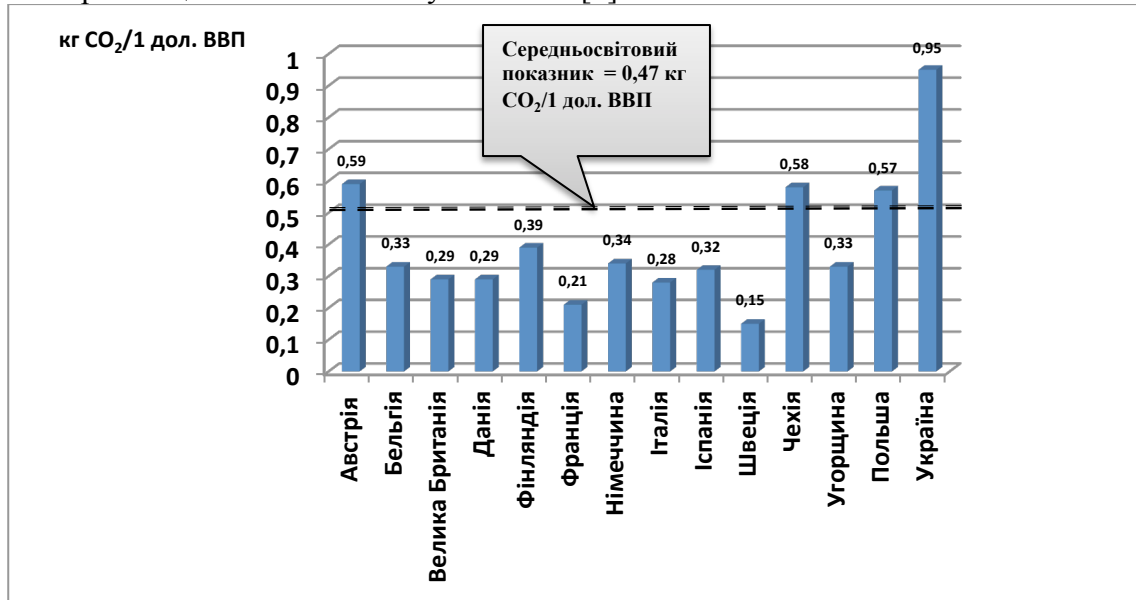


Рис. 4. Екологічність виробництва (співвідношення обсягів шкідливих викидів і ВВП) у країнах ЄС та Україні в 2007 р., кг CO₂/1 дол. ВВП (за ПКС 2000 р.)

Крім того, варто відмітити, що дуже важливе значення має методика визначення емісії ПГ. Існують дві схеми: «зверху»-«вниз» та «знизу»-«вверх». Перша передбачає інвентаризацію викидів в межах країни на основі статистичних даних про об'єми споживання палива. Зрозуміло, що розрахунок за такою схемою буде приблизним, але саме цією методикою користуються в нашій країні. Більш точну інформацію можна отримати шляхом розрахунку за схемою «знизу»-«вверх», яка передбачає інвентаризацію викидів кожним підприємством самостійно з передачею інформації на наступний рівень організаційної схеми. Для розрахунків викидів ПГ на конкретному підприємстві необхідно враховувати індивідуальні особливості технологічних процесів і енергетичних установок цього підприємства [8].

В одному з тематичних документів МЕА сформульовано такі кроки щодо створення національної енергетичної стратегії держави:

На міжнародному рівні: віднесення національної енергетичної стратегії до найвищого рівня політичних зобов'язань; об'єднання зусиль з країнами-членами G8/ІЕА щодо впровадження рекомендацій МЕА в розробці національної енергетичної стратегії і глобальних програм підвищення енергоефективності; сприяти міжнародній співпраці.

На національному рівні: розвивати стратегічний політичний потенціал в галузі енергоефективності та зміни клімату; усвідомлювати комплексні і сталі взаємозв'язки категорій «національна конкурентоспроможність», «енергетична безпека», «екологічна збалансованість», що виникли в ході формування глобальних тенденцій сьогодення й мають декларуватися як пріоритети державної політики, а не залишатися лозунгами, не втіленими в дійсність; у державній внутрішній політиці необхідно, насамперед, оцінювати значення шоківих впливів подорожчання стратегічних енергоресурсів на національну економіку, визначати виклики макроекономічному розвитку держави, що виникають при цьому, і передбачати їх наслідки у екологічній, соціальній, економічній та політичній площинах [9].

Вищенаведене слід розглядати як готовий план удосконалення національної енергетичної стратегії. Уряду залишається дати йому відповідну програмну основу і забезпечити необхідні законодавчі та фінансові механізми їх реалізації [9].

Висновки

1. Закономірності та характерні риси сучасної європейської політики енергоефективності:

- наявність міцного програмного та законодавчо-нормативного підґрунтя;
- застосування низки адекватних інструментів та ініціатив щодо реалізації політики, функціонування дієвої системи моніторингу та контролю за їх застосуванням;
- комплексне поєднання політики енергоефективності з іншими напрямками державного регулювання, зокрема, екологічною та економічною політикою.

2. Відсутність даних принципів в національній енергетичній стратегії України, значною мірою знижує її ефективність, підвищує економічні, політичні, екологічні, соціальні ризики, перешкоджає концентрації зусиль і ресурсів, ускладнює створення сприятливого інвестиційного клімату.

3. Незважаючи на комплексний характер проблем в енергетичному секторі та відсутність системного підходу до їх вирішення, які ускладнюють рух до спільного європейського енергетичного ринку та зумовлюють складні економічні та соціальні наслідки реформування всередині країни, Україна має певний потенціал (за умов усунення недоліків переважно в політичній та адміністративній сферах), що міг би значною мірою сприяти просуванню енергетичного сектора України до європейського ринку та стати поштовхом до проведення ефективних економічних реформ.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національна Стратегія "Енергетична Безпека України" (пояснювальна записка) // Електронний журнал енергосервісної компанії "Екологіческие системы". – 2006. – №11.
2. Саприкін В. Стан та перспективи міжнародного співробітництва України в енергетичній сфері // Дзеркало тижня. – 2000. – № 40 (313) 14. – С. 21 – 26.
3. <http://www.dw-world.de/dw/article/0,4109539,00.html> Веберман Ю., Тейзе Є. Енергетичний голод – не за горами.
4. Шевцов А.І. Майбутнє людства необхідно спланувати: глобальні загрози і довгострокова стратегія розвитку України // Стратегічні пріоритети. – 2007. – №1(2). – С. 188 – 193.
5. Дрождинина А.И. Энергосбережение – инструмент реализации энергетической стратегии России // Вестник МГТУ. Т. 11. – 2008. – №2. – С. 338-342.
6. Єрмілов С.Ф. Нотатки до Програми Партії екологічного порятунку «ЕКО+25%» Енергетичний розвиток України в макроекономічному та екологічному контексті: проблеми сьогодення і майбутнього // Дзеркало тижня. – 2006. – № 5 (584) 11. – С. 1 – 11.
7. CO₂ emissions from fuel combustion– 2009 IEA Statistics. – International Energy Agency, Paris, 2009. – 124 p.
8. Керівництво по проведенню розрахунків обсягів викидів парникових газів на підприємствах гірничометалургійного комплексу України. – Харків: Енергосталь, 2006. – 28 с.
9. Innovations in National Energy Efficiency Strategies and Action Plans– 2008 Review. – International Energy Agency, Paris, 2008. – 26 p.

МЕТОДИ ОБЧИСЛЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В ПРОМИСЛОВOSTІ УКРАЇНИ. ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

*Інишеков Є.М., канд. техн. наук, Дробаха О. С., аспірант, Козуб О.М., аспірант
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ»*

Розглянуто існуючі методи розрахунків викидів парникових газів (ПГ) в промисловості, виконано їх короткий аналіз щодо специфіки та можливості застосування. Визначено найбільш прийнятні у використанні методи для умов промисловості України.

Рассмотрены существующие методы расчётов выбросов парниковых газов в промышленности, выполнено их краткий анализ относительно специфики и возможности применения. Определено наиболее приспособленные для использования методы в условиях промышленности Украины.

Existing methods for calculations of the greenhouse gases emissions in the industry are considered, their short analysis concerning specificity and application possibility was made. It is defined the most adapted method for use in the conditions of the industry of Ukraine.

Вступ

Розглянемо дану тему на прикладі промисловості будівельних матеріалів, яка має багатогалузевий характер, є однією з галузей важкої промисловості та найважливішою складовою будівельного комплексу. Виробництво будівельних матеріалів в Україні з кожним роком зростає. Найбільшу ринкову частку згідно статистичних даних Державного комітету статистики України складає виробництво цементу [1,2].

Важливі проблеми взаємозв'язку цементної промисловості та еволюції довкілля з урахуванням забруднюючих факторів та екологічних резервів визначають необхідність все ширшого охоплення аспектів раціонального використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Дана галузь є одним з найбільших споживачів природної сировини, палива та енергії, а також спричиняє виділення значної кількості техногенного вуглекислого газу та аерозолів. Тому цементну промисловість включено в стратегію сталого розвитку, основні принципи якої полягають у мінімізації питомих витрат енергії та матеріальних ресурсів у процесі виробництва зі зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище[3].

Можливості використання механізмів Кіотського протоколу

Цементна промисловість є джерелом значної кількості викидів CO₂ при виробництві цементу (клінкеру). Важливим для аналізу є те, що це простий процес, в результаті якого виробляється однорідний продукт. Існує два джерела для виділення CO₂: спалювання палива та декарбонізація вапняку [4]. Потенціал для скорочень викидів CO₂ в Україні є достатньо великим. Але для того, щоб правильно визначити категорію виробництва, прослідкувати тенденцію викидів CO₂ в межах країни, необхідні перевірені та гарантовані національні дані про викиди CO₂ в цементній промисловості [5].

Кіотський протокол надає можливість не тільки знизити рівень викидів парникових газів в атмосферу, а й суттєво покращити енергоефективність промисловості. Серед найбільш цікавих для України механізмів протоколу «торгівля викидами» та «спільне впровадження» (СВ). Основна різниця між цими двома механізмами в тому, що «торгівля викидами» полягає у продажі іншій країні своєї частки невикористаного встановленого

обсягу викидів, а механізм СВ генерує додаткове зниження парникових газів за допомогою спільних інвестиційних проектів між компаніями [6].

Зі світових статистичних даних можна визначити найбільш зацікавлені в співпраці з Україною по механізмах Кіотського протоколу країни (рис.1) [7].

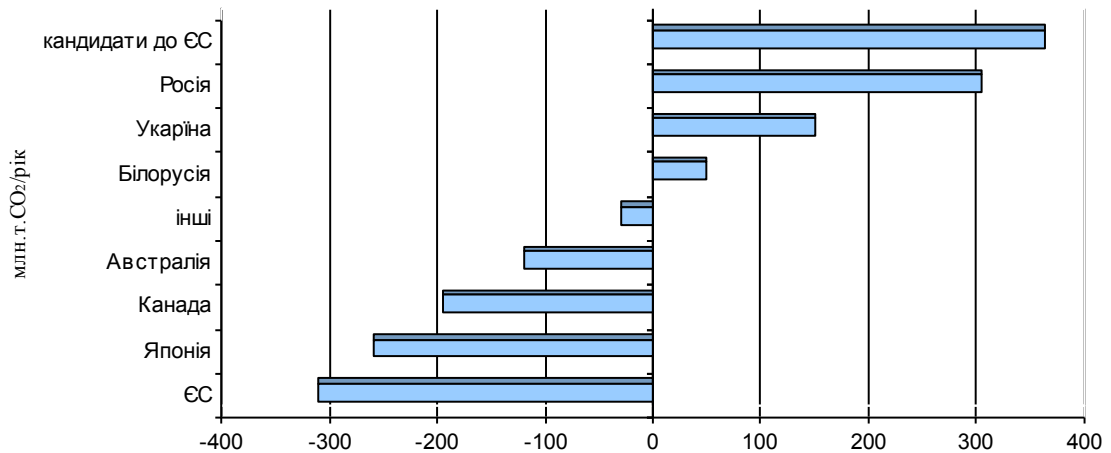


Рис. 1 - Передбачуваний встановлений обсяг викидів країнами в 2010 р.

Зацікавленість країни-інвестора полягає в більш дешевому для неї способу виконання зобов'язань по Кіотському протоколу, а також в розповсюдженні нових технологій та розширенні ринку. Зацікавленість української промисловості - додаткові доходи, інвестиції в промисловість, покращення енергоефективності виробництва, використання новітніх технологій.

Цементна промисловість є однією з важливих ланок впровадження механізмів Кіотського протоколу завдяки своїй енергоємності та великому потенціалу зменшення викидів парникових газів. В Європі цементна промисловість вживає 6 млн. т альтернативного палива з відходів, що відповідає заміні 17 % потреби теплової енергії. Європейською асоціацією цементу (CEMBUREAU) визначено такий перелік видів відходів, які можна використовувати як альтернативне паливо в цементних печах: вживані шини, відпрацьовані мастила та розчинники, гума, відходи деревини, пластики, паперові відходи, осад з виробництва паперу та стічних вод, тваринна їжа [8].

Цементну галузь в Україні представляють заводи, потенційна потужність яких становить майже 22 млн. тонн цементу на рік. Викопне паливо, ґрунтові води і мінерали повинні використовуватись з найвищою ефективністю, повторно перероблятись, а їх споживання скорочуватись за добровільного переходу до відновлюваних ресурсів [9].

Методи обчислення та порівняння показників викидів ПГ

Для розрахунків показників викидів ПГ розроблено багато методик та способів обчислення. До них відносяться індикатори енерговикористання, нормовані значення «Вказівок по охороні навколишнього середовища», методології для різних технологічних процесів, методики проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин та ін. Розглянемо деякі з них, які можуть бути використані та вже використовуються в промисловості будівельних матеріалів в Україні.

Для того, щоб коректно порівнювати дані для розрахунків визначаються *індикатори енерговикористання та викидів CO₂ цементної промисловості*:

- енергетична інтенсивність клінкеру (ГДж / т клінкеру);

- доля альтернативного палива для виробництва клінкеру (%);
- електрична інтенсивність цементу (кВт / т цементу);
- повна енергетична інтенсивність цементу (ГДж / т цементу);
- викиди CO₂ на тону цементу (т CO₂ / т цементу).

Індикатори ґрунтуються на фізичних співвідношеннях промисловості та пов'язані безпосередньо з технологією роботи. Вони можуть використовуватись для визначення потенціалу енергоефективності шляхом вдосконалення існуючої технології або використання нової. На індикатори не впливають цінові зміни промислової продукції, оскільки індикатори, що враховують споживчу вартість, підлягають меншим похибкам від економічних коливань. Енерговикористання та викиди ПГ в промисловості можуть бути проаналізовані окремо й відрізнитись в залежності від типу продуктів між країнами [5]. За допомогою індикаторів можна проаналізувати область використання проектів СВ для України порівняно з іншими країнами (рис.2).

Вуглецева інтенсивність може розглядатись як наближений показник потенціалу заміни палива країни (заміна палива з високим вмістом вуглецю на паливо з низьким). Енергетична інтенсивність - як наближений показник економічного потенціалу для покращення ефективності використання енергії.

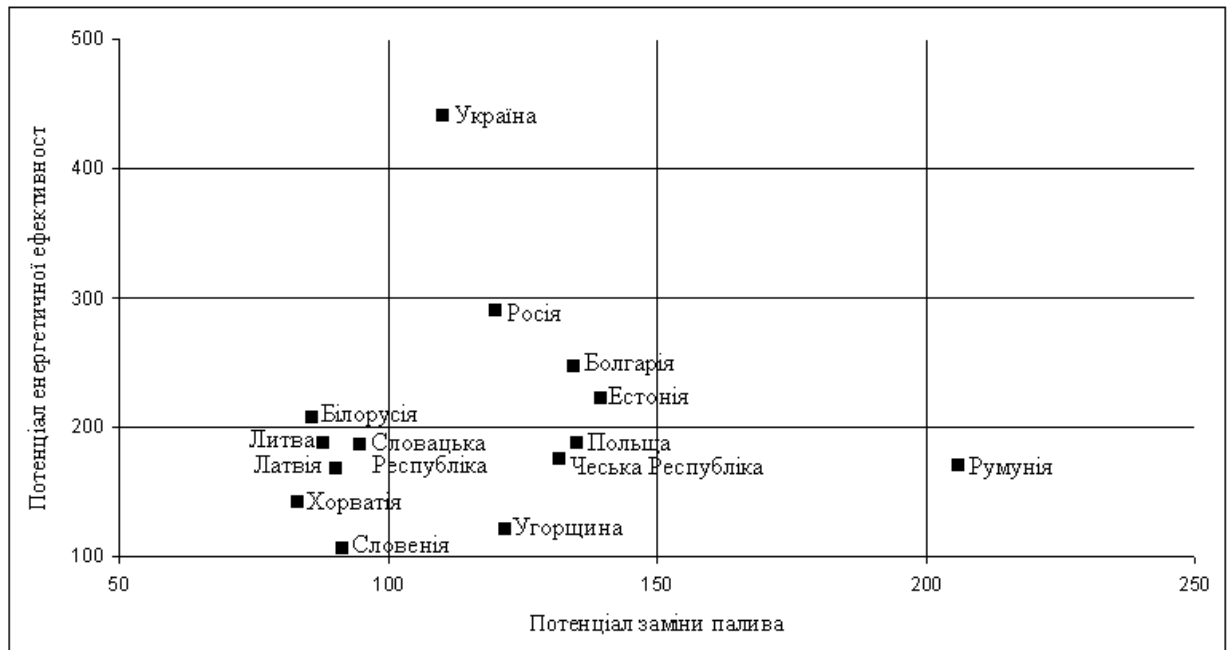


Рис. 2 - Енергетична та вуглецева інтенсивність.

Потенціал енергоефективності визначається як енергетична інтенсивність (використання енергії відносно покупної спроможності уточненої згідно ВВП) у відносних одиницях Європейського Союзу (ЄС=100). Потенціал заміни палива визначається як вуглецева інтенсивність (викиди ПГ від використаної енергії) у відносних одиницях Європейського Союзу (ЄС=100). Український потенціал енергоефективності становить 440 одиниць, а потенціал заміни палива - 110 одиниць [10].

В *Вказівках по охороні навколишнього середовища, здоров'я та праці для виробництва цементу* наведено приклади міжнародної галузевої практики, що можуть використовуватись як технічні довідники та технічні рекомендації [11]. В таблиці 1 приведені нормативи викидів для галузі цементного виробництва. Нормативні значення для викидів даної промисловості виступають показниками сформованої міжнародної практики виробництва, яка відображена у відповідних стандартах. Ці нормативи можуть бути виконані

в звичайних умовах експлуатації на відповідним чином спроектованих та експлуатуємих промислових спорудах шляхом застосування методів запобігання та контролю викидів ПГ. Нормативи викидів розповсюджуються на викиди при технологічних процесах та можуть визначатись в залежності від місцевих умов.

В таблиці 2 приведені приклади використання ресурсів в галузі виробництва цементу з міжнародної практики, що може виступати показником ефективності роботи галузі та дозволить відслідковувати зміни в якості роботи на протязі часу [11].

Таблиця 1 - Рівні викидів в атмосферу при виробництві цементу

Забруднювач	Одиниці вимірювання	Нормативне значення
Тверді частки (нова обертова піч)	мг/Нм ³	30
Тверді частки (діюча обертова піч)	мг/Нм ³	100
Пил (інші джерела викидів, включаючи охолодження клінкеру, подрібнення цементу)	мг/Нм ³	50
SO₂	мг/Нм ³	400
NO_x	мг/Нм ³	600
HCl	мг/Нм ³	10
Фтористий водень	мг/Нм ³	1
Загальний органічний вуглець	мг/Нм ³	10
Діоксани і фурані	мг TEQ/Нм ³	0,1
Кадмій і талій (Cd + Tl)	мг/Нм ³	0,05
Ртуть (Hg)	мг/Нм ³	0,05

Таблиця 2 - Споживання ресурсів та енергії при виробництві цементу

Подача на одиницю продукції	Одиниці вимірювання	Контрольний показник галузі
Енергія палива при виробництві цементу	ГДж/т клінкера	3,0-4,2
Електроенергія при виробництві цементу	кВтч/т еквівалента цементу	90-150
Електроенергія при роздрібненні клінкеру	кВтч/т	40-45
Матеріали Заміна сировини, що використовується при виробництві клінкеру	%	2-10
Заміна сировини, що використовується при виробництві цементу	%	0-70/80 з доменним шлаком ≥0-30 з леткою золою

Одним з основних способів розрахунку викидів ПГ на підприємствах цементного виробництва в Україні є використання *методики проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин*. Серед останніх нормативних документів в цій сфері можна відмітити наступні.

За Наказом №48/16064 від 21.01.2009 року затверджена Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. За даною методикою визначається маса наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду забруднюючих речовин, віднесеного до основних джерел викидів, здійснюється за формулою:

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (q_{Bi} - q_{Внорм}) \cdot q_V \cdot T,$$

де

m_i - маса наднормативного викиду i -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду цієї забруднюючої речовини, т;

q_{Bi} - середнє значення масової концентрації i -тої забруднюючої речовини, мг/м³;

$q_{Внорм}$ - значення затвердженого нормативу викиду i -тої забруднюючої речовини, наведеного в дозволі на викид, мг/м³;

q_V - значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду i -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов, м³/с.

За Наказом №71 від 16.02.2009 року Міністерством охорони навколишнього природного середовища України затверджено Перелік забруднюючих речовин на порогові значення потенційних викидів, за якими здійснюється державний облік.

Наприклад, деякі з них наведені в табл. 3:

Таблиця 3 - Споживання ресурсів та енергії при виробництві цементу

Код	Найменування	Порогові значення викидів, тонн/рік
07000	Діоксид вуглецю CO ₂	500,0
12000	Метан CH ₄	10,0
04001	Оксиди азоту N ₂ O	1,0

Але у цих методик є суттєвий недолік - вони не враховують особливостей галузі виробництва та інших індивідуальних факторів.

Також для розрахунків викидів парникових газів використовуються *методології* для різних технологічних процесів, розроблені Рамковою Конвенцією ООН з питань зміни клімату.

Основні методології для процесів виробництва цементу:

- АСМ0003 «Зниження викидів шляхом часткового заміщення викопного палива альтернативними видами палива а паливом з більш низькими викидами ПГ при виробництві цементу»;

- АСМ0005 «Об'єднана методологія для підвищення ефективності змішування в цементній промисловості»;

- АМ0024 «Методологія для зниження викидів ПГ шляхом повернення скидного теплового потенціалу та його використання для виробництва електроенергії на цементних заводах» [12].

Всі методики виконуються в декілька кроків, які визначені для кожної методології індивідуально.

Розглянемо принцип методики на прикладі АМ0024 «Методологія для зниження викидів ПГ шляхом повернення скидного теплового потенціалу та його використання для виробництва електроенергії на цементних заводах». Проектна діяльність зменшує викиди CO₂ від електромережі при використанні відхідного тепла при виробництві цементу.

Скорочення викидів на протязі заданого року (y - параметр року) визначається за формулою:

$$ER_y = EB_y - PE_y$$

де EB_y - основні викиди за рік y , [т.CO₂];

PE_y - проектні викиди через можливі зміни в споживанні палива при виробництві цементу в результаті проектної діяльності за рік y , [т.СО₂].

Основні кроки розрахунків по методології:

1. Визначення технічно можливих альтернатив проектної діяльності.
2. Погодження з нормативними вимогами країни.
3. Проведення економічного аналізу всіх варіантів, які відповідають нормативним вимогам.

Також проводиться розрахунок скорочення викидів. Визначаються межі проектної діяльності (проектні викиди розраховуються, як різниця викидів СО₂ від використання викопного палива при виробництві клінкеру на одиницю продукції до та після впровадження проекту). Визначаються базові викиди та фактор викидів (основне джерело енергії електромережа або ідентифікується спеціальне джерело енергії). Проводиться аналіз проектної діяльності. В разі не врахування деяких джерел викидів (наприклад, будівництво електростанції, паливна обробка та ін.), їх визнають не значними та відносять до витоку [13].

Дані методології враховують специфіку галузі, для якої вони розроблені та можуть бути суміщені між собою за необхідності доповнити одна одну. На сьогоднішній день, саме ці методології є найбільш зручними для використання при розрахунках викидів ПГ та визначенні шляхів їх скорочення.

Важливим завданням є визначення показників та факторів даної галузі для України таким чином, щоб мати можливість використовувати їх в даних методологіях, враховуючи особливості розташування, технології, використання енергоресурсів та енергоспоживання промислового комплексу.

Висновки

1. Для цементної промисловості важливо, щоб методика при встановлення питомих норм викидів враховувала фактори особливості технологічного процесу:
 - спосіб виробництва (сухий чи мокрий);
 - типи пічних агрегатів;
 - вид та питомі витрати палива;
 - використання альтернативного палива;
 - використання техногенних матеріалів в якості сировинних компонентів;
 - стан пилоочисних установок та ін [14].
2. Основною перешкодою у використанні даних методик є недостатність даних для обчислення та встановлення нормованих значень в даній галузі для України.
3. З огляду на міжнародну практику виникає необхідність введення програми моніторингу для промисловості будівельних матеріалів в Україні, яка охоплювала б всю діяльність, що потенційно може суттєво вплинути на рівень викидів ПГ в звичайних умовах та в непередбачуваних ситуаціях. Проведення екологічного моніторингу викидів ПГ повинно ґрунтуватись на прямих і непрямих показниках викидів та використанні енергетичних ресурсів. Моніторинг необхідно проводити досить часто, щоб отримати репрезентативні дані для контролю мого параметру. Отримані дані можуть використовуватись для регулярного аналізу, вивчення та порівняння з діючими стандартами з метою прийняття будь-яких необхідних заходів для зменшення викидів ПГ та розробки методики їх обчислення з врахуванням місцевих особливостей галузі.

Список використаної літератури

1. Іщук С.І Промислові комплекси України.- 2003. - С.122-127.
2. Державний комітет статистики України. Виробництво основних видів промислової продукції за 2003–2008 роки. Ел. ресурс - <http://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Соболев Х. С. Модифіковані композиційні цементы с добавками полифункциональной дии: дис... д-ра техн. наук: 05.17.11 / Национальный ун-т "Львівська політехніка". — 2006.- С. 1-3.

4. Global Carbon. Цементна промисловість. Ел. ресурс - <http://www.global-carbon.com/ua/sectors/cement-industry.html>
5. International energy agency. Tracking industrial energy efficiency and CO₂ emissions. OECD/IEA. - 2007. - p.139-174.
6. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій в Україні. Україна та Кіотський протокол: значні перспективи та незначні досягнення - 2003 - С. 3-5.
7. Jan Pretel. PCF II Project Cycle after CoP7 and Preparedness of EIT Countries, 2001.
8. Хрущик С.Я., Мазурак О.Т., Мазурак А.В., Зубик С.В. Проблеми використання та безпеки альтернативних видів палива під час виготовлення продукції з мінеральної сировини/ Львівський ДАУ - 2007
9. Федунь Ю.Б., Савицький М.А. Проблеми сталого еколого-економічного розвитку України: кроки до вирішення / Національний ун-т "Львівська політехніка" - 2008
10. IPM research center. German economic team in Belarus. Belarus and Kyoto Protocol: opportunities and challenges - 2003. - p.8.
11. International Finance Corporation. Cement and Lime Manufacturing - 2007. - p. 13
12. United Nations Framework Convention on Climate Change. Ел. ресурс - <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>
13. Approved baseline methodology AM0024 "Baseline methodology for greenhouse gas reductions through waste heat recovery and utilization for power generation at cement plants". Version 02.1 Ел. ресурс - <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>
14. Сидорова А.Н. Охрана окружающей среды. Состояние нормативной экологической базы. Присоединение к Киотскому протоколу. ЗАО НТК «Цемент» - 2007. - С.8.

ARMABIS-ЕМУЛЯТОРИ В АДАПТИВНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

В.П. Щокін, канд. техн. наук
Криворізький технічний університет
м. Кривий Ріг, Україна

Наведена методика параметричного синтезу адаптивних ARMA-моделей нелінійних нестационарних динамічних об'єктів керування. Метод дозволяє поєднати в одній ARMABIS-моделі позитивні риси інтуїтивних та формалізованих методик прогнозування.

Приведена методика параметрического синтеза адаптивных ARMA-моделей нелинейных нестационарных динамических объектов управления. Метод позволяет объединить в одной ARMABIS-модели позитивные черты интуитивных и формализованных методик прогнозирования.

The method of self-reactance synthesis of adaptive ARMA-models of nonlinear non-stationary dynamic objects of management is resulted in the article. A method allows to unite the positive lines of intuitional and formalistic methods of prognostication in ARMABIS-model.

Блок емуляції (ідентифікації) об'єкту є необхідним складовим елементом переважної більшості сучасних інтелектуальних систем керування [1, 2].

Побудова вказаних блоків на основі нейронних мереж [1,2] дозволяє в one-line режимі екстраполювати різницеve рівняння, яким описують динамічний стан об'єкту керування (дана модель широко відома під назвою «авторегресія») [3]. Недоліки вказаного підходу до синтезу моделі добре відомі: для оцінки виходу об'єкту у даний момент часу використовуються фактичні значення виходу об'єкту отримані раніш, що призводить до накопичення похибки при моделюванні вперед на число кроків більше одного, та не виключення варіанту виходу системи автоматичного керування за межі стійкості.

В статті розглядається підхід до побудови узагальненої ARMABIS-моделі динамічного об'єкту, яка дозволяє прогнозувати його вихід або вхід з мінімальною похибкою та забезпечувати гарантовану стійкість системи керування вибором відповідного коефіцієнту регуляризації критеріального лагу.

Моделі дискретних стохастичних процесів прийнято [4] записувати у вигляді вихідного сигналу фільтру з невизначеною передаточною функцією $H(z)$. Зазвичай вводять припущення, що сигнал збурення є білим шумом $e(n)$, а передаточна функція має вид:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_q z^{-q}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_p z^{-p}} . \quad (1)$$

Зв'язок вхідного $u(n)$ і вихідного $y(n)$ сигналів в моделях дискретних стохастичних процесів з передаточною функцією (1) прийнято [4,5,6] описувати модифікованим різницеvim рівнянням:

$$y(t) = \sum_{l=0}^q \gamma_l \xi(t-l) - \sum_{k=1}^p \beta_k y(t-k) . \quad (2)$$

де $\xi(\cdot)$ - незалежна змінна (регресор).

Різницеве рівняння (2) характеризує авторегресійні процеси $\sum_{k=1}^p \beta_k y(t-k)$ (AR(p) -модель з розподіленим лагом залежної (критеріальної) змінної) з ковзним середнім (MA(q)-модель з розподіленим лагом регресора) $\sum_{l=0}^q \gamma_l \xi(t-l)$, або ARMA-процеси.

Оскільки запропонована [4] програма ЦОМ (2) оперує дискретними функціями входу і виходу, при застосуванні в системах керування апроксимуючих властивостей інтелектуальних елементів (експертні системи, нечітка логіка, штучні нейронні мережі (ШНМ), генетичні алгоритми і т.і.), з'являється можливість аналізувати подібні системи шляхом дослідження відповідних властивостей дискретних фільтрів або ARMA-процесів.

Необхідно зазначити, що у сучасній науковій літературі [7,8,9] при висвітленні питань нейрокерування, а саме в описах методів синтезу структур нейроідентифікації динаміки об'єктів керування, використовують наступну інтерпретацію апроксимуючих властивостей ШНМ:

$$\hat{y}(k+1) = F(u_k, z^{-1}u_k, \dots, z^{-m}u_k; \hat{y}_k, z^{-1}\hat{y}_k, \dots, z^{-n}\hat{y}_k; w_i^{(l)}), \quad (3)$$

де в якості вектору стану ШНМ приймають вектор:

$$\text{col}(y, z^{-1}\hat{y}, \dots, z^{-n}\hat{y}) = \text{col}(\hat{x}_n(k), \hat{x}_{n-1}(k), \dots, \hat{x}_1(k)). \quad (4)$$

де z^{-1} - оператор зсуву.

Результатом ідентифікації динамічної моделі реального об'єкту управління, в сенсі наближення функцій виходу $\hat{y}(t)$ і $y(t)$ з точністю до похибки навчання нейронної мережі $\hat{e}(t) = y(t) - \hat{y}(t)$, є параметрично синтезовані, згідно певного алгоритму, значення вагових коефіцієнтів синоптичних зв'язків $w_i^{(l)}$ в шарах ШНМ $l = \overline{1, K}$ з оцінкою вектору стану об'єкту, який прийнято [7,8,9] описувати параметрично недовизначеним нелінійним диференціальним рівнянням виду:

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1); u(k), \dots, u(k-m+1)]. \quad (5)$$

Співставлення рівнянь (2) та (5) дозволяє довести, що параметрично недовизначене нелінійне диференціальне рівняння (5) є узагальненою формою різницевого рівняння (2), якщо врахувати, що вагові коефіцієнти $\beta_k (k = 0, 1, 2, \dots, N)$ та $\alpha_k (k = 0, 1, 2, \dots, N)$ можуть бути визначені на базі застосування апроксимуючих властивостей інтелектуальних елементів.

Відповідно з вищевикладеним, в якості моделей прямої та зворотної динаміки об'єктів керування, як лінійних так і нелінійних нестационарних, може бути застосована структура ARMA-моделі з розподіленим лагом (2). Цілком очевидно, що при моделюванні динаміки об'єктів керування ARMA-модель повинна володіти адаптивними властивостями, які є можливість реалізувати при застосуванні лагового оператора (B):

$$B^r y_i = y_{i-r}. \quad (6)$$

Якщо застосувати поліном від лага

$$f(B) = a_n B^n + \dots + a_1 B + a_0, \quad (7)$$

до змінної x , то отримуємо:

$$f(B)y_i = \left(\sum_{j=0}^n a_j B^j \right) y_i = \sum_{j=0}^n a_j (B^j y_i) = \sum_{j=0}^n a_j y_{i-j}. \quad (8)$$

Оператор різниці (абсолютного приросту) Δ , визначається як $(1-B)$

$$\Delta y_i = 1 - B = y_i - y_{i-1}, \quad (9)$$

Якщо застосувати лаговий оператор (6) до ADL-моделі (2) отримаємо ADL(p,q)-модель в операторній формі:

$$y_i = \alpha + Bf(B)y_i + g(B)x_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

де $f(B)$ і $g(B)$ - поліноми.

Різницеве рівняння (10) характеризує авторегресійні процеси (AR(p) - модель з розподіленим лагом критеріального параметра) з ковзним середнім (MA(q) - модель з розподіленим лагом регресора).

Запишемо дискретну ARMA-модель з розподіленим лагом порядку (0,q) (MA(q)) для еталонного значення $y^*(t)$ вихідної координати об'єкту управління $y(t)$ (desired):

$$y^*[i] = \alpha + \sum_{j=0}^q \gamma_j x[i-j] + \varepsilon[i]. \quad (11)$$

Кінцева різниця порядку m має вид:

$$\Delta^m y[i] = \mu(1-B)^m = \mu(\Delta^{m-1} y^*[i] - \Delta^{m-1} y[i-1]), \quad i = 0..n-m \quad (12)$$

де μ - коефіцієнт регуляризації ADL-структури.

Виключивши з (12) еталонну величину $y^*(t)$, отримаємо дискретні адаптивні структури моделей ADL (p,q), що характеризують адаптивні ARMA-процеси:

$$y[i] = \mu \sum_{j=0}^q \gamma_j x[i-j] + (1-\mu) \cdot \left(\left[\sum_{j=1}^{p-1} (-1)^{j+1} \cdot p \cdot y[i-j] \right] + (-1)^{p+1} \cdot y[i-p] \right) + \mu \varepsilon[i]. \quad (13)$$

З метою надання адаптивних властивостей ADL-моделям розроблено алгоритм адаптації вагових коефіцієнтів $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$ на базі модифікованого градієнтного методу мінімізації квадратичного функціонала

$$J(\varepsilon_u) = 0,5 \varepsilon_u^T \varepsilon_u \quad (14)$$

Оскільки відсутня явна залежність вектора ε_u (по доданках (13)) і функції $J(\varepsilon_u)$ від вагових коефіцієнтів $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$ помилка ε_u в процедурі адаптації моделі (13) перераховується в узагальнені помилки $\delta^{(1)}$, які явно залежать від значень $\gamma_0 \dots \gamma_1$. При цьому адаптація вагових коефіцієнтів моделі (13) на кроці $[i+1]$ проводиться відповідно до наступного шаблону:

$$\gamma_j[i+1] = \gamma_j[i] - h q^{(i-j)}[i] \Lambda^{(j)}[i], \quad (15)$$

де $q^{(i-j)}$ - розподілений лаг регресора, h - швидкість настроювання.

$$\Lambda^{(j)}[i] = \text{col} \left(\frac{\partial J}{\partial q_1^{(i-j)}}, \dots, \frac{\partial J}{\partial q_{n_j}^{(i-j)}} \right) = -\varepsilon_u[i], \quad (16)$$

отже

$$\gamma_j[i] = \gamma_j[i-1] + h \cdot \varepsilon_u[i] \cdot q[i-j-1], \quad j = 0, 1 \dots 1, \lambda > 0. \quad (17)$$

Адаптаційна помилка $\varepsilon_u[i]$ визначається як різниця еталонного значення і фактичного виходу моделі на i -ої ітерації.

З урахуванням рівняння k -ої різниці

$$\Delta^k f_i = \sum_{v=0}^k (-1)^v C_k^v f_{i+k-v}, \quad (18)$$

де C_k^v - біноміальні коефіцієнти які визначаються за формулою

$$C_k^v = \frac{k!}{v!(k-v)!}, \quad (19)$$

адаптивна модель з розподіленим лагом ADL(p,q) (13) може бути представлена в формі різницевого рівняння шляхом перетворення загальної форми рівняння в кінцевих різницях

$$a_p y[i] = d_o \Delta^q \xi[i] + d_1 \Delta^{q-1} \xi[i] + \dots + d_q \xi[i] - a_1 \Delta^{p-1} y[i] - \dots - a_p \Delta^0 y[i] + v \varepsilon[i], \quad (20)$$

$$c_0 y[i + p] = b_o \xi[i + q] + b_1 \xi[i + q - 1] + \dots + b_m \xi[i] - c_1 y[i + p - 1] - \dots - c_p y[i] + v \varepsilon[i], \quad (21)$$

або, при скороченні дискрету n :

$$c_0 y[i] = b_o \xi[i + q - p] + b_1 \xi[i + q - 1 - p] + \dots + b_m \xi[i - p] - c_1 y[i - 1] - \dots - c_n y[i - p] + v \varepsilon[i]. \quad (22)$$

Загальний шаблон різницевого рівняння (22) дозволяє записати рівняння моделі ADL(p,q) з урахуванням прийняття в якості регресора вхідної координати x :

$$y[i] - (1 - \mu) \left(\sum_{j=1}^{p-1} (-1)^{j+1} \cdot p \cdot y[i - j] \right) - (1 - \mu) \cdot (-1)^{p+1} \cdot y[i - p] = \mu \sum_{j=0}^q \gamma_j x[i - j] + \mu \varepsilon[i]. \quad (23)$$

З урахуванням адаптивних властивостей моделі (13), які забезпечуються нейромережним настроюванням вагових коефіцієнтів $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$ (17) дискретні адаптивні структури моделей ADL (p,q), що характеризують адаптивні ARMA-процеси скорочено будемо називати ARMABIS (AutoRegressive with Moving Average Brain-inspired Systems).

Відповідно до зазначеного вище, характеристичне рівняння ARMABIS-структури (23) має вид:

$$y[i] - (1 - \mu) \left(\sum_{j=1}^{p-1} (-1)^{j+1} \cdot p \cdot y[i - j] \right) - (1 - \mu) \cdot (-1)^{p+1} \cdot y[i - p] = 0. \quad (24)$$

Загальне рішення неоднорідного різницевого рівняння (23) представимо у вигляді суми перехідної та вимушеної складової. Перехідна складова визначається за загальною формулою

$$y(i) = C_1 \lambda_1^i + C_2 \lambda_2^i + \dots + C_n \lambda_n^i, \quad (25)$$

де $\lambda_v (v = 1, 2, \dots, n)$ - некрatні корені характеристичного рівняння (24), C_v - довільні постійні.

Відповідно до рівняння перехідної складової (25) умова загасання вільного руху системи (умова стійкості), яка описується різницевою рівнянням (23) має відомий [5] вид:

$$|\lambda_v| < 1 \quad (v = 1, 2, \dots, n). \quad (26)$$

Відповідно з вищевикладеним сформульована наукова новизна розглянутого метода параметричного синтезу ARMABIS-моделей: розроблена ARMABIS-модель зі структурою ADL(p,q) володіє адаптивними властивостями за рахунок настроювання вагових коефіцієнтів регресійного лагу (МА(p)-складова) на базі модифікованого градієнтного методу мінімізації квадратичного функціоналу, а умова стійкості системи забезпечується настроюванням вагових коефіцієнтів критеріального лагу (AR(q)-складова).

Необхідно відмітити, що специфікація ARMA-процесу (визначення лагової структури ARMABIS-моделей) (23) проводиться відповідно до розробленого методу оцінки величини найбільшого лагу [10], який ґрунтується на дослідженні кінцевих різниць перехідної функції об'єкту.

Експериментальне підтвердження умов стійкості ARMABIS-структур. Запишемо рівняння ARMABIS-моделі ADL(2,2) з урахуванням прийняття в якості регресору вхідної координати:

$$y[i] = b_0 x[i] + b_1 x[i - 1] + b_2 x[i - 2] - c_1 y[i - 1] - c_2 y[i - 2] + \mu \varepsilon[i], \quad (27)$$

де коефіцієнти різницевого рівняння визначені наступним чином: $c_0 = 1, c_1 = -2(1 - \mu), c_2 = (1 - \mu), b_0 = \mu \gamma_0, b_1 = \mu \gamma_1, b_2 = \mu \gamma_2$.

Характеристичне рівняння адаптивної моделі ADL(2,2) має вид:

$$\lambda^2 - 2(1 - \mu)\lambda - (\mu - 1) = 0. \quad (28)$$

В якості прикладу розглянемо характеристичне рівняння адаптивної моделі ADL(2,2) з коефіцієнтом регуляризації ARMABIS-структури $\mu = 0,8$ та коефіцієнтом швидкості настроювання вагових коефіцієнтів $\gamma, h = 0,05$. Корені характеристичного рівняння

$$\lambda^2 - 0,4\lambda + 0,2 = 0, \quad (29)$$

$$\lambda_{1,2} \approx 0,2 \pm j0,4 \quad (30)$$

задовольняють умові (26), відповідно система є стійкою. Перевіримо останній висновок на імітаційній моделі.

Модель адаптивного керування нестаціонарним об'єктом другого порядку на базі ARMABIS-структури ADL(2,2) (27) з еталонною моделлю наведено на рис. 1.

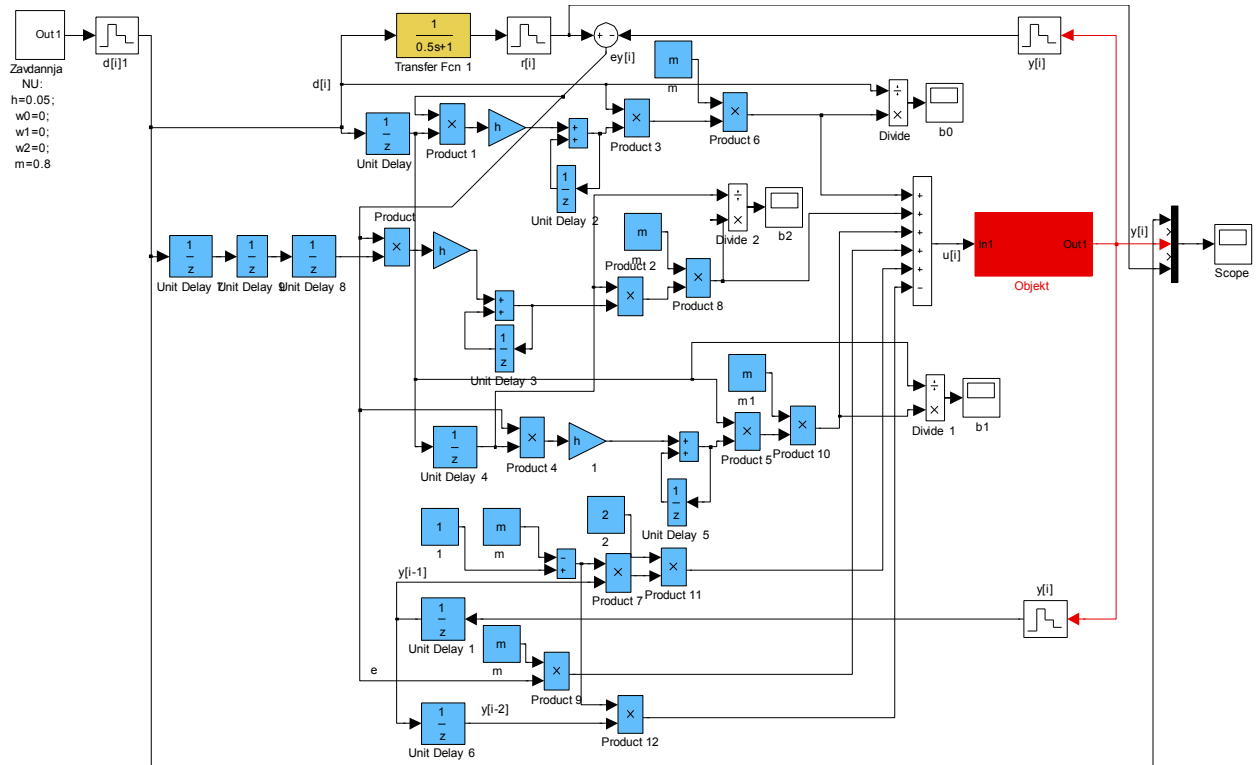


Рис.1 - Модель адаптивного керування нестаціонарним об'єктом другого порядку на базі ARMABIS-структури ADL(2,2)

Перехідний процес вихідної координати об'єкту керування наведено на рис.2.

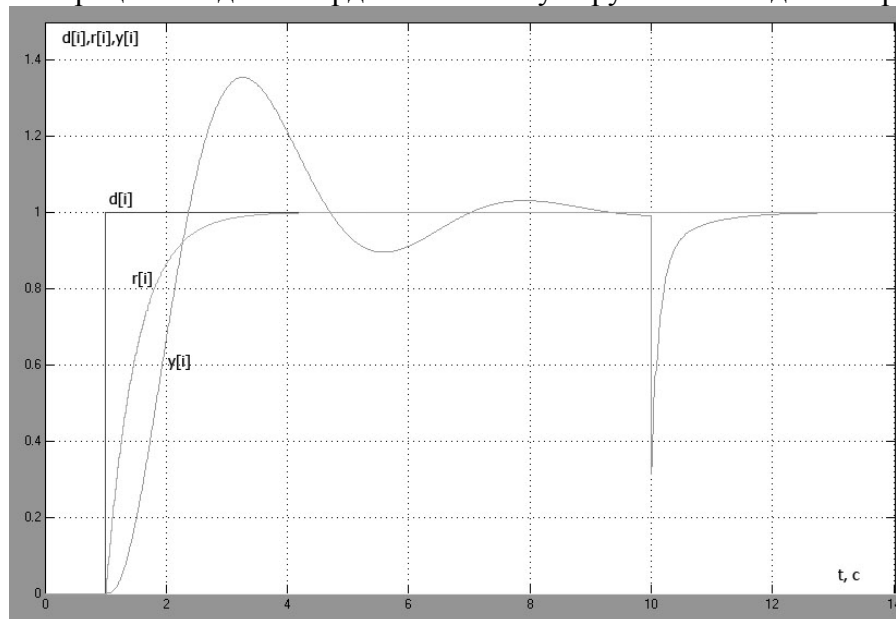


Рис.2 - Перехідний процес вихідної координати $y[i]$ об'єкту керування, сигнал завдання $d[i]$, перехідний процес еталонної моделі $r[i]$

Перевіримо роботу адаптивної САК з коефіцієнтом регуляризації ARMABIS-структури $\mu = 11,5$. Корені характеристичного рівняння $\lambda^2 + 21\lambda - 10,5 = 0$, $\lambda_1 \approx -21, \lambda_2 \approx 0,5$ не задовольняють умові (26), відповідно система є не стійкою.

Результати моделювання системи з коефіцієнтом регуляризації 11,5 наведено на рис.3.

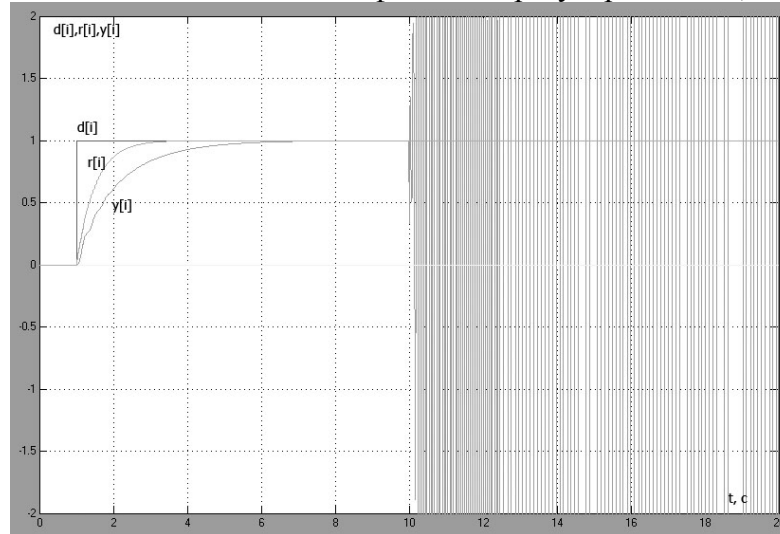


Рис.3. Перехідна характеристика системи з коефіцієнтом регуляризації 11,5

Результати експерименту підтверджують висвітленні теоретичні положення.

Висновок: розроблена ARMABIS-модель зі структурою ADL(p,q) володіє адаптивними властивостями за рахунок настроювання вагових коефіцієнтів регресійного лагу (MA(p)-складова) на базі модифікованого градієнтного методу мінімізації квадратичного функціоналу, а умова стійкості системи забезпечується настроюванням вагових коефіцієнтів критеріального лагу (AR(q)-складова). Дана модель може бути використана в якості емулятора прямої та зворотної динаміки нелінійних нестационарних об'єктів керування. Висновки підтверджуються наведеними результатами імітаційного моделювання.

Подальша робота у даному напрямку орієнтована на дослідження спектральних характеристик ARMABIS-структур.

Література.

1. Галушкин А.И. Основы нейроуправления // Приложение к журналу Информационные технологии. 2002. № 10.
2. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. Смоленск: Смоленская городская типография, 2003.
3. Щекин В.П. Структурный і параметричний синтез адаптивних ARMA-моделей динамічних систем / В.П.Щекин // Вісник ХНТУ.-2009.-№1(34).-С.389-398.
4. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем / Цыпкин Я.З. -М.: Главная редакция физико-математической литературы узд-ва «Наука», 1977. – 560с.
5. Хитрик М.С. Динамика управления ракет с бортовыми цифровыми вычислительными машинами / М.С. Хитрик, С.М. Федоров. –М.: Машиностроение, 1976. – 370с.
6. Муттер В.М. Аналого-цифровые следящие системы / Муттер В.М. –Л.: Энергия, 1974.- 470с.
7. Анохин В.В. Параметрическое моделирование дискретных стохастических процессов по известным входным и выходным сигналам / В.В. Анохин // Математика в приложениях. – 2004.-№3-4.-С.142-145.
8. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин // – М.: ИПРЖР, 2002.-Кн.8. -650с.

9. Омату С. Нейроуправління і його застосування / С. Омату, М.Халид, Р.Юсоф. // – М.: ІПРЖР, 2000.- Кн.2. – 460с.

10. Щокін В.П. Оцінка ретроспективної глибини вектору стану нейромережових і fuzzy емуляторів багатомірних (nD) систем / В.П.Щокін // Електроінформ. -2009. - №2.-С.19-23.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ИДЕНТИФИЦИРОВАННОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИЕЙ

Чермалых В.М., д.т.н., проф., Майданский И.Я., инженер,

Босак А.В., инженер

Национальный технический университет «КПИ», г. Киев

Розглянуте питання параметричної оптимізації системи управління електроприводом з пружними ланками з використанням ідентифікованої передавальної функції об'єкта на основі Z-перетворювань та схеми в змінних простору.

Ключові слова: параметрична оптимізація, ідентифікована передавальна функція.

The question considered concerns the electric drive control system parametrical optimization with soft links using transfer function based on z-transformations and state variable scheme.

Key words: parametrical optimization, transfer function.

Введение. Работа направлена на решение проблемы создания энергосберегающей и оптимальной по переходному процессу системы позиционного управления с идентифицированной передаточной функцией.

Анализ предыдущих исследований. Принцип построения системы оптимального управления со специальными логическим устройством, формирующим ступенчато изменяющийся движущий момент, показан в работе [1], а моделирование электромеханической системы с упругими связями и управляющим устройством на основе нечеткой логики изложено в работе [2].

В этих работах предполагается известным математическое описание объекта управления.

В данной статье, с учетом выполненных исследований в указанных выше работах, предложен новый подход к формированию заданного режима функционирования электромеханической системы в режиме позиционирования с использованием параметрической оптимизации управления с идентифицированной передаточной функцией.

Цель работы. Обеспечение оптимального по быстродействию и ошибки позиционирования режима управления электромеханическими системами.

Материалы и результаты исследования. Значительная часть современных ЭМС имеют сложную структуру, обусловленную наличием механической трансмиссии с упругими звеньями, полупроводниковых преобразователей мощности, частотно-регулируемых двигателей переменного тока. Математическое описание таких систем практически невозможно без пренебрежения рядом зависимостей, играющих важную роль в динамическом процессе и построении системы управления. Поэтому обеспечить оптимальное изменение с достаточной точностью управляемых переменных (скорости или положения рабочего органа) представляет определенные трудности.

К наиболее важным критериям оптимизации ЭМС относятся: максимальное быстродействие, минимальные потери энергии, минимальные динамические нагрузки. При определенных управляющих воздействиях и параметрах регуляторов, возможно, реализовать режим, практически удовлетворяющий всем трем критериям. Так, если при незначительном увеличении времени переходного процесса, используя ступенчатое изменение движущего момента, исключить колебания динамических нагрузок, то будут обеспечены минимальные потери энергии.

Для позиционных ЭМС важным является точная остановка рабочего органа в заданном положении.

Для реализации оптимального управления ЭМС должны быть решены следующие задачи: определение математической модели объекта управления с выходными измеряемыми координатами; построение управляющего устройства, формирующего задающие воздействия, и выбор регулятора обеспечивающего оптимальное функционирование ЭМС. Поскольку рабочий динамический режим определяется реальной передаточной характеристикой управляемой координаты, то для ее определения целесообразно подать ступенчатый управляющий сигнал на преобразователь мощности и определить дискретную переходную характеристику управляемой переменной (например, частоты рабочего органа). По виду экспериментальной характеристики определяется соответствующая математическая модель, используя метод Z-преобразования непрерывных сигналов в дискретные.

Силовая часть большинства регулируемых электроприводов с тиристорными преобразователями мощности может быть аппроксимирована переходной характеристикой третьего порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{b_0}{p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3} \quad (1)$$

Коэффициенты a_1, a_2, a_3, b_0 определяются по дискретным значениям ординат экспериментальной переходной характеристики. Поэтому непрерывная передаточная функция (1) должна быть представлена в дискретном виде [3] используя соотношения

$$p^{-1} \Rightarrow \frac{T}{Z-1}; \quad p^{-2} \Rightarrow \frac{T^2(Z+1)}{2(Z-1)^2}; \quad p^{-3} \Rightarrow \frac{T^3 Z(Z+1)}{2(Z-1)^3}$$

Таким образом, получается следующая зависимость:

$$\frac{b_0}{p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3} \Rightarrow \frac{B(Z^{-1} + Z^{-2})}{1 + A_1 Z^{-1} + A_2 Z^{-2} + A_3 Z^{-3}} \quad (2)$$

где

$$\begin{cases} A_1 = \frac{2a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 - 6}{2}; \\ A_2 = \frac{a_3 T^3 - 4a_1 T + 6}{2}; \\ A_3 = \frac{2a_1 T - a_2 T^2 - 2}{2}; \end{cases} \quad (3)$$

$$B = b_0 T^3 / 2; \quad (4)$$

Z^{-1} - запаздывание на период дискретности T .

Схема в переменных состояния приведена на рис.1.

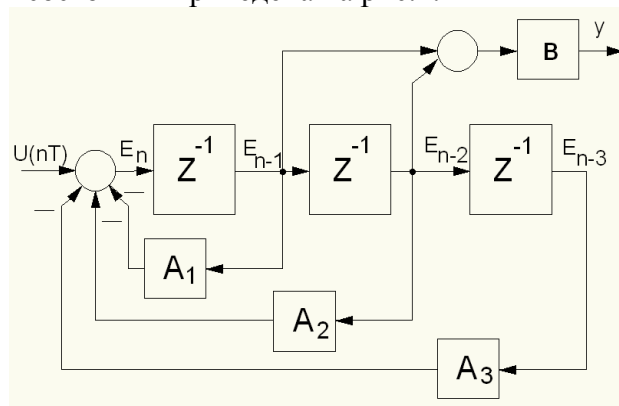


Рисунок 1- Схема в переменных состояния системы третьего порядка

Коэффициенты A_1, A_2, A_3 определяются по дискретным значениям реальной переходной характеристики [4].

Из зависимостей (3) находятся значения коэффициентов a_1, a_2, a_3 соответствующих непрерывной передаточной функции (1):

$$\begin{cases} a_1 = \frac{A_1 - A_2 + A_3 + 7}{T^2}; \\ a_2 = \frac{a_1 T - 2A_3 - 2}{T^2}; \\ a_3 = \frac{2A_2 + 4A_1 T - 6}{T^3}. \end{cases} \quad (5)$$

В качестве экспериментальной характеристики примем переходную характеристику, полученную по структурной схеме разомкнутой по скорости рабочего механизма ω_2 системы управления, приведенной на рис. 2, при следующих значениях параметров: $K_{ТП} = 20$; $T_\mu = 0,01$; $1/R_\gamma = 20$; $T_\gamma = 0,15$; $C_d = 2,63$; $J_1 = 23$; $J_2 = 46$; $C_\gamma = 200$; $C_{дф} = 20$; $K_C = 0,127$; $K_T = 0,023$; $U_{3C} = 10$.

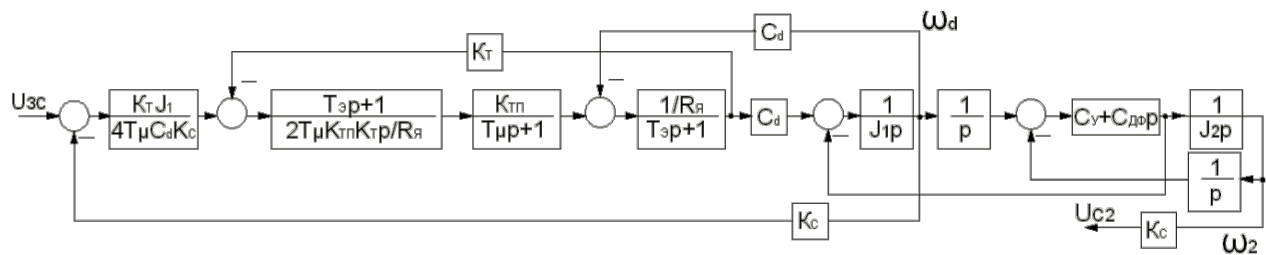


Рисунок 2- Схема разомкнутой системы ТП-Д

График переходного процесса $U_{C2}(t)$ при входном воздействии $U_{3C} = 10$ приведен на рисунке 3 (график 1)

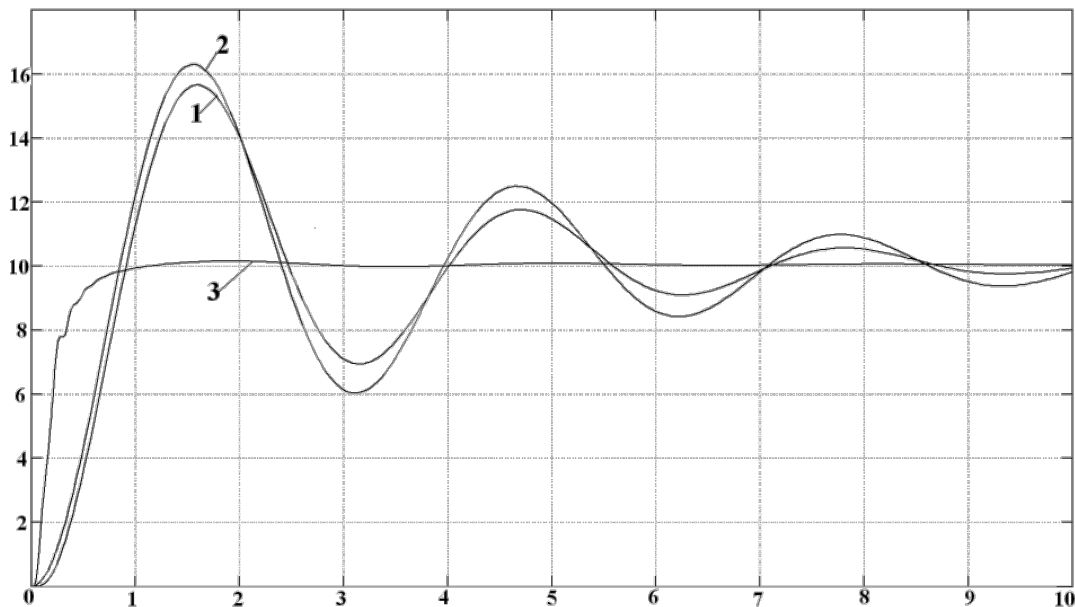


Рисунок 3- График переходного процесса: 1- экспериментальная характеристика; 2- аппроксимирующая характеристика; 3- переходная характеристика системы с ПИД-регулятором

Аппроксимирующая характеристика определяется по координатам начала установившегося переходного процесса. В данном случае рассмотрен участок в окрестностях точки $t = 2,0$, которому при шаге интегрирования $T = 0,01$ соответствуют ординаты: $y_{n-3} = 13,40571$; $y_{n-2} = 13,32476$; $y_{n-1} = 13,24303$; $y_n = 13,16055$; $y_{n+1} = 13,07736$; $y_{n+2} = 12,99351$; $y_{n+3} = 12,90903$.

По данным координатам согласно схеме рис.1 составляется система уравнений, в результате которой определяются параметры A_1, A_2, A_3 , по которым на основании зависимостей (5) находятся значения коэффициентов a_1, a_2, a_3 непрерывной передаточной функции.

Так как в большинстве случаев экспериментальная переходная характеристика системы третьего порядка по виду соответствует второму порядку (например, график 1 рис.3), то можно

идентифицированную передаточную функцию определить в таком виде:

$$W(p) = \frac{k_0}{a_0 p^2 + a_1 p + 1} = \frac{U_{c2}(p)}{U_{zc}(p)}; \quad (6)$$

Тогда коэффициенты a_0 и a_1 , определенные по дискретной модели, аналогичной модели приведенной на рис.1, будут равны: $a_0 = 0,2398$; $a_1 = 0,1427$; $k_0 = 1$. Идентифицированная переходная характеристика разомкнутой системы при ступенчатом входном воздействии $U_{zc} = 10$ показана на рис.3 (график 2).

По идентифицированной передаточной функции $\frac{U_{c2}(p)}{U_{zc}(p)}$ выбирают параметры ПИД-регулятора (рис.4).

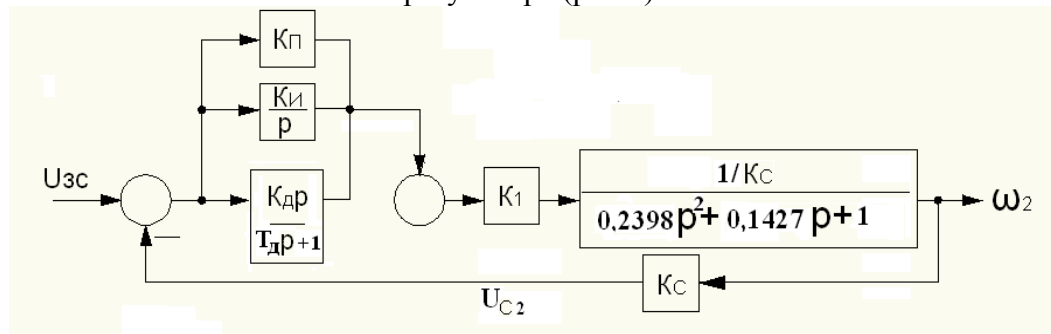


Рисунок 4- Структурная схема системы с ПИД-регулятором

Для возможности синтеза оптимальных параметров ПИД-регулятора методом параметрической оптимизации в схему введен пропорциональный усилитель K_1 . Коэффициент K_1 определяется в результате приведения реального характеристического полинома замкнутой системы к стандартному, соответствующему модели Баттерворта.

Компенсируем характеристический полином $\Pi(p) = 0,2398p^2 + 0,1427p + 1$ числителем передаточной функции регулятора

$$W_p(p) = \frac{(K_p T_d + K_d)p^2 + (K_i T_d + K_p)p + K_i}{p(T_d p + 1)}$$

из полученных равенств

$$\begin{cases} K_i = 1; \\ K_p T_d + K_d = 0,2398; \\ K_i T_d + K_p = 0,1427 \end{cases}$$

находим коэффициенты регулятора при : $T_d = 0,05c$; $K_p = 0,0927$; $K_d = 0,2351$.

Тогда передаточная функция замкнутой системы будет иметь вид:

$$W_3(p) = \frac{U_{c2}(p)}{U_{zc}(p)} = \frac{K_1}{T_d p^2 + p + K_1} = \frac{K_1 \setminus T_d}{p^2 + \frac{1}{T_d} p + \frac{K_1}{T_d}} \quad (7)$$

и согласно модели Баттерворта должно быть соблюдено равенство

$$p^2 + \frac{1}{T_d} p + \frac{K_1}{T_d} = p^2 + \sqrt{2}q_0 p + q_0^2$$

откуда

$$q_0 = \frac{1}{\sqrt{2}T_d} = 14,18; \quad K_1 = T_d q_0^2 = 10,05$$

В соответствии с (7) при единичном ступенчатом входном сигнале ($U_{3c} = 1$)

$$U_{c2}(t) = 1 - e^{-ct}(\cos ct + \sin ct) \quad (8)$$

$$\text{где } c = \frac{\sqrt{2}}{2} q_0 = \frac{1}{2T_d} = 10.$$

Для определения величины перерегулирования приравняем к нулю производную $\frac{\partial U_{c2}}{\partial t}$:

$$\frac{\partial U_{c2}}{\partial t} = 2e^{-ct} \sin ct = 0 \text{ при } t = t_1 = \frac{\pi}{c}.$$

Определенное по уравнению (8) при $e^{-\pi} = 0,043$ максимальное значение U_{c2} будет равно $U_{c2m} = 1 + e^{-\pi} = 1,043$, то есть перерегулирование составит 4,3%, а время нарастания выходного сигнала до установившегося значения $t_1 \approx 0,3$.

Структурная схема замкнутой системы рис.2 с ПИД-регулятором приведена на рис.5, а график переходного процесса представлен на рис.3 (график3).

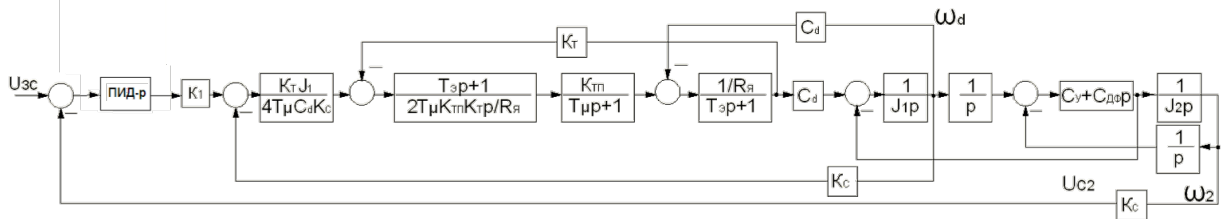


Рисунок 5 – Структурная схема замкнутой системы с ПИД-регулятором

Выводы. Анализ результатов показывает, что построение системы управления согласно параметрической оптимизации по идентифицированной переходной функции полностью соответствует стандартной переходной характеристике модели Баттерворта как по перерегулированию, так и по времени переходного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Чермалых В.М., Чермалых Т.В., Яценко О.Я. Оптимизация по динамическим нагрузкам электромеханических систем с задающей моделью // Сб. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: - 1996. – С. 79-80.
2. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Данилин А.В. Фаззи-управление сложными электромеханическими системами с задающей моделью // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический вып. 10. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – С. 418-420.
3. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. - М.: Машиностроение, 1086.-448 с.
4. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданский И.Я. Идентификация параметров на основе Z-преобразования и оптимизации управления электромеханическими комплексами с упругими звеньями // «Промэлектрон» - Киев, ТОВ «ДІА». - 2007. - №5. - С.6 - 11.

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ БУРОШНЕКОВИМ КОМПЛЕКСОМ

*Закладний О. М. к.т.н., доц., Прядко С. Л. ст. викл., Смоляр В.Г. асист,
Оборонов Т.Ю студент, каф. АУЕК*

Україна має в своєму розпорядженні величезні запаси вугілля. Поклади до глибини 1500 м оцінюються в 117,3 млрд. т, проте 70-80 % запасів вугілля знаходиться в тонких (до 1,2 м) і дуже тонких (менше 0,8 м) пластах. Проблема виїмки тонких і дуже тонких пластів до теперішнього часу залишається невирішеною [1]. Не дивлячись на бурхливий науково-технічний прогрес в гірничій справі і підземній розробці родовищ корисних копалин, саме підземний спосіб видобутку вугілля і на сьогодні лишається надзвичайно складним і трудомістким. На даний час його основний обсяг забезпечується комбайновими і струговими комплексами з механізованими кріпленнями. Найбільш небезпечні серед технологічних процесів створення гірничих виробок і видобуток вугілля й руд в очисних забоях. Вони повинні бути максимально автоматизовані в першу чергу, а кількість робітників повинна бути зведена до мінімуму або виключена взагалі. Однією з найбільш перспективних безлюдних технологій відпрацювання вугільних пластів є бурошнекова виїмка. Бурошнекові комплекси (БШК) широко застосовувалися в США, і останні моделі мали високий рівень технічної досконалості, що забезпечує непогані техніко-економічні показники роботи забоїв, перш за все — щодо продуктивності праці. Сучасні російські й українські розробки щодо видобутку вугілля з тонких пластів (бурошнековий комплекс безлюдної виїмки (КБВ) «Вектор», бурошнековий комплекс БШК-2ДМ) [2,3,4] забезпечують виїмку вугілля на великих глибинах практично без участі людини. БШК в 2-3 рази знижує собівартість видобутку, гарантує розробку некондиційних пластів потужністю 50-90 см, що знаходяться у відпрацьованій зоні з готовою виробничою інфраструктурою. Рентабельна робота вуглевидобувних підприємств передбачає низьку собівартість продукції не лише за рахунок великих обсягів видобутку, але і за порівняно невеликих її масштабів - на малих шахтах з нечисленим штатом працівників, з високою продуктивністю праці. Для таких умов БШК підходять найбільшою мірою, оскільки їх використання передбачає:

- мінімальну чисельність робітників, зайнятих на видобутку (3-4 чол./змін);
- значно меншу, порівняно із традиційними технологіями, вартість устаткування видобутку (в 5-8 разів);
- різке здешевлення процесу видобутку (в 2-3 рази) за рахунок зменшення споживання матеріалів (вибухові речовини, емульсія, запасні частини і т. ін.);
- підвищення рівня безпеки і поліпшення умов праці робітників.

Використання БШК також вирішує в принципі завдання залишення у відпрацьованому просторі породи від проходки підготовчих виробок. Проте застосування БШК на антрацитних пластах стримується неможливістю продуктивного спрямованого вибурювання таких пластів свердловинами великої довжини, обумовлене передусім високою міцністю вугілля і орієнтацією робочого органу БШК в площині вугільного пласта.

Інтенсивні роботи в галузі гірничошахтного обладнання і автоматизації в рамках програм «Розумна шахта» (Intelligent Mine – ІМ) дало можливість створити і впровадити нову концепцію застосування сучасних автоматизованих технологій для підвищення продуктивності гірничого видобутку і безпеки роботи шахт, кар'єрів і копалень. Однією із складових таких технологій є система дистанційного моніторингу і управління (СДМУ). СДМУ повинна забезпечувати:

- негайне отримання в єдиному диспетчерському пункті мережі (ДПС) сигналів тривоги при виникненні аварійних ситуацій на об'єкті;
- отримання на мнемосхемі (комп'ютер ДПС) в режимі реального часу повної інформації про технологічний процес і стан устаткування об'єкту;
- надання в графічному вигляді й відображення в зручній для сприйняття формі стану контрольованих об'єктів, а також прийнятої й збереженої інформації;
- можливість оперативного втручання з ДПС у роботу устаткування об'єкту при виникненні нештатних ситуацій;
- контроль проходження команд управління і генерацію сигналів тривоги у випадку їх невиконання;
- можливість аналізу роботи окремих об'єктів або групи об'єктів за будь-якими технологічними параметрами за довільний проміжок часу;
- можливість дистанційного налагодження і діагностування технологічних контролерів об'єктів;

Специфіка створення СДМУ визначається різноманітністю конструктивних і технологічних особливостей об'єктів, вживаних на них локальних систем управління і контролю. Ця різноманітність починається від обслуговуваних об'єктів, оснащених вимірювальними приладами для візуального контролю і простою пускорегулюючою апаратурою і закінчується автоматизованими об'єктами, обладнаними сучасними контролерами з системами датчиків і регулюючої апаратури, включаючи частотні приводи. Апаратура СДМУ, що встановлюється безпосередньо на об'єктах, повинна володіти можливістю гнучкої конфігурації залежно від технічних особливостей об'єкту. Основою такої апаратури зазвичай є технологічні контролери (ТК). Кожен ТК повинен мати можливість підімкнення:

- аналогових датчиків для контролю температури, тиску, рівня, положення виконавчих механізмів і т.ін.;
- дискретних датчиків охоронної і пожежної сигналізації, спрацьовування виконавчих механізмів і т.ін.;
- засобів вимірювальної техніки, що мають стандартний інтерфейс і відкриті протоколи зв'язку;
- контролерів локальних систем автоматики, що мають стандартний інтерфейс і відкриті протоколи зв'язку;

Також актуальним завданням для фахівців гірничої справи слід визнати розробку ефективних засобів, що постійно автоматично фіксують перебування кожної людини в системі гірничих виробок, у тому числі підготовчих, очисних або протяжних із записом у пам'яті цих даних за певний часовий відрізок. Також необхідно передбачити, щоб персонал, який залишився, не зміг негативно впливати на засоби автоматики. І, якщо навіть виникали б такі спроби, то про це повинно бути відомо не лише самій системі автоматичного контролю і АСОВІ, але й диспетчерові шахти або іншим відповідальним особам шахтного нагляду за безпекою.

Посилання:

1. Ширнин И.Г., Палкин В.А., Дубницкий В.И. Состояние угольной и сланцевой отраслей ЕС и Украины// Уголь Украины.- 2007. - № 8 .- С. 8-10.
2. Курченко Э.П., Манжула И.Т., Сушко И.Л. Технология и средства механизации для эффективной и безопасной выемки весьма тонких и тонких пластов// Технология очистных работ на угольных шахтах: Сб. науч. тр. ДоНУГИ. - Донецк. - С. 88-101
3. Ходырев Е.Д., Филатов В.Ф., Анциферов В.А. Механизированная выемка тонких пластов (УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина// Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 2, 2008
4. Комплекс Безлюдной выемки КБВ «Вектор». Руководство по эксплуатации. КБВ.00.00.000 РЭ. г. Шахты, 2003.- 65 с.

ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ НАСОСНИХ УСТАНОВОК ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Закладний О.М., к.т.н., Стригун В.О., Оборонов Т.Ю., студент,
Нікітін Р.С., студент, каф. АУЕК*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Кафедра АУЕК, НТУУ «КПІ», вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна

Асинхронні двигуни, як правило, розраховані на термін служби 15 – 20 років без капітального ремонту, за умови правильної їх експлуатації. Під правильною експлуатацією АД розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, зазначених в паспортних даних електродвигуна. Однак у реальному житті має місце значне відхилення від номінальних режимів експлуатації. Це, передусім, низька якість напруги живлення й порушення правил технічної експлуатації: технологічні перевантаження, умови навколишнього середовища (підвищені вологість, температура), зниження опору ізоляції, порушення охолодження.

Наслідком таких відхилень є аварійні режими роботи АД. У результаті аварій щорічно виходять із ладу до 10% застосовуваних електродвигунів. Наприклад, 60% свердловинних електронасосних агрегатів виходять з ладу частіше одного разу на рік. Вихід з ладу АД призводить до важких аварій і значних матеріальних збитків через простой обладнання, затрати на усунення наслідків аварій і ремонт електродвигуна, що вийшов з ладу. Ремонт електричної машини потужністю до 1 кВт обходиться в 250...300 грн. Щоб оцінити вартість ремонту потужнішої машини, треба помножити цю цифру на потужність двигуна. Крім цього, робота на аварійних режимах призводить до підвищеного енергоспоживання та збільшення споживаної реактивної потужності [1].

Залежно від характеру зміни навантаження, розрізняють чотири основних номінальних режими роботи АД: тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний і змішаний. Основною характеристикою навантажувальних режимів є теплова характеристика електродвигуна. Робота АД завжди супроводжується його нагріванням, що зумовлено процесами, які відбуваються в ньому, і втратами енергії. Нормативний термін служби електродвигуна визначається, в остаточному підсумку, припустимою температурою нагрівання його ізоляції.

У сучасних двигунах застосовується кілька класів ізоляції, припустима температура нагрівання яких становить для класу А – 105 °С, Е – 120 °С, В – 130 °С, Р – 155 °С, Н – 180 °С, С – понад 180 °С. Перевищення припустимої температури призводить до передчасного руйнування ізоляції й істотного скороченню терміну роботи двигуна [3].

Аварії АД поділяються на два основних типи механічні й електричні. Механічні аварії – це деформація або поломка вала ротора, ослаблення кріплення осердя статора до станини, ослаблення обпресування осердя ротора, пошкодження бабіту в підшипниках ковзання, руйнування сепаратора, кільця або кульки в підшипниках кочення, поломка крильчатки, відкладення пилу й бруду в рухомих елементах тощо.

Електричні аварії АД, своєю чергою, поділяються на три типи:

- мережеві аварії (аварії за напругою), пов'язані з аваріями в електромережі;
- струмові аварії, пов'язані з обривом провідників в обмотках статора, ротора або кабелю, витковим й фазним замиканням обмоток, порушенням контактів і руйнуванням з'єднань, виконаних пайкою або зварюванням, аварії, що призводять до пробію ізоляції в результаті нагрівання, викликаного протіканням струмів перевантаження або короткого замикання;

- аварії, пов'язані зі зниженням опору ізоляції внаслідок її старіння, руйнування або зволоження[3].

Система прискореного випробування, діагностування та контролю двигунів у вигляді випробувального стенду на базі адаптивного керування з фаззі-контролерами є новим електротехнічним обладнанням, яке визначає параметри електричних машин без з'єднання їх з навантажувальними пристроями та проводить випробування при зниженій напрузі живлення. Система дозволяє визначити в повному обсязі параметри, характеристики та технологічні показники електродвигунів.

Цикл випробувань складається з послідовної роботи електродвигуна у трьох динамічних режимах – короткого замикання, холостого ходу та вільного вибігу. Випробування проводяться при зниженій напрузі, а тривалість їх складає не більше 10с. Під час випробувань знімаються значення струму двигуна, частоти обертання та вимірюється тривалість режимів короткого замикання, холостого ходу і вільного вибігу.

Пристрій визначає номінальні параметри двигуна (потужність, частоту обертання, струм і електромагнітний момент) та внутрішні параметри (активний і індуктивний опори двигуна, електромагнітну та електромеханічну сталі часу), а також швидкість ідеального холостого ходу та момент інерції [2].

Методика визначення параметрів двигуна за результатами режиму короткого замикання полягає в наступному:

1. осцилографують процес короткого замикання $i(t)$ при зниженій напрузі;
2. визначають стале значення струму $i_{кз}=I_H$;
3. знаходять $T_{я}$ при $0,632i_{кз}$;
4. розраховують $R_{я} = U_x / i_{кз}$;
5. визначають $L_{я} = T_{я} R_{я}$;
6. визначають тривалість перехідного процесу $t_{пп}$ і перевіряють величину $T_{я}$.

Методика визначення параметрів двигуна за результатами режиму холостого ходу полягає в наступному:

1. осцилографують процес холостого ходу, тобто зміну струму й швидкості в часі при зниженій напрузі;
2. визначають сталі значення швидкості ω_{0x} й I_{xx} (струм холостого ходу);
3. розраховують конструктивну сталу двигуна $C_d = U_x / \omega_{0x}$;
4. перераховують значення отриманих параметрів на природну характеристику.

Визначають величину ω_H .

$$\omega_H = \frac{U_H}{C_d} - \frac{I_H R_{я}}{C_d} = \omega_0 - \frac{I_H R_{я}}{C_d} ; \quad (18)$$

5. визначають тривалість перехідного процесу й знаходять величину T_1 .

Методика визначення параметрів двигуна за результатами режиму вільного вибігу полягає в наступному:

1. осцилографують процес вільного вибігу $\omega(t)$ при зниженій напрузі;
2. визначають тривалість перехідного процесу;
3. розраховують момент інерції J , електромеханічну сталу двигуна T_m , сталі T_1 і T_2 , максимальне значення струму I_{max} і час t_{max} .

Висновок

Розроблена методика прискореного діагностування, яка дозволяє встановити параметри електродвигуна без сполучення його з навантажувальними пристроями, що значно знижує трудомісткість випробувань і скорочує час їх проведення.

Цикл випробувань складається з послідовної роботи електродвигуна у трьох динамічних режимах – короткого замикання, холостого ходу та вільного вибігу. Під час випробувань вимірюються значення струму статора (якоря), частоти обертання й тривалість режимів короткого замикання, холостого ходу й вільного вибігу.

Література

1. Луговой А.В., Родькін Д.Й. Випробувальний комплекс для діагностики електричних машин // ЕЛЕКТРОінформ. – 2001. – №1. – С.14-16.
2. Закладний О.М., Алтухов Є.І., Прядко С.Л., Смоляр В.Г. Пристрій для прискореного випробування колекторних машин // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, - 2000. Вип. 3. – С. 37-41.
3. Черный А.П., Луговой А.В., Максимов М.Н., Родькин Д.И., Сисюк Г.Ю. Эксплуатационная надежность электрических двигателей переменного тока и пути ее повышения // Проблемы створення нових машин і технологій: Наук. праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2000. – Вип. 1(8). – С.150-156.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОБОЙКОВОГО ГІДРОМОЛОТКА З ФАЗОЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ

Лістовицик Л.К., ст.вик.

Вступ

В процесі видобування корисних копалин та виконання підготовчих робіт, що пов'язані з руйнуванням гірських порід, на практиці широко використовується ударне руйнування. Механічний удар забезпечує високу концентрацію навантаження на локальній ділянці вибою і по енергоємності руйнування ($17-25 \text{ Дж/см}^3$) поступається лише вибухові (6 Дж/см^3) [3].

В наш час є приклади успішного використання різноманітних видів гідроімпульсної техніки, що дозволила збільшити продуктивність окремих технологічних операцій на $50...150\%$ [3]. Застосування гідравлічних ударних механізмів в якості виконавчих органів різних гірничих, дорожніх, будівельних і інших машин показує, що вони дозволяють значно підвищити ККД, знизити експлуатаційні витрати, зменшити шум, який генерується в процесі роботи. Тому проблема створення і удосконалення ручної машини ударної дії з об'ємним гідравлічним приводом актуальна і своєчасна.

Постановка задачі

Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації ручного гідравлічного відбійного молотка шляхом введення в його гідроударну систему другого інерційного ударного бойка та експериментальне дослідження двобойкової системи.

Передумови створення двобойкової гідроударної системи

Ударні системи можуть мати різноманітні конструкції і складатись з різної кількості елементів. Від цього залежить характер і форма хвиль деформації, що генеруються такими системами. Вперше генерація двох послідовних хвиль деформації була описана в роботах Є.В. Александрова [1, 2], та О.Д. Алімова [4]. В цих роботах розглянута ударна система, що складається із полого бойка, і хвильовода, що проходить через внутрішню порожнину бойка. Удар бойком відбувається по буртику хвильовода, який розташований на деякій відстані від його вільного торця, а ударна поверхня бойка також не співпадає з його зовнішніми торцями. Такий удар автори назвали "неторцевим".

Типова схема неторцевого удару показана на рис. 1, а.

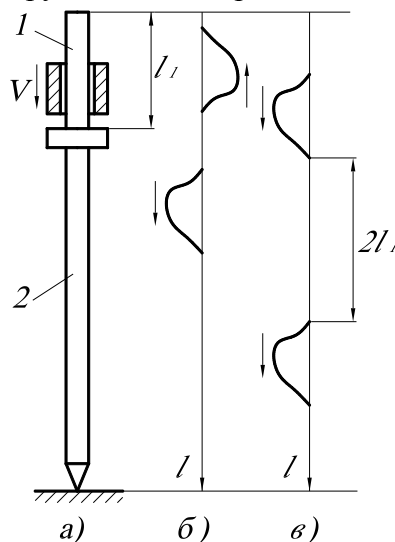


Рис. 1. Послідовні хвилі деформації, що генеруються при неторцевому ударі.

При ударі бойка по буртику, який розташований на деякій відстані l від верхнього торця хвильовода, на його ділянці 1 виникає хвиля розтягнення, яка розповсюджується вгору по хвильоводу, а на ділянці 2 – хвиля стиснення, яка розповсюджується вниз (рис. 1, б). Таким чином, після удару по хвильоводу в бік вибою рухаються дві хвилі стиснення (рис. 1, в): хвиля, сформована на ділянці хвильовода 2, і хвиля, відбита від верхнього торця ділянки 1.

Розвиток теорії неторцевого удару, а також експериментальне її підтвердження наведені в роботах [4, 5, 6, 8]. Так, наприклад, для двох послідовних хвиль деформації загальною тривалістю 90 мкс, і максимальним зусиллям першої хвилі 15 кН, а другої хвилі 24 кН, енергія першої хвилі стиснення складає 1,78 Нм, а другої – 1,93 Нм. Під дією першої хвилі деформації інструмент заглиблюється в масив на 0,148 мм, при цьому в породу передається 1,1 Нм енергії. Коефіцієнт передачі енергії хвилі в породу складає 0,618. Під дією другої хвилі інструмент заглиблюється ще на 0,085 мм. Енергія, що передалась в породу під дією другої хвилі деформації, дорівнює 1,62 Нм, а коефіцієнт передачі енергії в породу – 0,840 [4].

Із приведених результатів видно, що енергія другої хвилі використовується більш ефективно. Це пояснюється наступним. При підході до вибою першої хвилі стиснення, опір заглибленню інструмента малий, тому під її дією відбувається інтенсивне заглиблення, яке викликає появу в хвильоводі хвилі розтягнення великої амплітуди. Ця хвиля розповсюджується в бік від вибою, забираючи з собою частину енергії. При підході до вибою другої хвилі стиснення, опір заглибленню інструмента вже має деяку величину, при цьому хвиля, що відбита від вибою має меншу амплітуду, а відповідно меншу енергію, чим хвиля, що відбита при першому заглибленні. В результаті чого коефіцієнт передачі енергії другої хвилі в породу більший, ніж першої.

В ручних машинах ударної дії, враховуючи жорсткі обмеження по масогабаритних показниках, згенерувати дві послідовні хвилі деформації за допомогою неторцевого удару конструктивно складно. Для цього можна використати двобойковий ударний механізм, бойки якого послідовно наносять удари по інструменту.

Експериментальні дослідження

Дослідження гідромолотка з двобойковою ударною системою проводилось на стенді, описаного в [7]. В гідрударній системі замість одного бойка (рис. 2. а) був встановлений двобойковий ударний механізм (рис. 2. б).

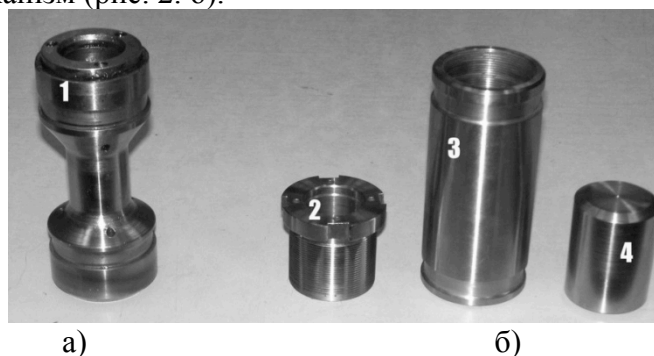


Рис. 2. Одинарний а) та подвійний б) бойки:

1 – один боек; 2 – кришка двобойкової системи; 3 – зовнішній боек двобойкової системи; 4 – внутрішній боек двобойкової системи.

В зовнішній боек 3 вкладається внутрішній 4 і закривається кришкою 2, в верхній частині якої є отвір для кріплення механізму до поршня.

На рис. 3 представлені криві зміни тиску в робочій камері гідромолотка при використанні одnobойкової та двобойкових ударних систем.

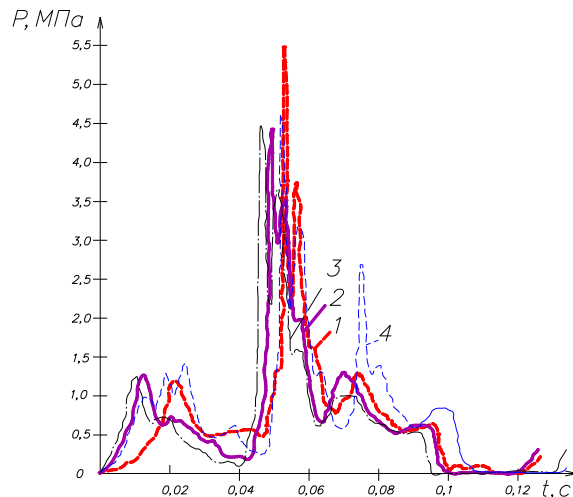


Рис. 3. Криві зміни тиску в робочій камері при використанні одного бойка (крива 1) та використанні двобойкової системи (зазор між бойками – 5 мм, крива 2), (зазор між бойками – 7,5 мм, крива 3), (зазор між бойками – 30 мм, крива 4).

Як видно з рисунка 3, використання двобойкової ударної системи змінює характер тиску в робочій камері. Причому, при використанні ударних систем з зазором між бойками 7,5 і 30 мм спостерігається різке підвищення тиску вже в процесі робочого ходу. Це можна пояснити тим, що через великий зазор між бойками, внутрішній бійок стикається з зовнішнім вже коли останній почав робочий хід. Таким чином в цих випадках внутрішній бійок перешкоджає розгону зовнішнього, знижуючи швидкість робочого ходу, і як наслідок – збільшується період удару (криві 3 і 4, рис. 3).

Результати обробки кривих наведені на рис. 4 – 6. Де, ряд 1 – двобойкова ударна система із зазором між бойками 5 мм, ряд 2 – двобойкова ударна система, зазор між бойками 5 мм, з використанням мережевого акумулятора, об'ємом $0,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, ряд 3 – двобойкова ударна система, зазор між бойками 5 мм, з мережевим акумулятором, зі зменшеним в два рази зазором на зливі, ряд 4 – двобойкова ударна система, зазор між бойками 5 мм, зі зменшеним зазором на зливі, ряд 5 – однобойковий ударний механізм.

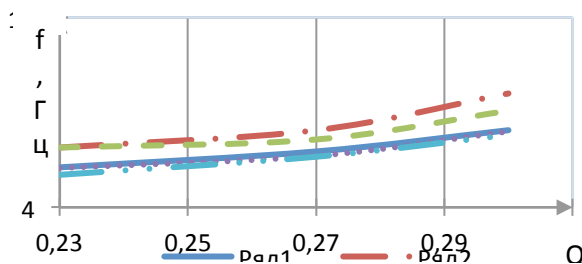


Рис. 4. Залежність частоти ударів від витрати робочої рідини.

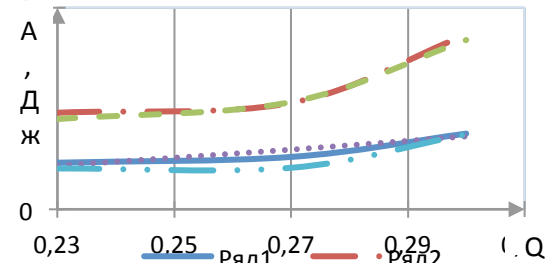


Рис. 5. Залежність енергії одиничного удару від витрати робочої рідини.

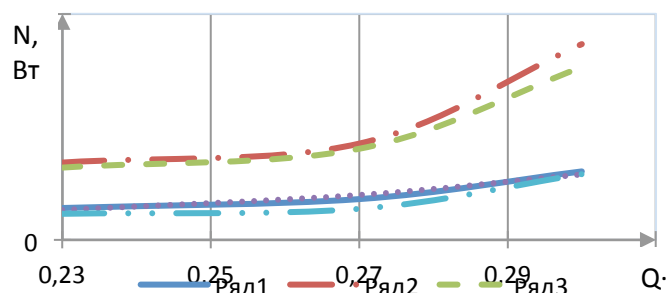


Рис. 6. Залежність ударної потужності від витрати робочої рідини.

Висновки

1. Використання двобойкової системи дозволило зменшити період на 0,02 с, порівняно з одnobойковою ударною системою за рахунок того, що гальмується при зведенні не вся ударна маса відразу, а спочатку поршень з зовнішнім бойком, а потім внутрішній бойок. Виключенням є випадок зменшеного зазору на злив, де зменшення частоти ударів відбулось через збільшення часу холостого ходу (зведення).

2. Для зменшення віддачі на руки оператора необхідно зменшити скачок тиску в робочій камері при гальмування поршня з бойками в процесі холостого ходу. Найбільш ефективним заходом для цього є зменшення зазору на злив рідини при зведенні. Якщо зазор зменшити від 1,7 мм до 0,8 мм, максимальний тиск в робочій камері знизиться в середньому на 20%. Це пояснюється збільшенням сили опору зведенню поршня, і як наслідок - зменшення швидкості холостого ходу (зведення), але збільшується період удару.

3. Використання мережевого акумулятора сприяло збільшенню тиску в робочій камері при робочому ході і відповідно збільшенню енергії удару і ударної потужності.

4. При функціонуванні двобойкової системи доцільно перерозподілити основну частину енергії в хвилю деформації що згенерована другим бойком. Перший бойок генерує хвилю деформації, яка руйнуючи впадини і уступи породи в зоні контакту її з інструментом, збільшує площу контакту, виконуючи так зване динамічне підтискування.

Література

1. Александров Е.В. Исследование процесса ударного взаимодействия горной породы и инструмента / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1965. – 73 с.
2. Александров Е.В. Прикладная теория и расчеты ударных систем / Александров Е.В., Соколинский В.Б. - М.: Наука, 1969. - 201 с.
3. Алимов О.Д. Гидравлические виброударные системы / О.Д.Алимов, С.А.Басов – М.: Наука, 1990. – 352 с.
4. Алимов О.Д. Распространение волн деформаций в ударных системах / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. – Фрунзе: Илим, 1978. – 176 с.
5. Алимов О.Д. Теория ударных систем с неторцевым соударением элементов / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. – Фрунзе: Илим, 1981. – 69 с.
6. Алимов О.Д. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. – М.: Наука, 1985. – 327 с.
7. Енергоощадний двобойковий гідромолот для руйнування гірських порід/ В.М. Сліденко, С.П. Шевчук, Л.К. Лістовщик// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2008. - №2. – С. 75-82.
8. Расчет ударных систем с неторцевым соударением элементов / [О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц, Л.М. Мартыненко]. - Фрунзе: Илим, 1979. - 109 с.

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИДОБУТКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ПЛАСТІВ

*О.М. Терентьєв д.т.н., НТУУ «КПІ», Вигівський В.М. ДП «Науканафтогаз» НАК
«Нафтогаз України»*

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями У вітчизняній промисловості існує велика кількість випромінювачів енергії для обробки матеріалів. Дотепер вони вдосконалювалися в основному в напрямку підвищення силового впливу виконавчих органів на середовище, що оброблюється. При цьому не враховується частота коливань внутрішніх структур, що становлять матеріал. Невідповідність зовнішнього навантаження внутрішнім коливанням часток середовища знижує ККД процесу обробки. Створення нових і підвищення продуктивності існуючих систем видобутку корисних копалин вимагає урахування фізико-механічних властивостей середовища, що оброблюється, власної частоти коливань молекулярних структур середовища, відповідності енергії випромінювання зовнішнього джерела з енергією поглинання середовищем.

Інтенсифікація віддачі нафтових пластів за рахунок їх динамічного навантаження імпульсно-хвильовими способами відповідає положенням Закону України про Пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки від 16 січня 2003 року № 433-ІУ і є актуальною науковою задачею. Дійсне дослідження виконувалося по пріоритетному напрямку науки і техніки: «Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології, розділ 4», тема № 2-25: «Розробка глибинного генератора молекулярно-хвильових коливань і кавітаційних процесів резонансної дії і технології обробки породного масиву.» (№ ДР 0197U013867); тема № 31: «Розробка і впровадження дослідно - промислового устаткування і пристроїв на основі кавітаційно-хвильового трансформатора максимальної енергії» (№ ДР 0194U013395).

Аналіз останніх досліджень розв'язання даної проблеми та виділення невирішених частин загальної проблеми. У літературі відсутні результати досліджень взаємодії зовнішніх коливань виконавчих органів машин із внутрішніми коливаннями молекулярних структур середовища, що оброблюється. Не враховуються істотні негативні прояви неповної передачі корисної енергії в продуктивний пласт, енергетична перенасиченість неосновних процесів, що порушують екологічну рівновагу навколишнього середовища, невідповідність зовнішніх ньютонівських навантажень внутрішнім опорам електромагнітних зв'язків між частками оброблюваного матеріалу.

Удосконалення імпульсно-хвильового навантаження середовища у субрезонансному для нього діапазоні коливань знижує питому енергоємність процесу на 20-30 %. Підвищення енергооснащеності локальних навантажень машин залишається актуальним напрямком, здатним істотно поліпшити технологію ведення процесу видобутку й обробки нафти.

Постановка мети і задач дослідження та основні його результати. Метою роботи є імпульсно-хвильова трансформація частоти коливань зовнішніх енергетичних джерел до частот власних коливань молекулярних структур, середовища що оброблюється для підвищення нафтовіддачі пластів за рахунок резонансних явищ. Для усунення встановлених наукових невизначеностей сформульовані наступні мета і задачі дослідження:

- розробити систему «Імпульсно - хвильовий трансформатор – середовище, що оброблюється» для відновлення й підвищення продуктивності нафтових свердловин з поверхні при спільній роботі з гідравлічним насосом;

- встановити закономірності впливу параметрів системи імпульсно - хвильового трансформатора на середовище при відновленні й підвищенні продуктивності нафтових свердловин;
- розробити математичну модель субрезонансної відповідності енергій випромінювання виконавчим органом і поглинання середовищем.

Для відновлення й підвищення продуктивності нафтогазових свердловин використано імпульсно - хвильовий трансформатор (IXT) [1]. Він складається з первинного низькочастотного джерела коливань, і вторинного високочастотного плунжера - випромінювача (ПВ). У якості первинного джерела можуть використовуватися будь які імпульсні системи, наприклад гідропневмомолот ГПМ – 120. Робота IXT передбачає перетворення енергії одиничного удару від первинного джерела коливань у потік енергії високочастотних коливань плунжера - випромінювача.

Плунжер-випромінювач IXT має власну частоту ω_2 і взаємодіє з рідиною, яка є середовищем, що оброблюється. Рідина, що закачується в свердловину перебуває в постійному контакті з ПВ. При зіткненні бойка ударника з ПВ виникає ударна хвиля, що переміщується від місця зіткнення у протилежних напрямках скрізь елементи, які зіткнулися. Ударна хвиля, що проходить по ПВ, досягши його нижньої частини, переходить у рідину. Її швидкість поширення визначається модулем пружності рідини і її щільністю. Власна частота ПВ й рідини є функціями довжини й фізико – механічних властивостей матеріалу.

Час взаємодії ПВ та стовпа рідини:

$$t = \pi \left\{ \rho \cdot a \cdot S_1 \cdot S_2 / [c \cdot (S_1 \cdot \omega_2 + S_2 \cdot \omega_1)] \right\}^{0,5}. \quad (1)$$

де ρ - щільність матеріалу, з якого виготовленні ударні елементи, кг/м^3 ; a – швидкість звуку в матеріалі ударних елементів, м/с ; S_1 і S_2 – площа перерізу відповідно бойка ударника і ПВ, м^2 ; c – жорсткість бойка, Н/м ; ω_1 і ω_2 – власні частоти коливань відповідно бойка ударника і ПВ, с^{-1} .

Довжина стовпа рідинного середовища l_0 , що приймає ударне навантаження від ПВ, визначається швидкістю поширення звуку в ній, a_0 , за час зіткнення t : $l_0 = a_0 t$. Останній складається із часу проходження ударної хвилі по ПВ, t_2 і часу проходження її по стовпу рідини в свердловині t_0 .

Інтенсивність випромінювання енергії ПВ:

$$\begin{aligned} I(\omega_2) &= \frac{N_2}{S_2} = \frac{E_2}{t \cdot S_2} = \frac{0,5 \cdot \rho_2 \cdot S_2 \cdot a_2 \cdot t \cdot v_2^2}{t \cdot S_2} = \\ &= 0,5 \cdot \rho_2 \cdot a_2 \cdot v_2^2 = 0,5 \cdot 8000 \cdot 5000 \cdot 2^2 = \\ &= 80000 \text{ кВт/м}^2, \end{aligned} \quad (2)$$

де N_2 – потужність, що розвиває ПВ при русі, Вт ; S_2 – площа ПВ, м^2 ; E - енергія ПВ, Дж ; $a_2 = 5000 \text{ м/с}$ [2]; v_2 – швидкість ПВ, м/с .

Для IXT із вторинним джерелом – ПВ стрижневого типу довжиною l_2 інтенсивність поглинання зовнішньої енергії оброблюваним середовищем $I(\omega)$:

$$\begin{aligned} I(\omega_0) &= I(\omega_2) \cdot A / (B + A), \quad (3) \\ \text{де } A &= c \cdot l_2^2 (S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1); \\ B &= \left[\left(\pi \cdot a / l_2 \right) - \omega_0 \right]^2 4 \pi^2 \rho a S_1 S_2. \end{aligned}$$

Власна частота коливань ПВ, як функції геометричних розмірів взаємодіючих елементів і властивостей матеріалу, з яких вони виготовлені:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho \cdot a \cdot S_1 \cdot S_2}{c(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)} - \frac{l_2}{a_2}}}. \quad (4)$$

Підстановкою (2) і (4) в (3) одержано остаточну залежність інтенсивності поглинання рідинним середовищем енергетичного потоку ІХТ:

$$I(\omega) = \frac{I(\omega_0) \cdot A}{B + A}, \quad (5)$$

де

$$B = \left[\left(\frac{\pi \cdot a}{l_2} \right) - \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho \cdot a \cdot S_1 \cdot S_2}{c(S_1 \omega_2 + S_2 \omega_1)} - \frac{l_2}{a_2}}} \right]^2 4\pi^2 \rho \cdot a \cdot S_1 S_2$$

Значення пружних акустичних, міцнісних характеристик використаних матеріалів наведені в таблиці 1, [3; 4]. До них віднесені: модуль пружності матеріалу Е, модуль зсуву G, щільність ρ , коефіцієнт Пуассона μ , швидкість поширення звуку a , гранично допустимі напруження стиснення або розтягання, $[\sigma]$, і зсуву або крутіння $[\tau]$.

Таблиця 1 - Значення параметрів, що характеризують матеріал [2-4]

Показник	30ХГСА	12ХН3А	Сплав W
1	2	3	4
$E \cdot 10^5$, МПа	2	2	4-6
$G \cdot 10^5$, МПа	0.8	0.8	1.5
$\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	8000	8000	20000
μ , в.о	0.3	0.3	0.15
a м/с	5000	5000	5000
$[\sigma]$ МПа	350	520	500
$[\tau]$ МПа	200	340	130

Інтенсивність поглинання залежить від власних частот бойка ударника, ПВ, часток середовища матеріалу, геометрії і фізико-механічних властивостей елементів системи, що приймають участь в співударянні.

У результаті аналізу таблиці 1 видно, що значення модуля пружності, щільності й швидкості поширення звуку в матеріалі для різних типів сталі практично однакові. При використанні у якості первинного джерела ІХТ гідропневмомолота ГПМ-120 його ударник має довжину 0.52 м і діаметр 0.09 м. Радіус закруглення ударної частини 0.35 м. Модуль пружності матеріалу бойка ударника й ПВ однакові 200 ГПа, щільність матеріалу 8000 кг/м³, швидкість поширення звуку складе 5000 м/с. Як оброблюване середовище прийнято воду, модуль пружності якої 2 ГПа, щільність 1000 кг/м³, а швидкість поширення звуку в ній 1414 м/с [3; 5].

Залежність інтенсивності поглинання енергії середовищем, що оброблюється, від діаметра проміжного елемента для різної його довжини за допомогою оболонки LabView представлені на рисунку 1.

Залежність 11 побудована при довжині проміжного елемента IXТ 0.3 м, 12 при довжині - 0.4 м, 13 при довжині - 0.5 м і 14 при довжині - 0,5 м.

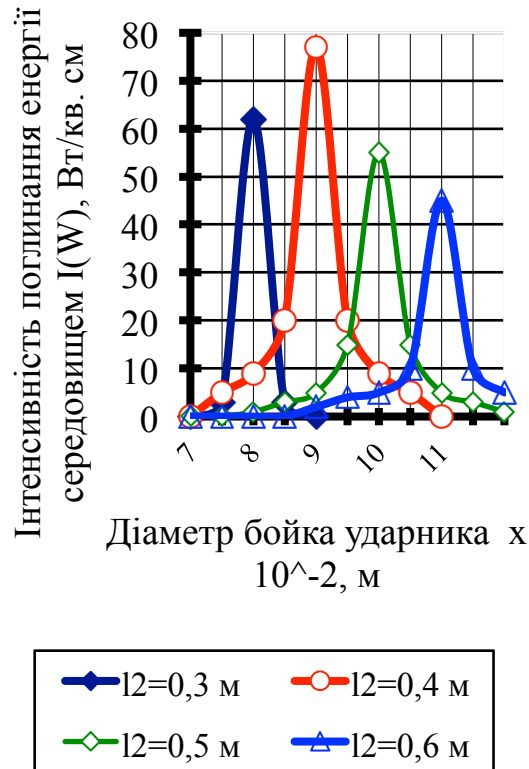


Рисунок 1 - Залежність інтенсивності поглинання енергії середовищем, що оброблюється, від діаметра проміжного елемента для різної його довжини

Максимальна інтенсивність поглинання енергії IXТ середовищем, що оброблюється складає 77 Вт/см^2 і досягається використанням ударника енергією 1200 Дж при площі ПВ 0.076 м, діаметрі проміжного елемента 0,09 м і його довжині 0,4 м. Зі збільшенням довжини проміжного елемента IXТ до 0,6 інтенсивність поглинання енергії середовищем знижується до 48 Вт/м^2

ВИСНОВКИ

1. Для відновлення продуктивності нафтових свердловин за рахунок очищення їхньої внутрішньої поверхні від асфальто-смолисто-парафинистих відкладень запропоновано імпульсно-хвильовий трансформатор, у якому первинним джерелом енергії є гідромолот ГПМ-120, а вторинним джерелом енергії є плунжер-випромінювач стрижневої форми з діаметром 0.14 м і довжиною 0.345 м і масою 42.5 кг.

2. Для трансформації частоти коливань у IXТ між бойком ударника і плунжером - випромінювачем встановлено проміжний елемент діаметром 0,9 м і довжиною 0,4 м, що надало змогу забезпечити інтенсивність поглинання енергії IXТ середовищем 77 Вт/см^2

3. Вперше запропоновано математичну модель імпульсно-хвильової трансформації низькочастотних коливань у високочастотні, субрезонансні власні частоти коливань молекулярних структур кальматацийного шару вибою, що відрізняється тим, що враховує силу підтиснення плунжера - випромінювача до вибою і дозволяє забезпечити:

а) встановлення функціональних зв'язків між швидкістю плунжера-випромінювача, його переміщенням та силою удару і часом співударяння ударника з плунжером - випромінювачем;

б) 5 % похибку оцінки геометричних, енергетичних і силових параметрів імпульсно - хвильового трансформатора для підвищення нафтовіддачі пластів;

в) можливість встановлення відповідності між енергією випромінювання ІХТ і енергією поглинання високочастотного імпульсного навантаження середовища, що оброблюється.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кічігін А.П. Імпульсно-хвильовий трансформатор для очищення та підвищення продуктивності нафтових свердловин. [Текст] / А.П. Кічігін, О.М. Терентьєв, А.А. Архіпов, В.М. Вигівський // Винахідник і раціоналізатор. №4, 1998 р. - с. 18.

2. Соколинский В.Б. Машины ударного действия. (Основы комплексного проектирования) [Текст]/ В.Б. Соколинский. – М.: Машиностроение. 1982. – 184 с.

3. Тарко Л.М. Волновые процессы в трубопроводах гидромеханизмов. [Текст] / Л. М. Тарко. - М.: Машгиз. 1963 г. - 184 с.

4. Тимошенко С.П. У. Колебания в инженерном деле [Текст]/ Пер. с англ. Л.Г.Корнейчука; Под. ред. Григolyка. /С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер- М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

5. Гейер В.Г. Гидравлика и гидропривод [Текст]/ В. Г. Гейер, В. С. Дулин, А. Г. Боруменский, А. Н. Заря: Учебник для вузов. 2 –е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1981. - 295 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ПОСТІЙНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ В ОБОЛОНЦІ LABVIEW

О.М. Терентьев, д.т.н., О.А. Можаровська, А.В. Ворфоломеев, аспіранти

Створено моделі процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним та повздовжнім магнітними полями в оболонці LabVIEW. Шляхом проведення теоретичного експерименту визначено оптимальні технічні параметри магнітних пристроїв очищення води.

Создано модели процесса очистки воды постоянным аксиально-симметричным поперечным и продольным магнитными полями в оболочке LabVIEW. Путем проведения теоретического эксперимента найдены оптимальные технические параметры магнитных устройств очистки воды.

It is created models of process treatment of water environment by permanent axisymmetric transversal and longitudinal magnetic fields in the shell of LABVIEW. It is conducted theoretical experiment. It is found optimum of technical parameters of magnetic devices for water treatment.

За даними 2008 року 1,5 мільйона українців споживали питну воду за тимчасовими дозволами [1], якість цієї питної води була нижчою за встановлені норми. У середньому по Україні відхилення якості питної води від норми за хімічним складом не перевищує 15-20 % [2]. У деяких населених пунктах, а також в окремих регіонах України відхилення якості води від норми становить 70-80 %, крім того, є такі населені пункти, які вживають питну воду, яка на 100 % не відповідає вимогам за хімічним складом [2].

Прийнято загальнодержавну програму [3], яка визначає очищення води, як пріоритетний напрямок наукової діяльності. Очищення водного середовища згідно [4], відповідає таким стратегічним напрямкам інноваційної діяльності в Україні: новітні ресурсозберігаючі технології; енергоефективне, ресурсозберігаюче, модульне, екологічно безпечне обладнання та устаткування для здійснення процесів водопідготовки, очищення води, теплопостачання та засоби управління цими процесами.

Переваги магнітної обробки водного середовища описані в [5], а способи обробки рідини постійним аксіально-симетричним поперечним та повздовжнім магнітним полем - відповідно у [6] і [7]. Проведення експериментальних досліджень за вказаними напрямками потребує значних матеріальних вкладень, наприклад, при дослідженні за багатофакторним повночинниковим експериментом типу 3^3 необхідно провести 27 дослідів по 10 вимірювань в кожній точці (для вірогідності 95 %). Тобто вимагає проведення 270 вимірів якості води. В свою чергу кожен такий вимір потребує різних хімічних аналізів в залежності від речовини, концентрацію яких потрібно визначити. Також доцільно провести кілька паралельних досліджень. Тому перед натурним експериментальним дослідженням для запобігання невиправданих витрат необхідно провести не тільки ретельне планування експерименту, а і проведення його на комп'ютерній моделі.

Метою дослідження є створення комп'ютерної моделі процесу очищення води постійним магнітним полем для очищення рідини.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні **завдання дослідження**:

- створення моделі процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем;
- створення моделі процесу очищення води постійним аксіально-симетричним

повздовжнім магнітним полем.

Програмна оболонка LabVIEW від National Instruments призначена для створення віртуальних приладів, які моделюють фізичні процеси, зміни в них, а також вимірюють параметри цих процесів. Для комп'ютерного моделювання процесу очищення води постійним магнітним полем обрано програмне забезпечення від National Instruments, а саме Labview 8.0.

1. Моделювання процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW

Вперше створено комп'ютерну модель експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW, яка дозволяє дослідити вплив витрати рідини, індукції та довжини магнітного поля на концентрацію заряджених частинок домішок води на виході магнітної системи. Функціональна та контрольні панелі моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW представлені на рис. 1 та рис. 2.

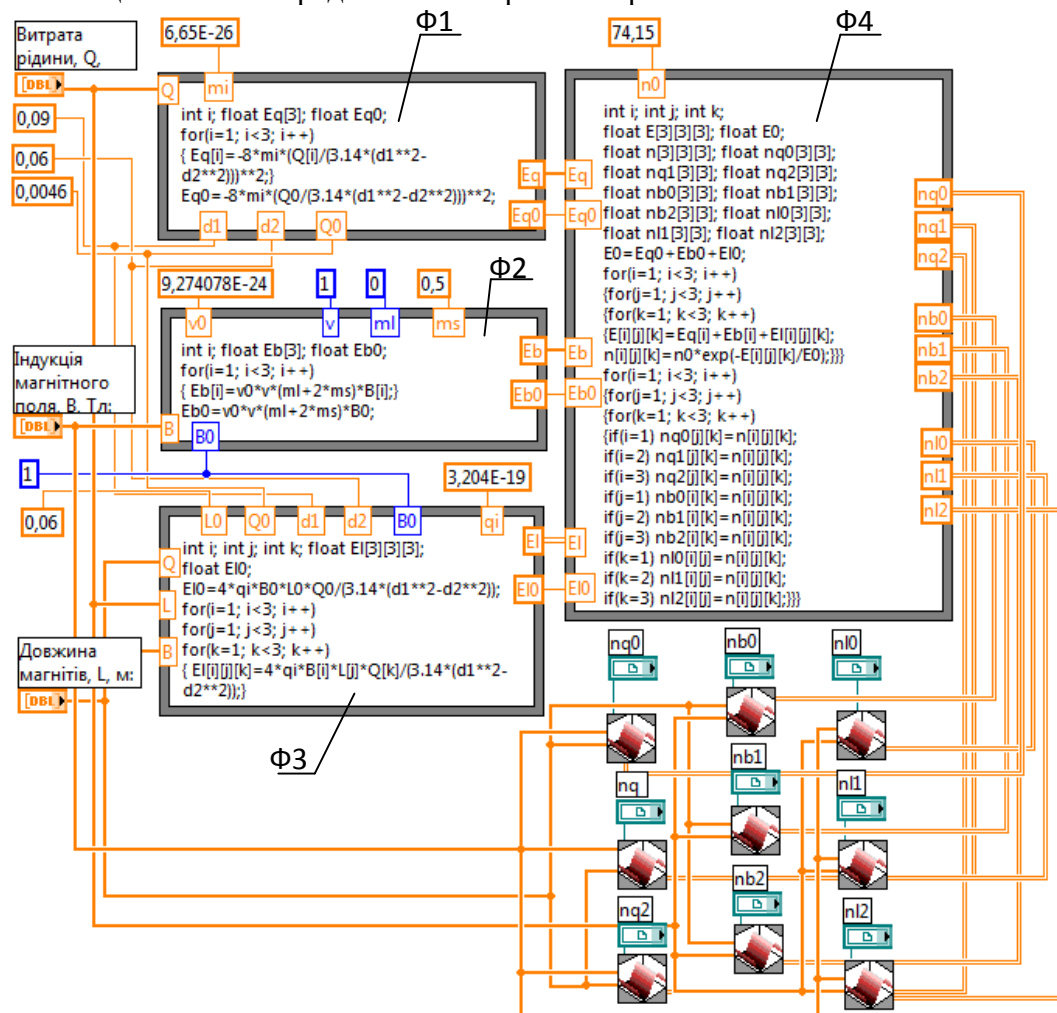


Рис. 1. Функціональна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW

Очищення воды постоянным аксиально-симметричным поперечным магнитным полем описана в [6]. Для уменьшения навантажения на одну систему та можливості ремонту використано дві магнітні системи, встановлені паралельно. Тоді витрата рідини через кожену

з систем дорівнює половині загальної витрати рідини. Нижній рівень варіювання по витраті рідини прийнято рівним нормативному значенню витрати рідини, відповідно до даних, наданих ДП «Кіровоградтепло» ТОВ «ЦНТІ УНГА» для впровадження системи в промислових умовах Південно-Західної котельні теплового промислового району м. Кіровоград: $Q_{\min}=0,5Q_n=0,5\cdot 33 \text{ м}^3/\text{год} \approx 4,6\cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Верхній рівень обрано у відповідності до пікової витрати рідини $Q_{\max}=0,5Q_n=0,5\cdot 100 \text{ м}^3/\text{год} \approx 13,8\cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Нульовий рівень варіювання обрано з умови симетричності верхнього та нижнього рівнів відносно нульового: $Q_0=0,5(Q_{\max}+Q_{\min})=0,5(13,8\cdot 10^{-3}+4,6\cdot 10^{-3})=9,2\cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Для конструктивно заданої довжини розповсюдження магнітного поля $L_2=0,02 \text{ м}$ необхідна достатня індукція магнітного поля для затримання іонів кальцію 0,378 Тл. Тому прийнято мінімальне значення індукції магнітного поля, Тл: $B_{\min}=0,378\approx 0,4$. Для постійних магнітів з NdFeB N 33 залишкова індукція, Тл: $B_r=1,13$, з урахуванням коефіцієнту використання магнітного потоку $k=0,953$, максимальну індукцію магнітного поля прийнято, Тл: $B_{\max}=1,0$. Нульовий рівень варіювання обрано з умови симетричності верхнього та нижнього рівнів відносно нульового, Тл: $B_0=0,5(B_{\max}+B_{\min})=0,5(1,0+0,4)=0,7$. Граничні значення довжини магнітів обрано з урахуванням можливості варіювання на трьох рівнях, м: $l_{\min}=0,02$, $l_0=2l_{\min}=2\cdot 0,02=0,04$, $l_{\max}=3l_{\min}=3\cdot 0,02=0,06$.

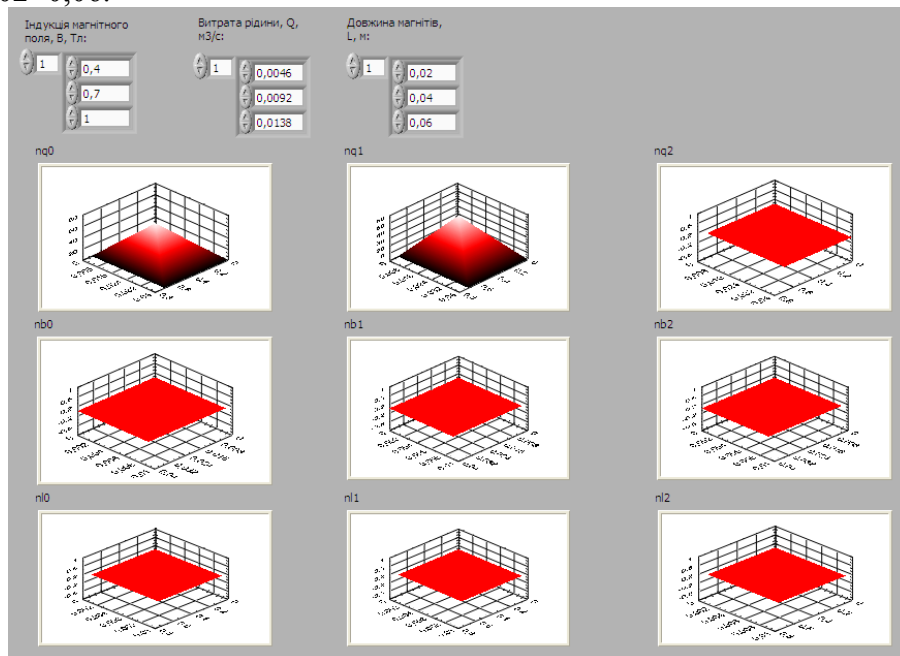


Рис. 2. Контрольна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW

Основним елементом моделі експериментальної установки (рис. 1) обрано структуру вузол *Формула* (Formula Node), в якому в текстовому вигляді записано математичні вирази та оператори для виконання розрахунків концентрації домішок n у воді (рис. 1, Ф1-Ф4). Змінні параметри: витрата рідини Q , індукція магнітного поля B та довжина розповсюдження магнітного поля L , вводяться за допомогою використання терміналів вводу даних типу *DBL* (чисельний з плаваючою комою подвійної точності). Змінні параметри задаються масивом, що складається з 3 значень (нижній, нульовий та верхній рівні відповідно). Постійні, що використовуються при розрахунку концентрації домішок у воді задані за допомогою *Локальної змінної* (Local), яка використовується для передачі даних між елементами керування або індикаторами. В вузлах *Формула* виконуються почергові розрахунки складових енергії частки в магнітному полі E_q (Ф1), E_b (Ф2), E_l (Ф3) у вигляді тривимірних масиву та сталих значень складових оптимальної енергії частки в магнітному полі E_{q0} (Ф1),

$Eb0$ ($\Phi 2$), $El0$ ($\Phi 3$) відповідно до (3.40). Розрахунки масивів Eq , Eb , El виконано за допомогою операторів вузла *Формула* в циклі *for*. Масиви Eq , Eb , El та сталі значення $Eq0$, $Eb0$, $El0$ передаються до заключного вузла $\Phi 4$, де виконано розрахунок оптимальної енергії частки в магнітному полі $E0$ та масивів: енергії частки в магнітному полі E та концентрації домішок у воді n за допомогою циклу *for*. Далі виконано сортування масиву n у відповідності до сталого значення одного з параметрів Q , B або L за допомогою циклів *for*. Результатом вузла *Формула* є масиви значень концентрації домішок: $nq0$, $nq1$, $nq2$, $nb0$, $nb1$, $nb2$, $nl0$, $nl1$, $nl2$, які характеризуються сталим значенням одного з параметрів $Q0$, $Q1$, $Q2$, $B0$, $B1$, $B2$, $L0$, $L1$, $L2$, відповідно. На контрольну панель (рис. 2) виведено тривимірні залежності концентрації домішок у воді $nq0$, $nq1$, $nq2$, $nb0$, $nb1$, $nb2$, $nl0$, $nl1$, $nl2$ від витрати рідини Q , індукції магнітного поля B та довжини розповсюдження магнітного поля L . Для цього використано палітру *Графіки та звук* (Graphics & Sound).

В результаті моделювання експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем визначено оптимальні параметри МАКСі: витрата рідини - $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, індукція магнітного поля - 1,0 Тл, довжина магнітного поля - 0,06 м

3. Моделювання процесу очищення води постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW

Очищення води постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем описана в [7]. Подача уніфікованої насосної станції при роботі одного насоса змінюється від 0 до $6,67 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$. Тому нижнім рівнем варіювання подачі обрано, $\text{м}^3/\text{с}$: $Q_{\min} = 6 \cdot 10^{-4}$ (90 % від максимальної подачі насоса). При роботі 2 насосів подача станції досягає $1,334 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Таким чином верхній рівень варіювання в два рази більший за нижній, $\text{м}^3/\text{с}$: $Q_{\max} = 12 \cdot 10^{-4}$. Нульовий рівень варіювання обрано з умови симетричності верхнього та нижнього рівнів відносно нульового, $\text{м}^3/\text{с}$: $Q_0 = 0,5(Q_{\max} + Q_{\min}) = 0,5(12 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-4}) \approx 9 \cdot 10^{-4}$. Максимальна робоча довжина пристрою магнітного очищення, задана конструктивно, 0,4 м. Тому верхній рівень варіювання робочої довжини, м: $l_{\max} = 0,4$. При визначенні нижнього рівня враховано, що для утворення магнітної пастки необхідно щонайменше 2 секції електромагніта. При довжині секції 0,04 м, враховуючи, що тільки половина першої секції входить в робочу зону, нижній рівень варіювання робочої довжини, м: $l_{\min} = 0,06$. Нульовий рівень вибрано як найближче число, яке відповідає усередненому значенню між верхнім та нижнім рівнем з урахування ширини секцій. Таким чином $l_0 = 0,22$ м. Верхнім рівнем варіювання кінцевої магнітної індукції, виходячи з умов нагріву пристрою, обрано, Тл: $B_{\max} = 0,14$. Нижнім рівнем варіювання кінцевої магнітної індукції, Тл: $B_{\min} = 0,07$, що відповідає зменшення струму в обмотках секційного електромагніта в 2 рази. Тоді з умов симетричності нульовий рівень, Тл: $B_{k0} = 0,105$.

Для моделювання процесу очищення води постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем в програмній оболонці LabVIEW було створено комп'ютерну модель експериментальної установки, яка дозволяє дослідити вплив витрати рідини, індукції магнітного поля та довжини магнітної пастки на концентрацію домішок у водному середовищі. Схема передачі та обробки інформації під час функціонування моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем приведена на рис. 3.

Функціональна та контрольна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW представлені на рис. 4 та рис. 5.

Наведена на рис. 4 функціональна панель відображає логічні зв'язки, представлені на рис. 3, з урахуванням залежностей, описаних в [7], в умовах програмної оболонки LabVIEW. Вибрані чинники експерименту вводяться у форматі *DBL*, та через з'єднувальні лінії (Connection Wires) передаються у формульні вузли (Formula Node), в яких відбувається

обчислення початкового «кута втрат», а також додаткових втрат, пов'язаних з неоптимальністю чинників експерименту. Через вузли простих математичних функцій (Addition, Division) відбувається розрахунок сумарного кута втрат, а з нього і ступеня очищення пристрою магнітної обробки. Похибка пристроїв вимірювання моделюється інструментом випадковості (Rand). З отриманого ступеня очищення пристрою і заданої концентрації іонів домішок на вході в пристрій визначається параметр оптимізації експерименту – вихідна концентрація іонів домішок.

Змінюючи значення на контрольній панелі (рис. 5), досліджено вплив головних чинників (подачі рідини, кінцевої індукції магнітного поля, робочої (ефективної) довжини «магнітної пастки»), на параметр оптимізації – концентрацію заряджених частинок домішок води. Модельні дослідження дозволили визначити оптимальний режим роботи магнітного уловлювача: витрата рідини – $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, робоча довжина пристрою 0,4 м і кінцева індукція 0,14 Тл.

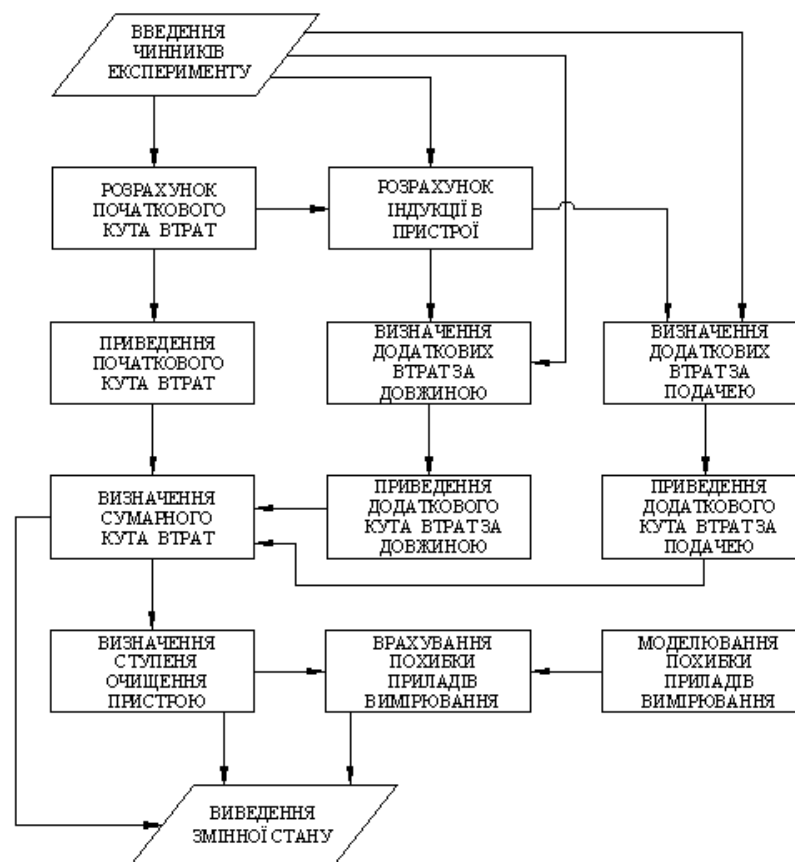


Рис. 3. Схема передачі та обробки інформації в комп'ютерній моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем

Висновки

1. Вперше створено комп'ютерну модель експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW, яка дозволяє оцінити вплив витрати рідини, індукції та довжини магнітного поля на концентрацію заряджених частинок домішок. В результаті моделювання визначено оптимальні параметри МАКСі: витрата рідини - $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, індукція магнітного поля - 1,0 Тл, довжина магнітного поля - 0,06 м.

2. Вперше створено комп'ютерну модель експериментальної установки для дослідження обробки рідини постійним аксіально-симетричним повздовжнім магнітним полем в оболонці LabView. Вона дозволяє оцінити вплив подачі рідини, кінцевої індукції

магнітного поля, робочої довжини «магнітної пастки» на концентрацію заряджених частинок домішок води. Визначено оптимальний режим роботи магнітного уловлювача: витрата рідини – $5 \cdot 10^{-4}$ м³/с, робоча довжина пристрою 0,4 м і кінцева індукція 0,14 Тл. При цьому ступінь очищення пристрою складає 0,75.

3. В подальших дослідженнях варто приділити увагу візуалізації моделювання процесу видалення домішок з водного середовища під дією магнітного поля.

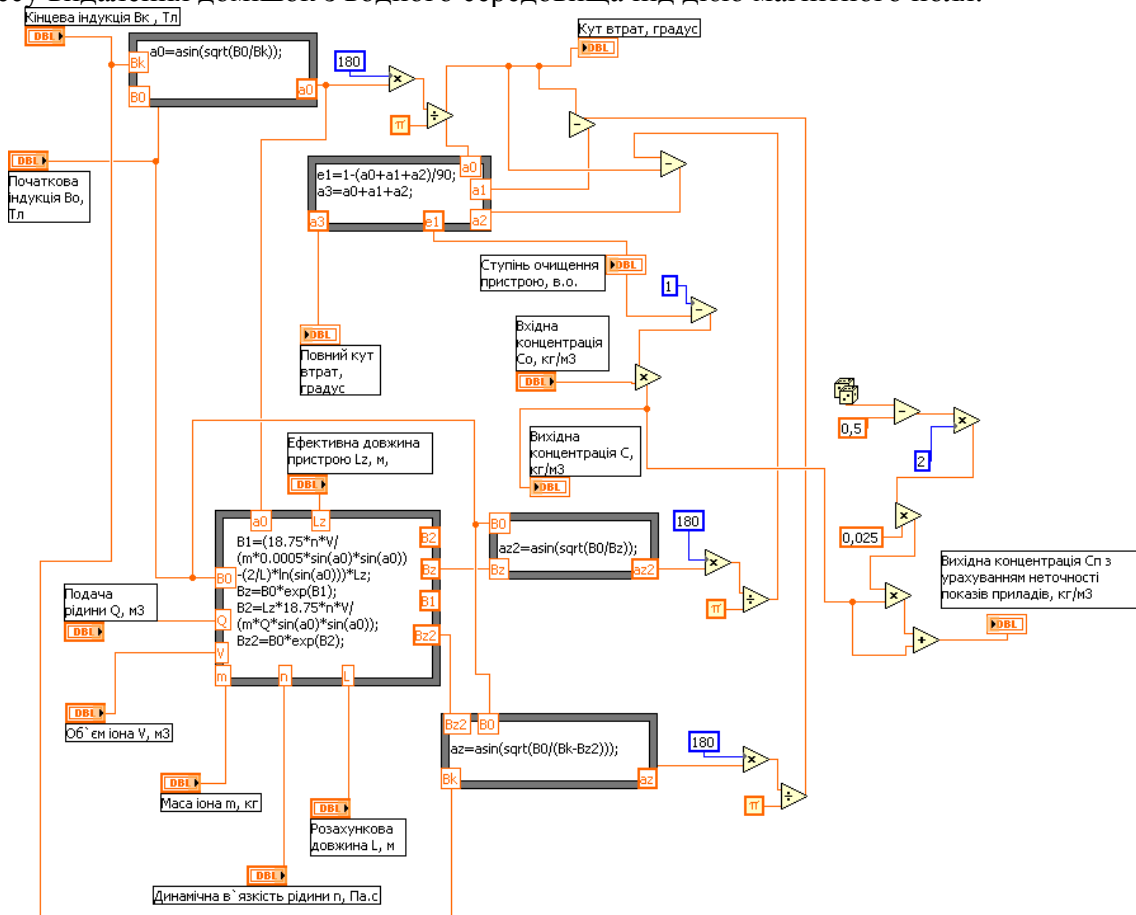


Рис. 4. Функціональна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води повздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW

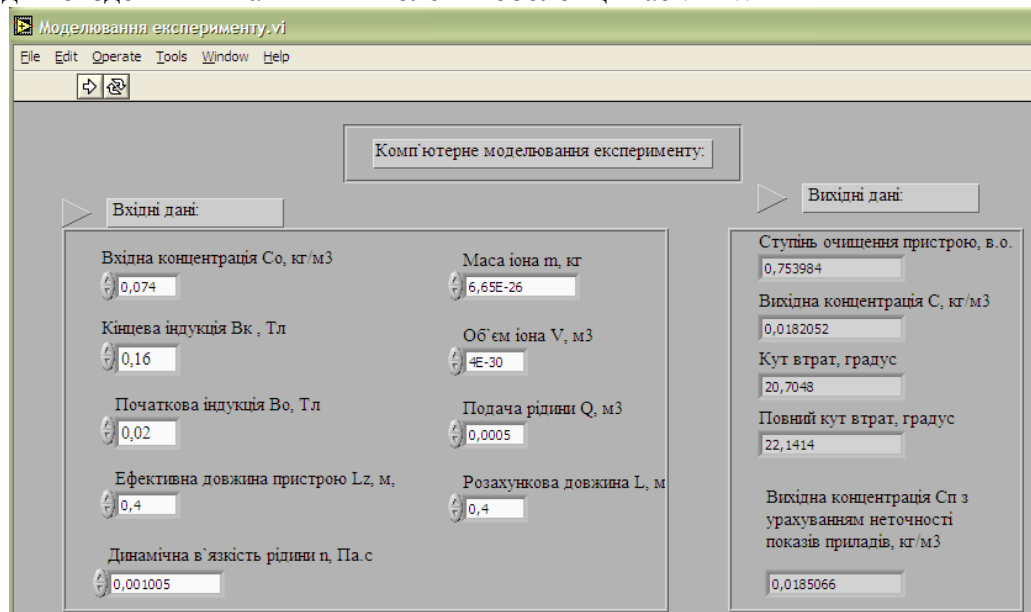


Рис. 5. Контрольна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води повздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW

Література

1. Кучеренко О.Ю. Питна вода має стати національним пріоритетом // Міжнародна науково-практична конференція «Якість питної води: нові підходи та шляхи вирішення», м. Київ, 25 вересня 2008р.
2. Дронова Н. Питна вода як фактор ризику [Текст] / Н. Дронова // Kyiv Weekly. – 2006. – №44 (229). – С. 5.
3. Україна. Закон. Про Загальнодержавну програму «Питна вода України на 2006-2020 роки» [Текст] : [прийнятий Верховною Радою 3 березня 2005 р.] // Голос України. – 2005. – №69 (15 квітня). – С. 10-12.
4. Україна. Закон. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки» [Текст] : [прийнятий Верховною Радою 16 січня 2003 р.] // Вісник Верховної Ради. – 2003. – №13. – С. 93.
5. Терентьев О.М. Способи і засоби обробки робочої рідини гідросистем гірничих машин [Текст] / О.М. Терентьев, О.А. Можаровська, А.В. Ворфоломеев // Вісник НТУУ «КПІ» серія «Гірництво». – 2008. – № 16 – С. 73-79.
6. Можаровська О.А. Керування станом рідинних середовищ для підвищення якості функціонування гірничого обладнання / О.А. Можаровська // Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина», НТУУ «КПІ», Збірник наукових праць, К.: 2009 – С. 185-188
7. Терентьев О.М. Визначення розподілу магнітної індукції «магнітної пастки» для затримання іонів домішок рідини в напірному трубопроводі та його практична реалізація [Текст] / О.М. Терентьев, О.А. Можаровська, А.В. Ворфоломеев // «Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – №1 – С. 121-127.

СТАБІЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІРНИЧОЇ МАШИНИ З ІМПУЛЬСНИМ ВИКОНАВЧИМ ОРГАНОМ

*В.М. Сліденко, к.т.н., доц (Україна, Київ, Національний Технічний Університет
України “КПІ”)*

Вступ

Одним із напрямків в розв’язку проблеми впровадження імпульсних технологій для гірничого машинобудування є максимальна стабілізація гірничої машини з імпульсним виконавчим органом в процесі руйнування гірської породи.

Розглянемо узагальнену систему “гірнича машина з імпульсним виконавчим органом - робоче середовище”, де під гірничою машиною розуміється базова машина - гідравлічний екскаватор чи прохідницький комбайн з стріловим маніпулятором, на якому монтується імпульсний виконавчий орган, наприклад, гідромолот. Робоче середовище формується у відповідності до технології, наприклад, для екскаватора при розпушуванні мерзлих ґрунтів чи дробленні негабаритів, а для прохідницького комбайна - при руйнуванні породи у вибої. Цикл роботи такої системи характеризується основними фазами: позиціонуванням і ударної взаємодії. В фазі позиціонування інструмент гідромолота наводиться маніпулятором на об’єкт і гірничою машиною генерується сила подачі. Проблемою є генерація такої сили подачі, за якою втрати енергії в фазі ударної взаємодії будуть мінімальними [1].

Результати аналітичних досліджень.

Основні характеристики, які найбільше впливають на стабілізацію машини відображені на рис.1.

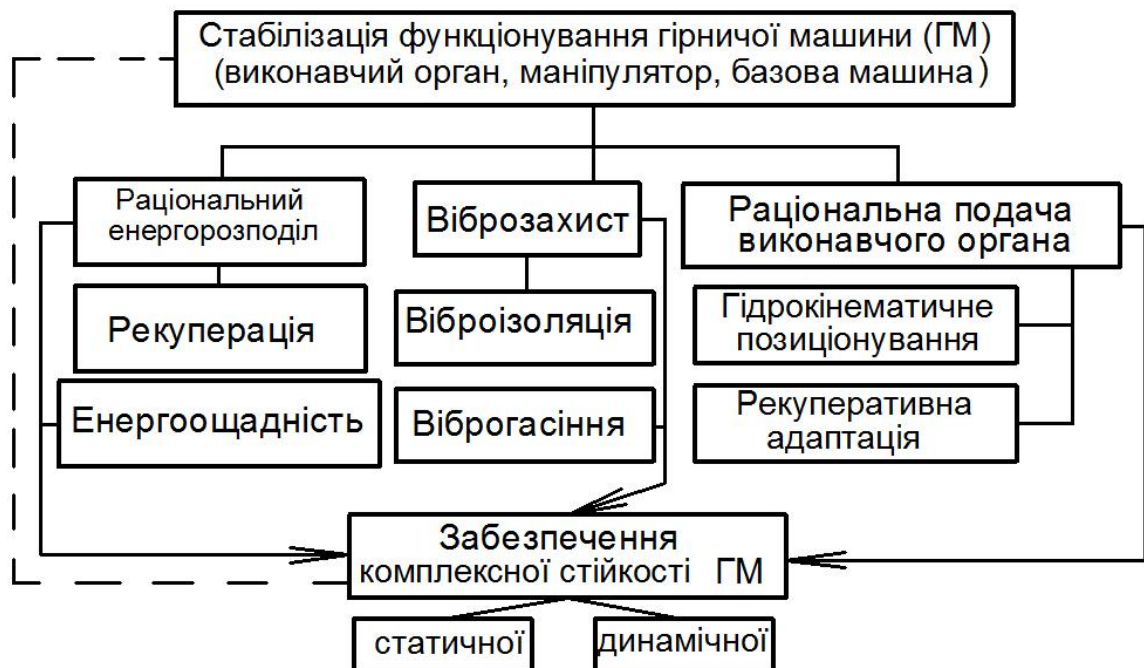


Рисунок 1 - Характеристики, впливові на стабілізацію функціонування гірничої машини

Переміщення корпусу гідромолота в робочому циклі пов’язане з дією динамічних сил реакції віддачі та різким переміщенням гірничої машини при раптовому руйнуванні породи. В останньому випадку вся накопичена енергія в процесі вивішування базової машини, в

залежності від висоти вивішування, переходить в кінетичну енергію рухомих мас і далі в потенціальну енергію деформації породи та частин гірничої машини. При цьому коефіцієнт динамічності частин гірничої машини досягає максимальних значень [1].

Для зниження динамічних навантажень, які викликані переміщенням гірничої машини, між маніпулятором і гідромолотом вводять силову ланку 1 у вигляді гідроциліндра 2, який переміщує гідромолот 3 по направляючій 4 вздовж його осі (рис.2) При цьому реалізується схема подачі з гідрокінематичним позиціонуванням. Введення в гідропривод гідроаккумулятора 5 реалізує схему подачі з рекуперативною адаптацією .

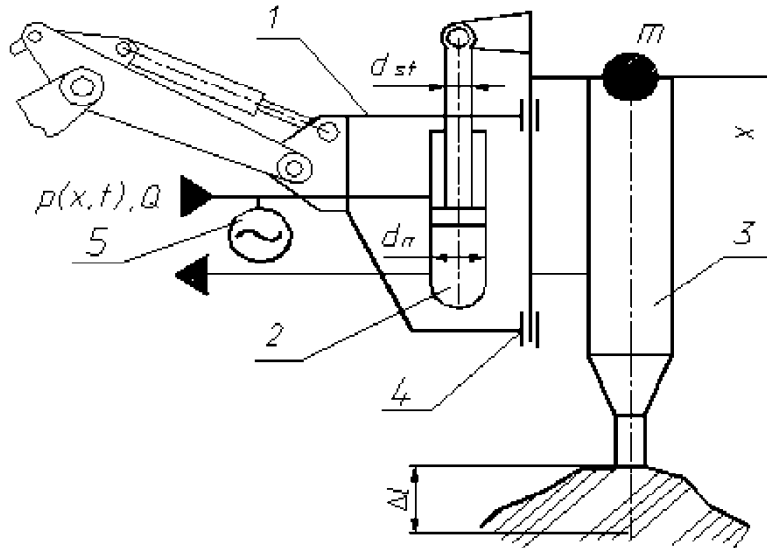


Рисунок 2 – Схема подачі гідромолота на вибій

Розглянемо рух гідромолота, під дією механізму гідрокінематичного позиціонування, як рух одномасової системи. Зведена, в динамічному відношенні, маса m рухомих частин до корпусу гідромолота переміщується за напрямом x (рис.2). Її рух адекватно відображає рух корпусу гідромолота і описується рівнянням

$$m x'' = m g \sin \varphi + S_c p(x, t), \quad (1)$$

де m - зведена маса; φ - кут нахилу гідромолота до горизонту; S_c - площа штокової частини гідроциліндра подачі $S_c = \pi (d_n^2 - d_{st}^2) / 4$; d_n, d_{st} - відповідно діаметри поршня і штока гідроциліндра; $p(x, t)$ - тиск в камері подачі,

$$p(x, t) = p_0 + \frac{E_r (Q t - S_c x)}{V_0}; \quad (2)$$

E_r - модуль пружності рідини; Q - витрата рідини при підтискуванні гідромолота до масиву; V_0 - об'єм робочої порожнини гідроциліндра; p_0 - початковий тиск в гідроприводі.

Підставляючи (2) в (1) після алгебраїчних перетворень отримаємо

$$x'' + \frac{S_c^2 E_r}{m V_0} x = g \sin \varphi_m + \frac{S_c p_0}{m} + \frac{S_c E_r Q}{V_0 m} t, \quad (3)$$

Введемо заміни

$$M = \frac{S_c E_r Q}{V_0 m}; \quad N = g \sin \varphi + \frac{S_c P_0}{m}; \quad w^2 = \frac{S_c^2 E_r}{m V_0}; \quad (4)$$

Тоді рівняння (4) буде зведене до простої форми лінійного диференціального рівняння з правою частиною

$$x'' + w^2 x = M t + N, \quad (5)$$

розв'язок якого, як відомо, складається із загального розв'язку однорідного та частинного розв'язку неоднорідного рівнянь. Використовуючи відповідне характеристичне рівняння для загального розв'язку однорідного рівняння та метод невизначених коефіцієнтів для частинного розв'язку неоднорідного рівняння, з урахуванням початкових умов при $t=0$, $x=0$, $x'=0$, отримаємо загальний розв'язок рівняння (5)

$$x = \frac{M}{w^3} (w t - \sin wt) + \frac{N}{w^2} (1 - \cos wt). \quad (6)$$

Рівняння (6) з урахуванням значень коефіцієнтів (4) дозволяє визначити основні параметри механізму подачі гідромолота.

Швидкість корпусу гідромолота по направляючим від подачі визначається диференціюванням (6)

$$x' = \frac{M}{w^2} (1 - \cos wt) + \frac{N}{w} \sin wt. \quad (7)$$

Рух гідромолота при раптовому руйнуванні масиву пов'язаний з зникненням опори під інструментом і визначається виходячи з рівняння обертального руху машини навколо ребра перекидання. В цьому випадку, лінійне прискорення зведеної маси дорівнює прискоренню вільного падіння [1]. Умова ефективності спрацювання пристрою подачі $x'' \geq g = 9,81 \text{ м/с}^2$, за якою базова машина рухатись не буде, а буде рухатись гідромолот і, практично, буде відсутня імпульсна реакція віддачі. При $x'' < g$, система подачі буде мало ефективна, оскільки можливе поміщення всієї базової машини з наступним погашенням її кінетичної енергії деформацією опор та обладнання.

Для забезпечення необхідного прискорення гідромолота, у випадку раптового заглиблення інструмента в породу на величину Δl , передбачене збільшення витрати рідини використанням акумулятора 5, який підмикається до магістралі нагнітання (рис.2). У випадку використання такого пристрою під будь-яким кутом забезпечується постійне зусилля подачі. А енергія реакції віддачі, яка направлена в протилежний від вибою бік, поглинається гідроакумулятором і надалі передається назад для підтискування гідромолота. Таким чином здійснюється адаптація виконавчого органа до умов руйнування гірської породи через рекуперацію енергії гідроакумулятором

В цьому випадку рівняння руху корпусу гідромолота буде

$$m x'' = mg \sin \varphi + S_c p(Z, x, t), \quad (8)$$

де Z - об'ємна жорсткість гідроакумулятора, $Z = \Delta p / \Delta V$ [2]; Δp , ΔV - відповідно зміна тиску в рідинній пружині акумулятора та його об'єму;

$$p(Z, x, t) = p_0 + Z (Q t - S_c x). \quad (9)$$

З урахуванням (9) рівняння (8) матиме вигляд

$$m x'' = mg \sin \varphi + S_c p_0 + S_c Z (Q t - S_c x);$$

звідки

$$x'' + \frac{S_c^2 Z}{m} x = q \sin \varphi + \frac{S_c p_0}{m} + \frac{S_c Z Q}{m} t; \quad (10)$$

Ввівши заміни $M_z = S_c Z / m$; $w_z^2 = S_c^2 Z Q / m$ і враховуючи заміни (4) отримаємо

$$x'' + w_z^2 x = M_z t + N; \quad (11)$$

За структурою рівняння (11) аналогічне рівнянню (5) і його загальний розв'язок буде

$$x = \frac{M_z}{w_z^3} (w_z t - \sin w_z t) + \frac{N}{w_z^2} (1 - \cos w_z t) \quad (12)$$

Швидкість корпусу гідромолота по направляючим

$$x' = \frac{M_z}{w_z^2} (1 - \cos w_z t) + \frac{N}{w_z} \sin w_z t \quad (13)$$

Тиск в гідроциліндрі підтискування визначимо підстановкою (12) в (9).

З метою порівняння ефективності двох способів подачі за наведеними залежностями проведено моделювання на ЕОМ. За базову машину прийнято гідравлічний екскаватор ЕО-4321А з гідромолотом ГПМ-300. Визначено входні дані для розрахунків: $m=1500$ кг, $d_p=0,125$ м, $d_{st}=0,1$ м, $E_r=1800$ МПа, $Q=120$ л/хв, $V_0=4,418$ м³, $\varphi=\pi/2$, $g=9,81$ м/с². Отримані відповідні характеристики: прискорення гідромолота (рис.3) та тиску в гідроприводі (рис.4) в залежності від переміщення інструменту гідромолота при раптовому руйнуванні масиву.

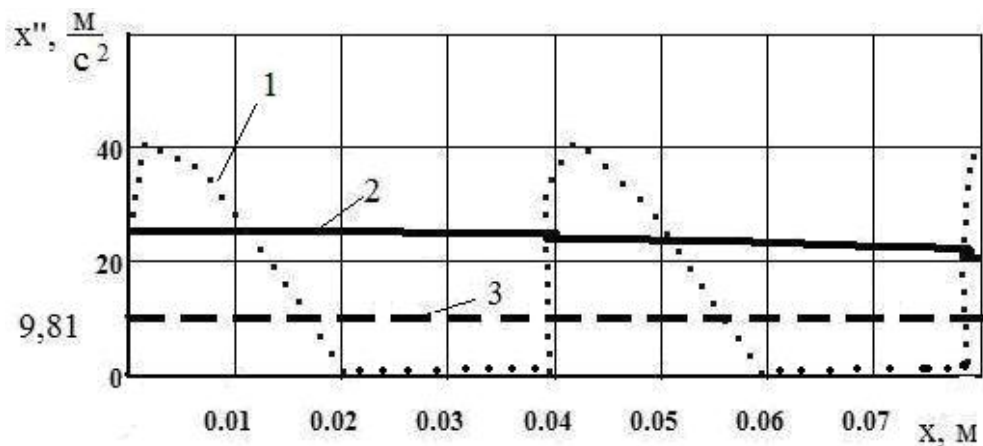


Рисунок 3 - Графіки залежностей прискорення корпусу: 1 - для схеми гідрокінематичного позиціонування; 2 - для схеми рекуперативної адаптації, 3 - обмеження за прискоренням вільного падіння.

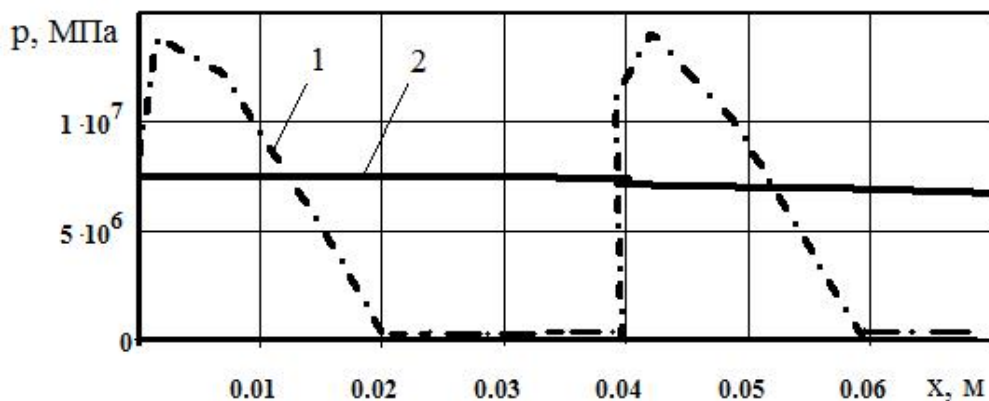


Рисунок 4 - Графіки залежностей тиску в гідроприводі: 1 - для схеми гідрокінематичного позиціонування; 2 - для схеми рекуперативної адаптації.

Висновки

За наведеними залежностями проведено моделювання процесу подачі гідромолота та визначена раціональна схема подачі за якою досягається стабілізація режиму функціонування гірничої машини.

Виходячи з графіків (рис.3, 4) процес гідрокінематичного позиціонування, який характерний для більшості гідроприводних маніпуляторів гірничих машин, призводить до імпульсно - хвильових процесів навантаження маніпулятора та гідроприводу. Це, в свою чергу, вимагає застосування додаткових ресурсів по віброзахисту та по забезпеченню стійкості функціонування елементів конструкції машини.

Процес, який реалізується за схемою рекуперативної адаптації, є керованим з можливістю стабілізації навантаження на маніпулятор та гідропривод. При цьому реалізується двократний запас за прискоренням корпусу по відношенню до прискорення вільного падіння та стабільний тиск в гідроприводі 7,5...7 МПа, в межах переміщення корпусу гідромолота 0...0,07 м. Це дозволяє стабілізувати режим роботи виконавчого органа в циклі його роботи, практично, виключивши випадки раптового провалу інструмента під час руйнування породи та забезпечити ефективну передачу енергії гірському масиву.

Реалізація запропонованих залежностей дозволила вибрати необхідний енергоощадний механізм подачі гідромолота [3], визначити його параметри для забезпечення стабільного функціонування гірничої машини в межах її конкретних адаптивних і генераторних можливостей.

Література

1. Слиденко В.М., Дмитриевич Ю.И. Воздействие гидромолота СП-70 на базовую конструкцию экскаватора ЭО-4321 // Сб.науч. тр./ ВНИИстройдормаш. -1982.-Вып.94.-С.25-30.
2. Соколов В.А., Ерофеев Л.В., Дмитриевич Ю.В. Взаимодействие гидромолота с гидравлическим экскаватором// Сб.науч. тр./ ВНИИстройдормаш. -1982.-Вып.94.-С.19-24.
3. Шевчук С.П., Слиденко В.М., Листовщик Л.К. Пристрій для розробки міцного ґрунта або гірських порід. Патент України № 13788 . Бюл. № 4, 17.04. 2006 р.

ІМПУЛЬСНО-СТРУМИННИЙ МОДУЛЬ ГЕОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Бокало В.Я. (аспірант), Замараєва О.В. (аспірант) (НТУУ “КПІ”, м. Київ)

Вступ

Проблема інтенсифікації видобутку корисних копалин - вуглеводнів є актуальною і припускає збільшення одиничної потужності технологічного впливу за умови мінімізації енергетичних витрат та збільшення продуктивності нафтових свердловин.

Відомі способи інтенсифікації видобутку проведенням очищення привибійної зони від забруднюючих частинок застосуванням струминних апаратів та генераторів коливань тиску встановлених на поверхні в привибійній зоні. При цьому виникає проблема комбінованого застосування цих пристроїв у зв'язку з необхідністю затрати значного часу на посадку пакера, що необхідно для герметизації затрубного простору від насосно-компресорних труб.

З метою комплексної дії на привибійну зону нафтової свердловини Центром імпульсних конструкцій та технологій ІЕЕ НТУУ “КПІ” розроблено імпульсно-струминний модуль, який включає дворежимний струминний насос та мультиплікаторний генератор імпульсів (МГІ), який значно знижує вимоги до якості установки пакера, а в деяких випадках повністю виключає необхідність його застосування [1].

Результати аналітичних досліджень.

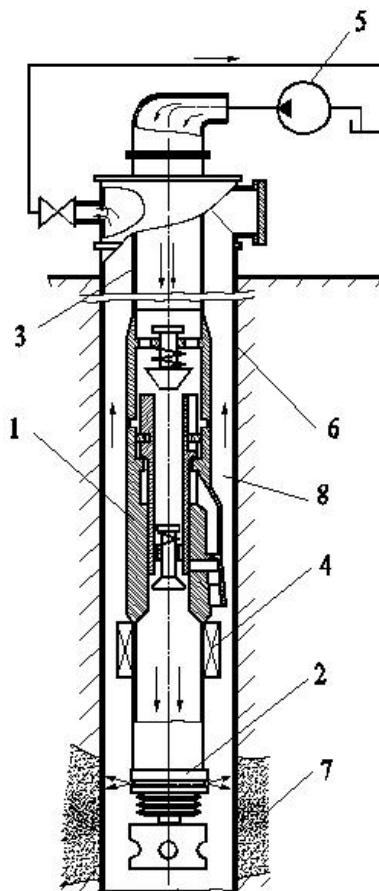


Рисунок 1 - Технологічна схема установки імпульсно-струминного модулю

Розроблено комплексну математичну модель процесу інжекції та мультиплікації тиску у відповідності до технологічної схеми (рис.1). На схемі показаний струминний апарат (1), мультиплікаторний генератор імпульсів (2), які встановлені на насосно-компресорних трубах (3). Між ними встановлюється пакер (4). Подача робочої рідини здійснюється від насосного агрегату (5) з поверхні. На початку процесу обробки свердловини струминний апарат пропускає робочу рідину на мультиплікаторний генератор імпульсів і проводиться струминна його репресійна дія через перфораційні отвори в обсадній колоні (6) на нафтовий пласт (7). Після закінчення репресійної обробки садять пакер (3), тимчасово піднімають тиск в затрубному просторі (8), тимчасовим перемиканням подачі насосного агрегату, через вентильну систему трубної апаратури на поверхні, в затрубний простір і цим перемикають струминний апарат в другий режим – режим депресії. Після цього проводиться депресійна обробка з очищенням привибійної зони від частинок, які утворюються в результаті попередньої репресійної обробки МГІ. Моделюванням встановлені закономірності розподілу раціональних параметрів струминного апарату та мультиплікаторного генератора імпульсів. Визначені раціональні геометричні параметри елементів конструкції струминного апарату: конфузора, сопла, приймальної камери та дифузора, а також параметри МГІ. Встановлені раціональні частоти коливань тиску за допомогою МГІ в межах 2...5 Гц при перепадах тиску 1,5...2 МПа.

Рациональна величина депресії за допомогою струминного апарату складає в середньому 5...10 МПа.

Результати експериментальних досліджень

Розроблена конструкція імпульсно-струминного модуля, яка пройшла промислову апробацію у відповідності з міжнародним договором з ЗАТ "Ренфорс" (Росія). Підтверджена ефективність модуля в складі геотехнічного комплексу "Імпульс РФ" при випробуваннях в умовах Єнорускінського родовища (НГВУ "ТатРИТЭКнефть").

На рис.2 наведені результати експериментальних досліджень модуля в процесі струминної дії з генерацією депресивних навантажень на колектор. Пристрій "манометр - термометр" автоматичної реєстрації тиску та температури встановлювався на колоні насосно-компресорних труб нижче модуля, в привибійній зоні. Отримані криві тиску 1 та температури 2 показують максимальну ефективність МГІ в зоні А (рис.1), в якій максимальні значення репресії склали 1,5 МПа з частотою близько 2 Гц, а максимальні значення депресії від роботи струминного апарату склали близько 7,5 МПа. (≈ 75 атм).

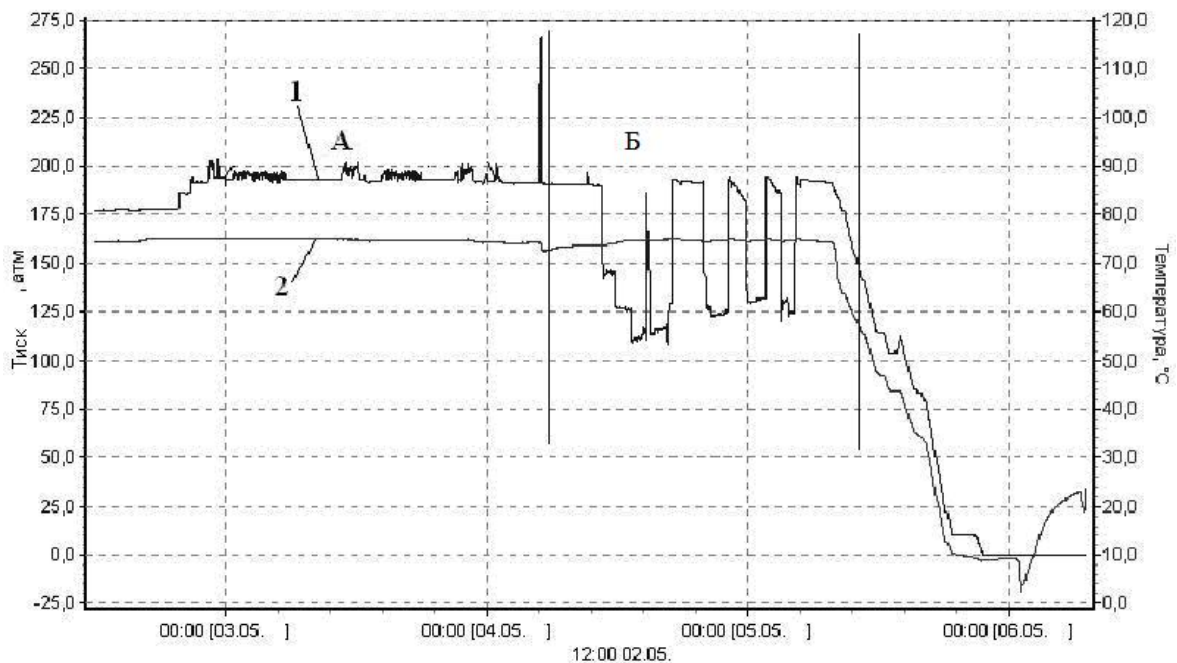


Рисунок 2 – Показання датчиків тиску (крива 1) та температури (крива 2) в привибійній зоні свердловини.

Висновки

Розроблений і впроваджений у виробництво імпульсно-струминний модуль. Моделюванням встановлені раціональні значення параметрів модуля, які підтвердженні прямими вимірюваннями в умовах експлуатації в складі геотехнічного комплексу "Імпульс РФ".

Найбільша ефективність в результаті роботи комплексу "Імпульс РФ" отримана при обробці свердловин, пробурених на пласти групи АВ, найменша - при обробці свердловин, пробурених на юрські залягання. При цьому середня ефективність обробки свердловин, які експлуатують залягання групи АВ, складала 12,9 т/добу, БВ - 10,7 т/добу, юрські залягання - 7,5 т/добу.

Література

1. Слиденко В.М., Листовщик Л.К., Богуслаев В.А. и др. Способ реагентно-импульсного воздействия на скважину и продуктивный пласт и установка на его осуществления./ Патент на изобретение в РФ №2275495 С1. Бюлетень №12, 27.04. 2006 г

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУХОГО ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ ЗА ТЕРТЯМ З СИЛОВИМ ВИДАЛЕННЯМ ПОРОДИ

*Шевчук С.П. д.т.н., проф., Поліщук В.О. ст.викл., Зайченко С.В. к.т.н., ст.викл.,
Киричук В.А. студент.*

В останні роки спостерігається тенденція зниження якості видобутого вугілля за рахунок збільшення зольності і ступеня подрібнення гірничої маси, тому реалізація ефективних методів сухого збагачення дрібних класів вугілля в умовах шахт особливо актуальна. Створення компактного і енергоємного обладнання машин для збагачення вугілля дозволить значно зменшити транспортні витрати при доставці на збагачувальні фабрики.

Серед методів сухого збагачення гірничої маси, яка складається з компонентів, що мають різні коефіцієнти тертя, слід відзначити метод сухого збагачення за тертям [1]. Запропоновані схеми методом збагачення за тертям з ряду причин не знайшли широкого застосування. Головним недоліком існуючих схем збагачення за тертям можливо вважати складність процесу взаємодії компонентів під час їх руху, і як наслідок, майже однакову траєкторію руху часток компонентів.

Для усунення даного недоліку авторами запропоновано нову схему сухого збагачення за тертям, яка передбачає силове відділення часток одного компоненту від іншого. Принцип роботи машини збагачення за тертям представлено на рисунку 1. При взаємодії частки діаметром d з валками діаметром D можливо два варіанти подальшого руху частки: перший – сил тертя μP буде недостатньо для подолання реакції нормальної складової дії валків на частку P , і вона буде ковзати по валкам; другий – сили тертя захватять частку і відбудеться її подрібнення. Характер взаємодії валків з часткою визначають геометричні і фізичні параметри частки і валків. Спроектуювавши на вісь OY сили, які діють на частку можливо знайти залежність між кутом захвату α і коефіцієнтом тертя μ для умов переходу ковзання в захват:

$$\begin{aligned} 2P \cdot \sin(\alpha / 2) - 2\mu P \cos(\alpha / 2) &= 0, \\ \operatorname{tg}(\alpha / 2) &= \mu. \end{aligned}$$

Для визначення коефіцієнту тертя іноді використовують тангенс кута між тангенціальною і нормальною складовою $\operatorname{tg}\varphi$. Підставивши значення для коефіцієнту тертя μ , отримаємо значення для кута захвату:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\alpha / 2) &= \operatorname{tg}\varphi \\ \alpha &= 2\varphi. \end{aligned} \tag{1}$$

З виразу (1) можливо зробити висновок, що при одних і тих самих геометричних параметрах взаємодії валків з гірничою масою частина матеріалу з більшим значенням кута тертя буде захоплюватись, а частина залишиться у зоні контакту. Даний ефект можливо застосувати при відділенні гірничої породи від вугілля, яке має коефіцієнт тертя у 2-3 рази менший ніж порода.

Також, розглянувши схему взаємодії частки гірничої маси з валком (рис. 1), можливо знайти зв'язок геометричних параметрів системи:

$$D = \frac{d \cdot \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \frac{s}{d} \right)}{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (2)$$

де s – відстань між валками.

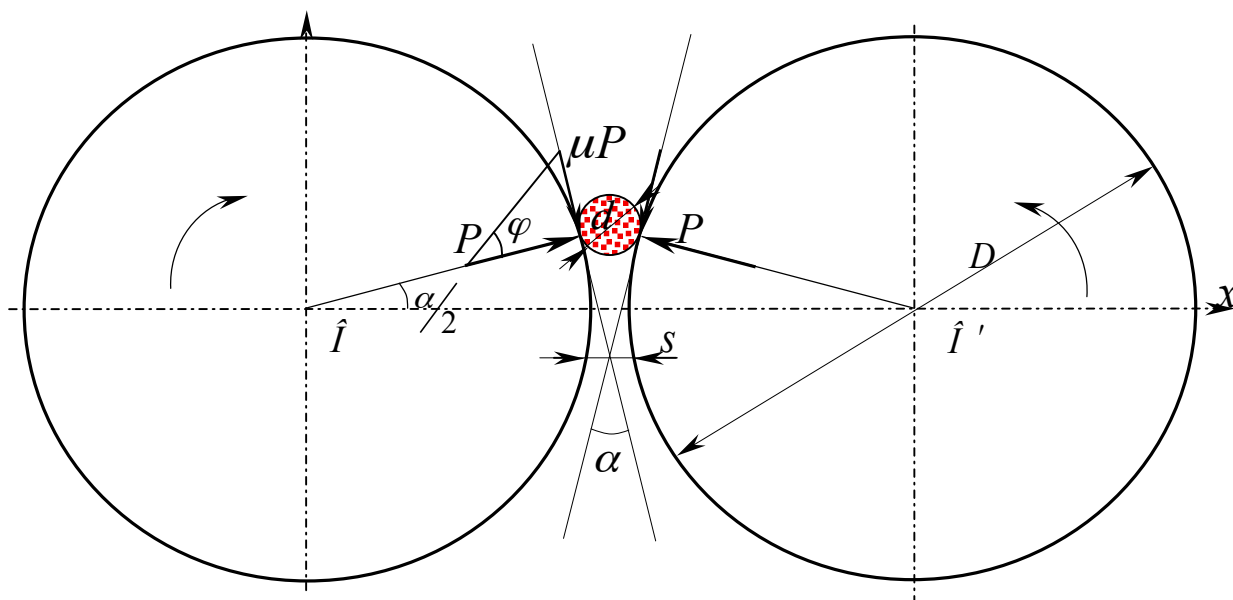


Рис. 1 Схема взаємодії частки з валками.

Зробивши аналіз виразу (2), можна прийти до висновку, що для різного діаметру частки d гірничої маси необхідно застосовувати валок різного діаметру D . Але таке рішення призводить до використання валків змінного радіусу (конічної форми), що призводить до високої металоємкості і складності конструкції збагачувальної машини, високих енерговитрат на подрібнення матеріалу.

З метою усунення даних недоліків авторами були проведені експериментальні дослідження збагачення за кутом тертя з силовим видаленням породи (рис. 2). Експериментальна установка містить в собі валки постійного діаметру з можливістю зміни міжосьової відстані і привід.

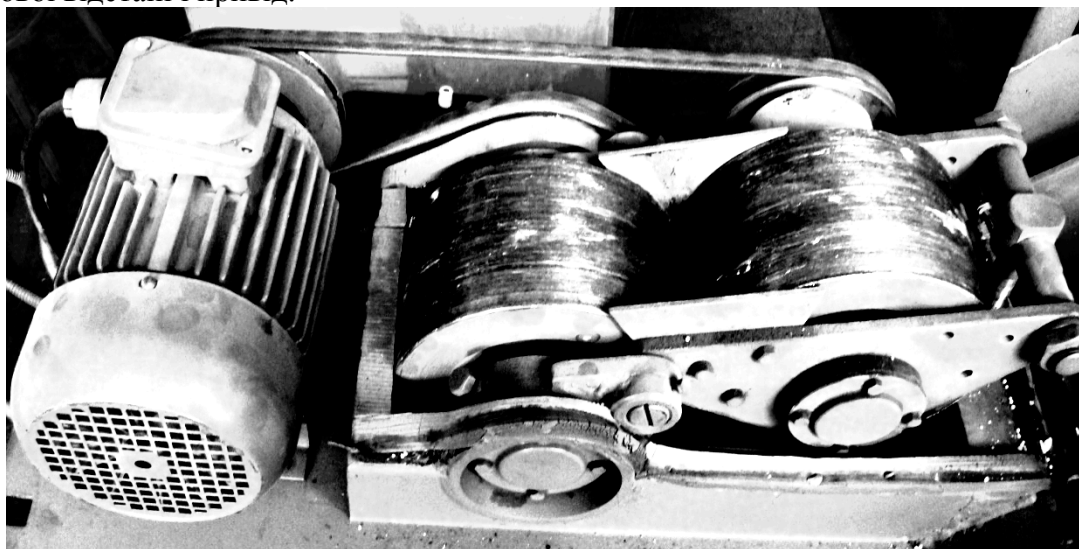


Рис. 2 Експериментальна установка сухого збагачення за тертям

Проведені дослідження підтвердили можливість збагачення за кутом тертя з силовим видаленням породи циліндричними валками і створення нової схеми машини (рис. 3). Важливою відмінністю нової машини є циліндричні валки 1, осі яких розташовані під кутом одна до одної. Це дозволить змінити відстань між валками S повздовж їх довжини і, як наслідок, дозволяє обробляти гірничу масу різних розмірів на одній машині. Зміна відстані між валками також зменшує ступінь подрібнення, що призводить до зменшення енерговитрат машини.

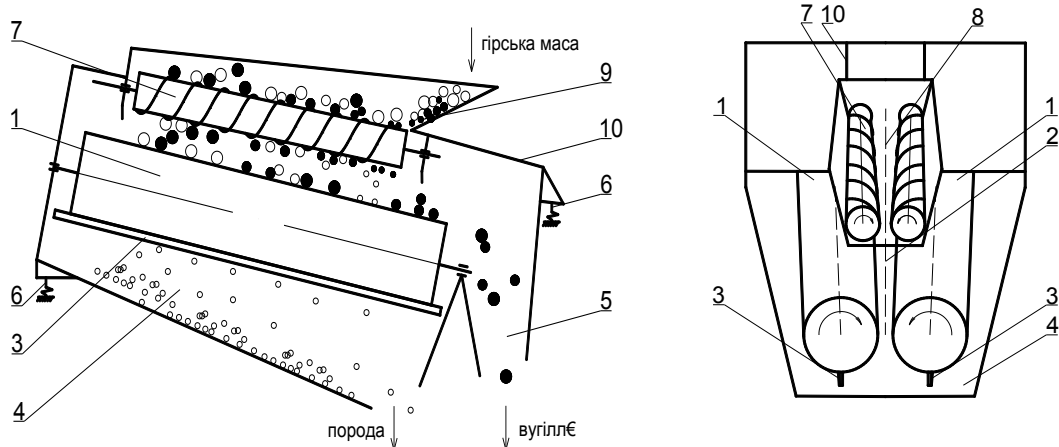


Рис. 3 Продольний перетин збагачувальної установки за тертям:

1 – валки; 2 – камера дроблення; 3 – очищувачі; 4,5 – спрямовуючі лотки; 6 – амортизатори; 7 – шнековий живильник; 8 – розвантажувальна щілина; 9 –бункер; 10 – корпус установки.

При аналізі роботи нової машини первинною задачею є встановлення енергосилових параметрів процесу взаємодії робочих органів з гірничою масою. Цьому питанню присвячені роботи П. Ріттингера, Кирпичова В.Л., Ф. Кіка, П.А. Ребіндера і Ф. Бонда, які встановили енергетичні витрати процесу подрібнення. Для створення нової машини необхідно також визначення сил реакції середовища на дію робочих органів.

При взаємодії валків з середовищем можливо застосувати принципи вирішення контактних задач взаємодії валків з середовищем, які використані в теорії прокату[2].

Більшість гірських порід мають зернисту структуру, причому міжкристалічне зчеплення значно менше міцності самих зерен. Деякі види вапняків і глини володіють пластичними властивостями. Їх руйнування при складному напруженому стані настає у випадку, коли найбільші дотичні напруження набувають значень, які відповідають межі міцності при зсуві [3]. Тому при визначенні сил реакції середовища на робочі органи машини доцільно використовувати в якості характеристики матеріалу міцність при зсуві τ_s .

При рішенні контактної задачі взаємодії валків з середовищем розглядаються умови рівноваги елементарного шару матеріалу, який знаходиться між валками. Дія верхнього шару матеріалу на виділений елемент має вираз $\sigma_y h_y$, де σ_y – середній нормальний тиск.

Дію нижнього шару матеріалу можливо представити у вигляді – $(\sigma_y + d\sigma_y)(h_y + dh_y)$.

Умова рівноваги елементу елементарного шару матеріалу товщиною dy визначається рівнянням:

$$\sum Y = (\sigma_y + d\sigma_y)(h_y + dh_y) - \sigma_y h_y - 2p_{\varphi, B_x} \tan \varphi dx + 2\tau_{\varphi, B_x} dy. \quad (3)$$

Рівняння (3) є вихідним для знаходження контактного тиску. Для його рішення припускають, що в контактній зоні між робочим органом і середовищем діють сили кулонівського тертя.

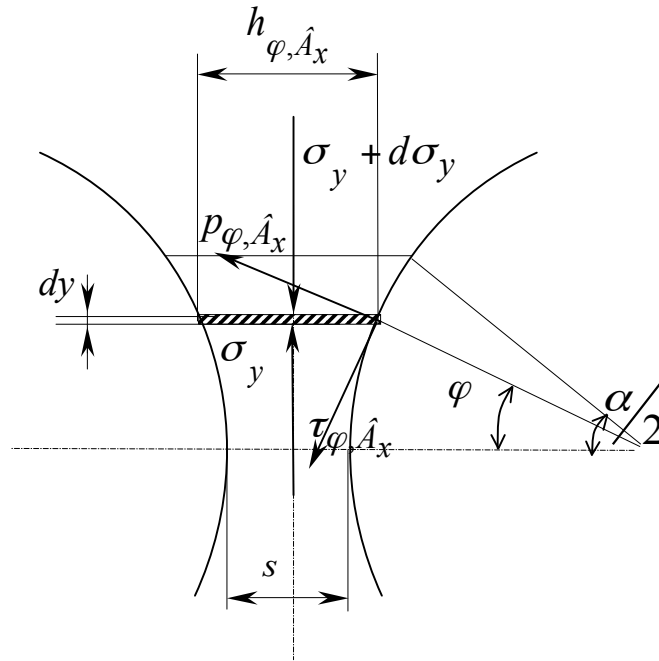


Рис. 4 Схема контактної взаємодії валка з середовищем

Результатом рішення диференційного рівняння (3) є встановлення розподілу нормального p_φ і дотичного тиску τ_φ по площі взаємодії валка з середовищем:

$$p(\varphi, B_x) = \frac{2\tau_s \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{4}\right)}{\mu} \left[\left(\frac{\mu}{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{4}\right)} - 1 \right) \left(\frac{s_1 + \frac{s_2 - s_1}{B} B_x + D(1 - \cos \frac{\alpha}{2})}{s_1 + \frac{s_2 - s_1}{B} B_x + D(1 - \cos \varphi)} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{4}\right)}} + 1 \right];$$

$$\tau(\varphi, B_x) = \mu p(\varphi, B_x),$$

де τ_s - міцність породи при зсуві;

μ - коефіцієнт тертя породи по металу;

s_1, s_2 - відстані між валками;

$\hat{A}$ - довжина валка;

$\hat{A}_x$ - координата точки повздовж валка;

φ - кутова координата на дузі взаємодії валка;

D - діаметр валка;

Графічно розподіл нормального тиску по площі взаємодії валка з середовищем для умов збагачення за тертям можливо представити на трьохмірному графіку (рис. 5). Аналіз зміни тиску по дузі взаємодії показує зменшення зростання нормального тиску, що може пояснюватись закінченням процесу подрібнення матеріалу раніше моменту кінця взаємодії породи з валком. Також відбувається зменшення нормального тиску поздовж валка, яке пов'язане збільшенням відстані між валками і, як наслідок, зменшенням ступені подрібнення гірничої породи.

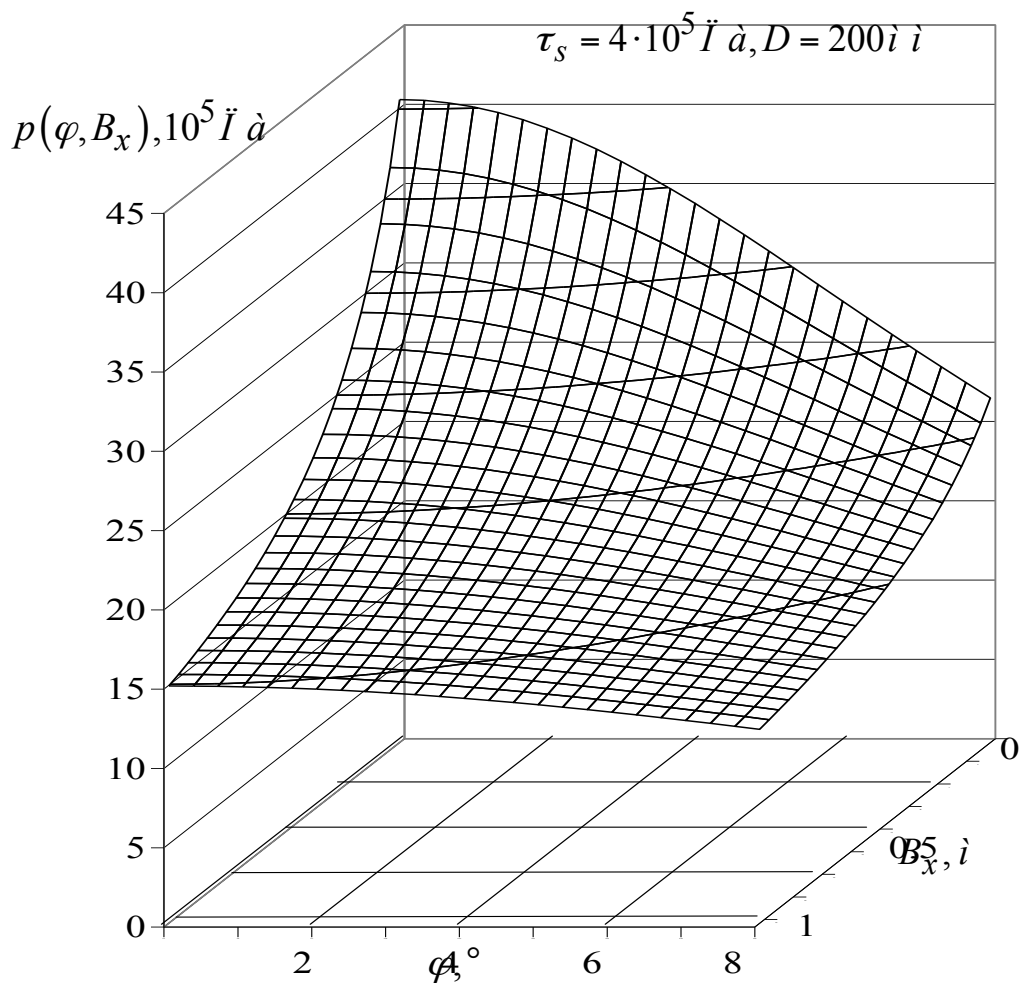


Рис 5 Розподіл нормального контактного тиску по площині контакту

Отримані залежності розподілу контактних тисків дозволять створити методику розрахунку головних конструктивних параметрів машини шляхом визначення сил і крутних моментів дії нормальних і дотичних контактних тисків гірничої породи на робочі органи збагачувальної машини.

Література

1. Самилін В., Білецький В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин. - Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. - 116 с.
2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 318 с.
3. Александров А. В. Сопротивление материалов : учебник / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин ; под ред. А. В. Александрова. – М. : Высшая шк., 1995. – 560 с. ; 2000. – 560 с.

АСИНХРОННІ ДВИГУНИ ІЗ МАСИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ МАГНІТОПРОВОДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАНУРЕНИХ СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСІВ

Попович О.М., канд. техн. наук., доцент

Головань І.В., канд. техн. наук., асистент

Кафедра ЕМО ЕВ, ІЕЕ, НТУУ «КПІ», м.Київ

Сучасний розвиток перетворювальної та обчислювальної техніки створює передумови для розширення області застосування спеціалізованих асинхронних машин та машин традиційної конструкції в спеціальних режимах. Застосування спеціалізованих асинхронних машин дозволяє максимально узгодити їх властивості з вимогами навантажувального механізму і забезпечити суттєве підвищення техніко-економічних показників проектуємих електромеханічних систем. Магнітопроводи даних машин часто мають масивні елементи, що забезпечує раціональне суміщення з навантажувальним механізмом (елементи конструкції якого є елементами конструкції асинхронного двигуна (АД) та ефективне формування потрібних механічних характеристик.

До асинхронних машин з масивними елементами магнітопроводу (МЕМ) відносяться АД з різними конструкціями масивних феромагнітних роторів. Дані ротори мають частотозалежні параметри і забезпечують високу добротність пуску. Вони ефективно використовуються в умовах частих та важких пусків, при параметричному регулюванні швидкості. Частотозалежність параметрів забезпечується завдяки нелінійності процесів, що пов'язані із наявністю вихрових струмів в МЕМ: із витісненням потоку на периферію магнітопроводу та змінною величиною втрат в ньому. Подібні процеси мають місце і в АД із зменшеною висотою спинки ярма ротора. Наприклад, в занурених АД приводу свердловинних насосів, в деяких типорозмірах двополюсних двигунів загальнопромислового призначення. Зменшення ярма ротора веде до проходження змінного магнітного потоку через вал, наведення в ньому вихрових струмів і їх участю в процесі електромеханічного перетворення енергії. Використання МЕМ АД дозволяє покращити їх техніко-економічні характеристики в умовах приводу механізмів із особливостями вимог до пускових і інших динамічних режимів, а також при розробці електромеханічних перетворювачів із урахуванням специфіки конкретних технологічних механізмів. Останнє є особливо ефективним при суміщенні в одному елементі конструкції функцій, як електромеханічного перетворювача, так і виконавчого органу механізму. Збільшення масштабів застосування АД з МЕМ повинно спиратись на досягнення в областях: розробки технологій створення ефективних електротехнічних матеріалів, які можуть виконувати функції провідників струму і магнітного потоку; конструювання механізмів з вбудованими (суміщеними) електромеханічними перетворювачами; вдосконалення та розробки математичних моделей та методик розрахунку АД з розподіленими струмами.

Техніко-економічні характеристики електромеханічної системи постачання рідини з свердловини можна суттєво покращити, якщо при проектуванні враховувати можливість збільшення обертів приводного валу насоса. При цьому, відповідно до законів пропорційності турбомашин, подача збільшується пропорційно обертам, а напір пропорційно їх квадрату. Позитивними наслідками збільшення частоти обертання валу приводного двигуна насоса є покращення його масо-габаритних показників, збільшення потужності, покращення врівноваженості ротора при збільшенні кількості полюсів в випадку живлення від джерела підвищеної частоти. До негативних наслідків підвищення частоти обертання

ротора АД зануреного свердловинного насоса відносяться збільшення втрат на тертя і зменшення надійності внаслідок прискореного зносу упорного підшипника. Дослідження можливостей зменшення впливу даних недоліків при застосуванні ротора АД із МЕМ повинно спиратися на достовірний математичний експеримент.

Розрахунок характеристик АД з МЕМ ротора ускладнюється специфікою процесів в ньому, зокрема, тривимірним розподілом магнітного поля, а саме: красивими ефектами, витісненням магнітного потоку з магнітопроводу вихровими струмами, нелінійністю параметрів та несинусоїдністю процесів. Найбільш точно таку задачу можна розв'язати методом кінцевих елементів (МКЕ) в тривимірній постановці. Але це потребує значних ресурсів обчислювальної техніки і в практиці проектування АД частіше використовується для тестування більш простих моделей. Навіть при використанні розрахунку магнітного поля МКЕ в двовимірній постановці задачі, безпосереднє визначення параметрів робочого режиму, за результатами розв'язання польової задачі, потребує великих витрат машинного часу, що пов'язано з великою кількістю ітерацій. Ефективність методів проектування можна суттєво покращити, якщо використовувати точні польові підходи для визначення залежностей зміни інтегральних параметрів АМ, і застосовувати їх при розрахунках режимів роботи. У зв'язку з чим, для створення ефективних конструкцій АД з МЕМ ротора та дослідження режимів їх роботи розроблена математична модель визначення параметрів ротора таких двигунів [1].

Розроблена математична модель визначення параметрів ротора АД з МЕМ враховує параметри магнітного поля в роторі по боковій, торцевій поверхнях, в лобових зонах і дозволяє отримати квазітривимірний розв'язок задачі, який враховує особливості складного тривимірного розподілу магнітного поля і не потребує додаткового уточнення. Дана модель дозволяє підвищити ефективність проектування АД з МЕМ ротора за рахунок достатньо точного визначення параметрів магнітного поля ротора МКЕ, мінімізації обсягу польових розрахунків завдяки аналізу лише області ротора (параметри поля серійного статора АД із потрібною точністю визначаються традиційними методами) і мінімізації їх кількості при визначенні нелінійних залежностей зміни параметрів ротора для подальшого їх використання при розрахунках параметрів експлуатаційних режимів АД коловими методами.

Визначення параметрів АД з МЕМ ротора, зокрема з масивним феромагнітним ротором (МФР), виконується при застосуванні математичної моделі, в якій всі процеси в роторі, в тому числі і в масивному магнітопроводі з розподіленими вихровими струмами еквівалентуються процесами в еквівалентних контурах струмів з зосередженими параметрами. Умовами еквівалентування є рівність втрат активної енергії та енергії магнітного поля при однаковій величині магнітного потоку взаємної індуктивності статор-ротор та частоти.

Врахування нелінійних властивостей параметрів АД з МЕМ ротора здійснено за рахунок визначення їх функціональної залежності, при кожному значенні ковзання, від незалежних змінних. Параметри по основному полю є функціями коефіцієнту насичення магнітного поля, що залежить від сумарної МРС машини. Параметри статора можуть визначатись за допомогою відомих методик. Активний опір та індуктивність розсіювання роторного контуру, при фіксованому ковзанні, також залежить від сумарної МРС машини. Розрахунок параметрів магнітного кола, при наявності двох шляхів потоку взаємної індуктивності (по торцям та боковій поверхні), здійснюється при умові їх паралельного з'єднання, тобто, при однакових значеннях падіння магнітного потенціалу на цих ділянках. Для визначення параметрів еквівалентних контурів ротора з МЕМ при розв'язанні польової задачі в квазітривимірній постановці проводиться узгодження сформованих залежностей параметрів, що отримані без урахування взаємного впливу один на одного процесів в боковій, торцевій поверхнях та лобовій зоні.

Застосований алгоритм [1] дозволяє визначати параметри машини при квазітривимірному аналізі електромагнітного поля (ЕМП) з урахуванням особливостей співвідношення конструктивних параметрів машини і її робочих режимів. Особливості даного підходу розглянуто при порівнянні результатів розрахунку з його використанням і при врахуванні лобових параметрів масивного ротора за допомогою лобових коефіцієнтів [2].

Так, в разі відсутності торцевого, мідного короткозамикаючого кільця, наведені струми в масивному феромагнітному роторі в торцевій його частині замикаються по шляхам з відносно великим питомим електричним опором. В результаті чого еквівалентний опір ротора може значно зрости, що призведе відповідно до зменшення потужності, яка передається ротору. Підхід [2], який ґрунтується на збільшенні величини опору відповідно до лобового коефіцієнту, який визначається як відношення полюсного поділу до довжини осердя ротора, є справедливим в разі слабкого проникнення електромагнітного поля в глиб масиву ротора, що відповідає пускові двигуна. В робочих режимах необхідно враховувати реальний розподіл струмів по глибині масиву ротора. Квазітривимірний аналіз ЕМП дає можливість, при визначенні коефіцієнта збільшення опору, врахувати співвідношення струмів в торцевій частині ротора за продольним та поперечним напрямками в залежності від глибини проникнення ЕМП, що особливо важливо при визначенні даного параметру при різних ковзаннях ротора.

В результаті проведення чисельного експерименту розрахунку по визначенню параметрів ротора і робочого режиму асинхронного двигуна з гладким масивним феромагнітним ротором, розбіжність розрахункових (при застосуванні квазітримірного аналізу ЕМП) і експериментальних даних по параметрам робочого режиму не перевищує 5%. Застосування лобового коефіцієнту, який отримано по відомим співвідношенням [2], призводить до завищення опору ротора на 25% і, як наслідок, збільшення похибки визначення параметрів робочого режиму до 20%.

Дослідимо можливості зміни конструктивного облаштування АД зануреного свердловинного насоса, при яких буде забезпечено його надійну роботу при великих швидкостях. Для цього створимо в робочому режимі осьову силу, що компенсує вагу ротора і зменшує знос упорного підшипника завдяки заміні сталої величини повітряного проміжку змінною, вздовж осі насоса, при якій з'являється осьова складова сили електромагнітного тяжіння між статором і ротором.

При завданні пилкоподібної залежності зміни діаметрів статора і ротора в осьовому напрямку прийемо, що мінімальна відстань між статором і ротором в радіальному напрямку дорівнює величині повітряного проміжку серійного АД δ , а максимальний діаметр ротора дорівнює мінімальному діаметру статора. При цьому, повітряний проміжок в осьовому напрямку періодично змінюється, цей період поділяється на «робочу» і «неробочу» частини: з малою і великою відстанню між пакетами статора і ротора, з довжинами $k_p \delta$; $k_n \delta$.

Залежності зміни в осьовому напрямку внутрішнього діаметру статора і зовнішнього діаметру ротора визначаються виразами:

$$D_s(x) = D_i + 2x/k_p - 2\delta(1 + k_n/k_p) \cdot \text{fix}(x/(\delta(k_p + k_n)));$$

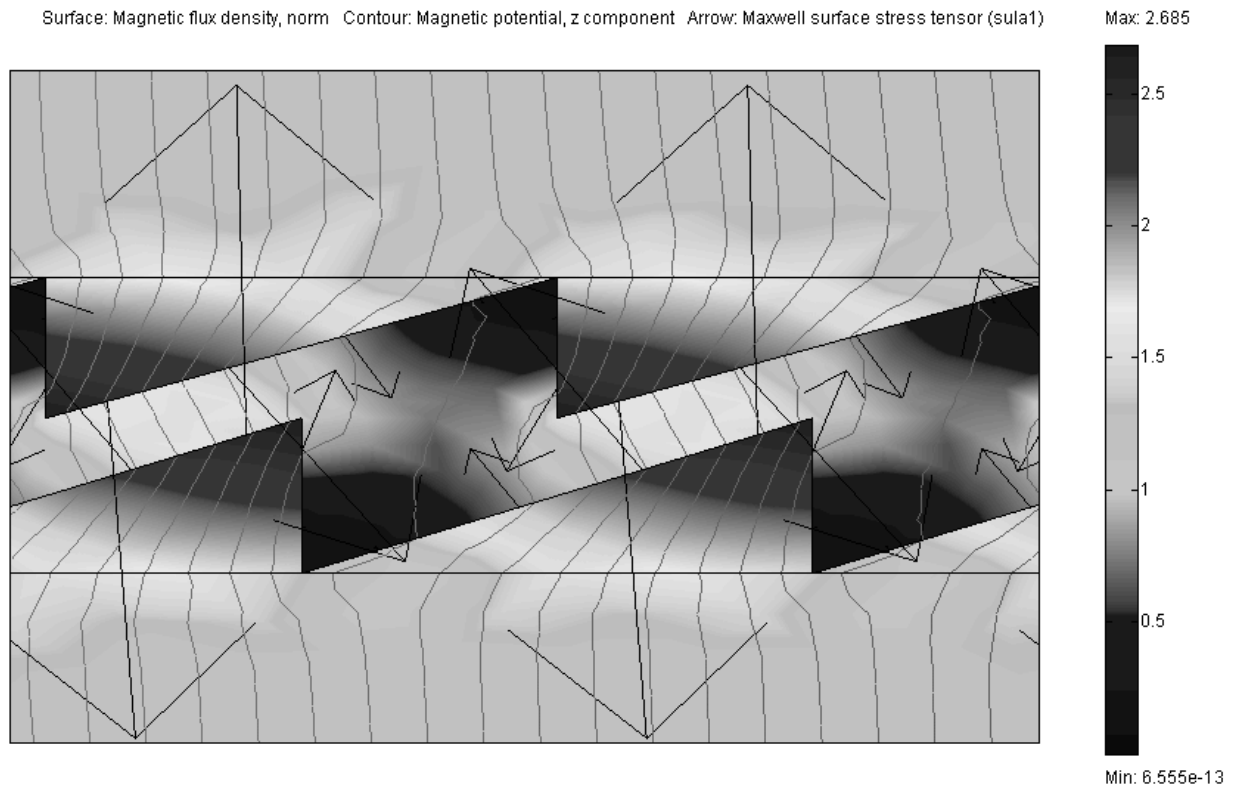
$$D_r(x) = D_i + 2(x + k_n \delta)/k_p - 2\delta(1 + k_n/k_p) [1 + \text{fix}((x + k_n \delta)/(\delta(k_p + k_n)))],$$

де fix – функція визначення цілої частки; D_i – діаметр розточки статора серійного АД; x – координата вздовж осі машини.

Дослідження осьової сили при варіюванні величинами k_p , k_n здійснено при чисельному розрахунку характеристик електромагнітного поля методом кінцевих елементів в площині, яка проходить крізь вісь машини і зубці статора і ротора. Розрахункова модель в цій площині має ділянку магнітопроводу з нескінченно великою магнітною проникністю, яка з'єднує діаметрально протилежні ділянки ярма статора і охоплена обмоткою із струмом. Величина даного струму обиралась із умови отримання номінальної індукції в повітряному проміжку, розміри якого, рівно як розміри і характеристики матеріалу магнітопроводу відповідають базовому серійному АД. В результаті розв'язку цієї задачі було визначено індукцію в повітряному проміжку і, за величиною тензора магнітного натягу, радіальні електромагнітні сили. Їх величина відповідає максимуму цих сил при розрахунках двовимірного поля в площині перпендикулярній осі серійного базового АД при розрахунках номінального режиму. При цьому осьові сили були відсутні.

При корегуванні повітряного проміжку відповідно до наведених вище виразів і величинах $k_p = 2$; $k_n = 2$, без зміни величини збуджуючого струму, отримано характеристики електромагнітного поля при яких магнітний потік машини залишився практично незмінним, величина радіальної сили зменшилась на 14% і з'явилась осьова сила величиною 16% від номінальної радіальної сили. Приклад розв'язку такої польової задачі наведено на рисунку, де показано ізолінії векторного магнітного потенціалу, вектори тензору магнітного натягу (зображено стрілками). Більша інтенсивність сірого кольору на ділянках магнітопроводу вказує на більший рівень індукції, на ділянках повітряного проміжку – навпаки (це обумовлено чорно-білою інтерпретацією кольорової ілюстрації).

Отримані результати свідчать, що при використанні викладеного алгоритму досліджень можна визначити конфігурацію повітряного проміжку, яка забезпечить незмінну величину основного потоку і, відповідно, електромагнітного моменту АД, при перерозподілі електромагнітних зусиль з радіального на осьовий напрям. При цьому створена осьова сила компенсує вагу ротора і зменшує навантаження на упорний підшипник. Збереження незмінної величини магнітного потоку при виникненні «неробочої» частини повітряного проміжку пояснюється зменшенням немагнітного проміжку (нормально до поверхонь статора і ротора) в «робочий» частині. Збільшення насичення прилеглих частин магнітопроводу не вплинуло на збільшення магнітного опору внаслідок їх локального характеру.



Бібліографічний список

1. Попович О.М., Головань І.В. Врахування масивних елементів магнітопроводу при проектуванні асинхронних машин/ Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб.наук.праць. –2008. – Вип.21. – с. 36-46.
2. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. М.: Энергия, 1979. - 158с.

МНОГОСЛОЙНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Лебедев Л.Н., к.т.н., доц., Дубовик В.Г., ст.пр.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», кафедра автоматизации управления электротехническими комплексами, ИЕЕ, НТУУ «КПИ», ул. Борщаговская, 115, корп. 22, г. Киев, 03056, Украина.

The level of quality diagnostics, monitoring, adjusting and providing of safety of local objects is promoted by the use of informative lines, multi-layered informative fields and expansion of sign space.

Keywords: informative lines, informative fields, monitoring, diagnostics, providing of safety.

Электрооборудование технологических линий допускает кратковременное превышение номинальных значений контролируемых параметров, например при пуске электродвигателей. Допустимое время работы электрооборудования с перегрузкой зависит от уровня перегрузок. Допустимое время работы персонала с вредными и опасными для человека факторами - вибрацией, шумом, электромагнитными излучениями также зависит от их уровня.

Работа электрооборудования с токами, превышающими номинальное значение

Для электродвигателей, трансформаторов, кабелей, расцепителей устройств автоматического отключения в зоне токов перегрузки сигнал на срабатывание выдается с обратной зависимостью от тока выдержкой времени (чем больше ток, тем меньше выдержка времени на отключение). Согласно [Л.1] характеристические кривые устройств защиты определяются с помощью следующей формулы $t = K / [(G / G_B)^\alpha - 1]$, где t - теоретическое время срабатывания устройства защиты, K - постоянная, характеризующая устройство защиты, G - значение характеристической величины, G_B - базовое значение характеристической величины, α - индекс, характеризующий алгебраическую функцию.

Работа персонала с предельно допустимыми значениями вибрации

Суммарное время контакта персонала с вибрацией в течение рабочей смены согласно [Л.2] устанавливается в зависимости от величины превышения гигиенических норм.

Превышение допустимых уровней локальной вибрации		Допустимое суммарное время воздействия локальной вибрации за смену, мин
дБ	во сколько раз	
0	1	480
3	1,4	240
6	2	120
9	2,8	60
12	4	30

Работа персонала с предельными значениями звукового давления и уровней звука

Допустимая длительность воздействия нормируемых показателей шума согласно [Л.3] снижается при увеличении уровня превышения нормируемых величин.

Суммарная длительность воздействия за смену (рабочий день)	Характер шума	
	широкополосный	тональный или импульсный
От 4 до 8 ч	0	- 5
От 1 до 4 ч	+ 6	+ 1
От 1/4 до 1 ч	+ 12	+ 7
От 5/4 до 15 мин.	+ 18	+ 13
Менее 5 мин.	+ 24	+19

Работа персонала с предельно допустимыми ЭМИ РЧ и СВЧ

Предельно допустимые уровни напряженности электрической ($E_{пду}$) и магнитной ($H_{пду}$) составляющих в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц определяются интенсивностью ЭМИ РЧ и временем воздействия на человека. Время работы с предельными значениями ЭМП систем сотовой радиосвязи в соответствии с [Л.4] в рабочем диапазоне частот (300МГц – 3 ГГц) определяется средним значением плотности потока энергии (ППЭ). График предельно допустимых значений ППЭ в зависимости от времени контакта с источником ЭМП в условиях профессионального воздействия рис.1 имеет вид характерный для всех перечисленных выше объектов и воздействующих факторов.

Таким образом, существует целый ряд объектов и воздействующих факторов время работы с превышением номинальных значений которых уменьшается при увеличении уровня превышения и может изменяться в широких пределах. Чем больше превышение, тем меньше допустимое время работы с таким превышением.

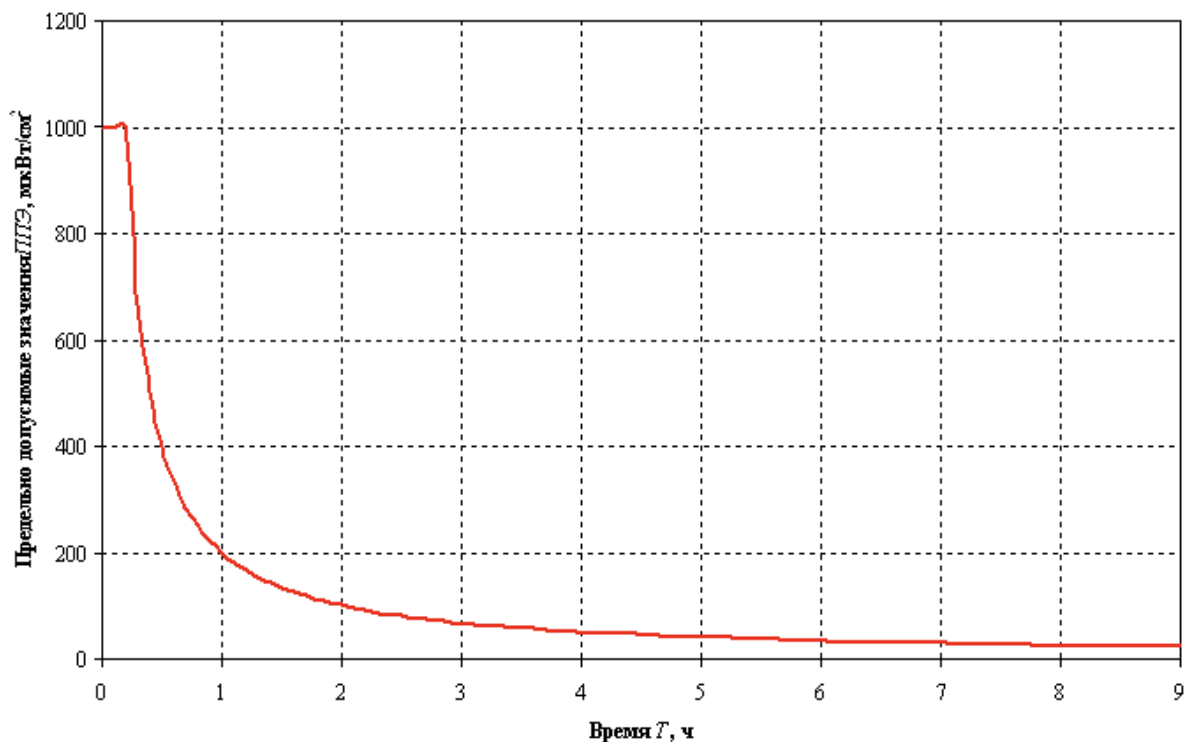


Рис. 1. Предельно допустимое значение ППЗ в зависимости от времени контакта с источником ЭМП в условиях профессионального воздействия

При переменном характере нагрузки или экспозиции воздействующих факторов возникают сложности с определением допустимого времени работы. Покажем это на наиболее характерном примере - электроприводе с переменным характером нагрузки. Счет времени при 5...7 кратных, по сравнению с номинальными токами, допустимых перегрузках асинхронных электродвигателей в пусковых режимах идет на секунды, при 1,05...1,15 кратных - на часы. При переменном характере токов нагрузки ориентироваться можно только на эквивалентные величины. Так как критичной величиной для электродвигателя является температура его обмоток, то контролируют эквивалентные по тепловым потерям в электродвигателе токи. Если определять эквивалентные токи на интервалах порядка нескольких секунд или десятков секунд, то невозможно выявить недопустимые незначительные длительные перегрузки. Если определять эквивалентные токи на интервалах порядка нескольких десятков минут, то невозможно выявить недопустимые кратковременные перегрузки от пусковых токов или токов короткого замыкания. При переменном характере воздействия или нагрузки существующие средства контроля неэффективны. Для исключения аварийных ситуаций следует контролировать эквивалентные величины во всем диапазоне времен превышений.

Целью работы является повышение уровня качества мониторинга, диагностики, распознавания, регулирования и обеспечения безопасности объектов при переменном характере нагрузки или уровне воздействия путем использования информационных линий, информационных полей и расширения признакового информационного пространства.

Информационные линии

Под информационными линиями понимают временные ряды составляющих информативных сигналов, содержащие частичные суммы первых m - членов временного ряда, где $m = 0, 1, 2, \dots, M$, расположенные в порядке возрастания количества слагаемых частичных сумм.

Информационные поля

Траекториями движения информационных линий являются информационные поля. Располагают информационные поля в ортогональных осях. По оси ординат направляют информационные линии - ряды с нарастающим количеством слагаемых частичных сумм характеристических признаков временных рядов информативных сигналов (столбцы), по оси абсцисс – ряды с одинаковым количеством слагаемых частичных сумм характеристических признаков временных рядов информативных сигналов (строки).

Таким образом, информационное поле формируют из строк и столбцов. Один столбец информационного поля представляет собой прогнозное значение информационной линии, а остальные - её предысторию. Каждая строка содержит одно прогнозное значение информационной точки временного ряда с определенным количеством слагаемых частичных сумм и её предысторию.

В моно информационных системах, использующих только один информативный сигнал, информационное поле может быть как однослойным, так и многослойным. Многослойным поле становится, если для расширения признакового пространства используют дополнительные характеристические признаки, порядки производных, порядки составляющих.

В мульти информационных системах используют несколько сигналов первичной информации общей и (или) отдельной для иерархической подсистемы, системы и надсистемы контролируемого объекта, поэтому набор информационных полей может быть только многослойным.

Производные составляющих информативных сигналов информационных полей по ортогональным осям и диагоналям

Производные (скорость, ускорение, рывок, ощущение и т.д.) находят по направлениям ортогональных осей и по “диагоналям” нормализованного информационного поля. Для нормализации элементы информационного поля делят на количество слагаемых их частичных сумм равное номеру строк.

Производные по оси абсцисс (по строкам поля) характеризуют динамику изменения информационных точек в строках информационного поля.

Производные по оси ординат характеризуют динамику изменения информационных линий.

Производные по “диагоналям” характеризуют локальную неоднородность признакового пространства.

Пакеты полей составляющих информативных сигналов информационных полей

Набор полей (пакет) для каждого характеристического признака временного ряда информативного сигнала включает в себя поле характеристического признака временного ряда информативного сигнала, поля производных по ортогональным осям и “диагоналям”, пакеты полей порядков составляющих. Пакет может быть полным или усеченным. Усеченным считается пакет, в котором отсутствуют производные по одной или обоим осям и диагоналям.

Наборы пакетов составляющих информативных сигналов информационных полей

В наборы включают полные и (или) усеченные пакеты полей характеристических признаков временных рядов информативных сигналов, имеющие корреляционную связь с контролируемыми параметрами объектов.

Сечения многослойных информационных полей локальных объектов

Для мониторинга, диагностики, управления, распознавания и обеспечения безопасности объектов используют сечения информационных полей вдоль оси ординат.

Сечения многослойных информационных полей представляют собой матрицы с набором пакетов информационных линий характеристических признаков временных рядов

информативных сигналов, порядков производных и порядков составляющих. Одно сечение является прогнозным, все остальные сечения составляют его предысторию.

Способы работы с информационными полями

Для работы с информационными полями пригодны способы контрольных карт, евклидова расстояния, коэффициентов Борда, масок, визуализации, нейронных сетей и др. Например, для экспресс диагностики резонансных явлений в механической части локального объекта используется метод визуализации полей локальных неоднородностей признакового пространства. Диапазон и величина резонансных явлений определяется визуально с помощью полосы прокрутки поля на экране ПК.

Выводы

Информационные поля являются универсальным источником информации для подсистем, систем и надсистем локальных объектов.

Часть информации, например, производные тока электродвигателя по оси абсцисс могут использоваться для систем авторегулирования электроприводов локальных объектов.

Часть, например, поля локальной неоднородности признакового пространства - для диагностики состояния механической части локального объекта и электродвигателя.

Часть – для обучения, прогнозирования, распознавания ситуации в технологической цепи объекта и выработки управляющего воздействия с целью предотвращения аварийной ситуации или необоснованного останова всей технологической линии.

Информационные линии могут использоваться, для определения времени допустимого превышения тепловой, вибрационной, звуковой, радиационной нагрузки во всем диапазоне возможных превышений при переменном характере воздействия.

1. ГОСТ 27918-88 «Реле измерительные с одной входной воздействующей величиной с зависимой выдержкой времени».

2. СанПиН 2.2.2.540-96. «Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ».

3. ГОСТ 12.1.0003-83. «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности».

4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055.96. «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».

НИЗЬКОШВИДКІСНІ ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ КОНВЕРСІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ

А.А. Желтоножко, докт. техн. наук (ДержНДІХП, А.Л. Ган, магістр, (НТУУ "КПІ"), Косенко Т.В .ас. (НТУУ "КПІ").

В Україні розвідано близько 300 родовищ декоративного каменю, які представлені переважно високоміцними породами: гранітами, лабрадоритами, андезитами, габро та ін. [1]. Декоративний камінь широко використовується в різноманітних галузях народного господарства – архітектурі, будівництві, художньому промислі здебільшого у вигляді пластинчастих виробів. В зв'язку з цим особлива увага у каменерізанні звертається на вихідну міцність відділених від масиву блоків, оскільки вона визначає процент втрат сировини через природні та набуті при видобуванні дефекти блочної продукції.

В Україні для відділення блочного каменю від масиву застосовується ряд невибухових та вибухових технологій. В останніх найчастіше застосовують димний порох, що має значну чутливість до теплових і механічних впливів, а також високу гігроскопічність, яка ускладнює його використання.

За кордоном і частково в Україні на сучасних кам'яних кар'єрах використовуються пластикові зарядні трубки (К - заряди) фінської фірми „Форсіт” [3]. Але вибухова суміш в К - зарядах на основі аміачної селітри з нітроефірами відрізняється недостатньою водостійкістю, що не дозволяє їх експлуатацію в обводнених умовах. Крім того, склад вибухової суміші в К - трубці передбачає застосування дефіцитної модифікації кремнезему, що негативно позначається на економічній стороні застосування К-зарядів.

Заряди такого ж типу розроблено в Швеції („Гурит-А”). Однак вони мають порівняно високу швидкість детонації (близько 4000 м/с), що супроводжується підвищеними параметрами ударної хвилі на межі з породою і перешкоджає м'якому відділенню блоку від масиву [3].

В Росії Ленінградським гірничим інститутом у співробітництві з СКТБ “Технолог” були вперше створені для робіт на блочних кар'єрах трубчасті заряди типу “Гранилен”, які є аналогом закордонних зразків [3].

В останні роки в Україні також ведуться пошуки можливості створення власних ефективних способів вибухового відділення блоків, які б виключили застосування небезпечних ВР – нітроефірів.

Встановлено, що для ефективного відділення блочного каменю від масиву вибуховий матеріал повинен мати швидкість детонації від 1800 м/с до 2300 м/с при критичному діаметрі детонації не більше 30мм. В наших дослідженнях при розробці низькошвидкісних вибухових сумішей в їх рецептурі використовуються замість нітроефірів домішок потужних конверсійних речовин. В роботі викладено результати досліджень ефективності сумішей, за складову яких прийнято домішку однієї з утилізованих ВР (табл. 1, 2). При розгляді характеристик досліджуваних утилізованих ВР – МС, А-ІХ-1, А-ІХ-2 та амотолу (табл. 3) видно, що при відносно малому критичному діаметрі цих ВР швидкість детонації від 4700 і понад 5000 м/с, тобто вибухові складові в чистому вигляді з такою швидкістю детонації непридатні для м'якого відбивання блочного каменю. Оскільки недоліком утилізованих ВР є велика кількість газів, що утворюється при вибуху, в тому числі токсичних, добір компонентів мав враховувати і екологічний фактор.

Досліджено основні характеристики гіпотетичних рецептур сумішевих вибухових речовин на основі перхлорату калію з додаванням утилізованих вибухових матеріалів, що містять гексоген, а також амотолу. В якості каталізаторів розкладу KClO_4 вибрані двоокис титану TiO_2 і азотнокислий

Таблиця 1 Компонентний склад досліджених сумішевих ВР на основі утилізованих ВР

Найменування компонентів	Номери та склад зразків сумішевих ВР										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перхлорат калію	88,0	91,0	89,0	82,0	83,0	89,0	87,0	93,0	86,0	87,0	85,0
А-ІХ-1	-	-	5,0	8,0	10,0	-	-	-	-	-	-
А-ІХ-2	-	-	-	-	-	5	8	-	-	-	-
МС	-	-	-	-	-	-	-	5	8	-	-
Амотол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10
Барій азотнокислий	5,0	5,0	-	3,0	4,0	3,0	3,0	-	3,0	3,0	3,0
Двоокис титану	4,0	-	3,0	3,0	3,0	-	2,0	2,0	-	-	2,0
Дизельне пальне	3,0	4,0	3,0	4,0	-	3,0	-	-	3,0	3,0	-

Таблиця 2 Хімічний склад сумішевих ВР на основі утилізованих ВР

Найменування компонентів	Номери та склад зразків сумішевих ВР										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перхлорат калію KClO_4	88,0	91,0	89,0	82,0	83,0	89,0	87,0	93,0	86,0	87,0	85,0
Гексоген $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	-	-	5,0	8,0	10,0	3,8	6,1	2,9	4,6	-	-
Тротил $\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$	-	-	-	-	-	-	-	0,9	1,5	1,4	2,0
Алюміній Al	-	-	-	-	-	1,0	1,6	0,9	1,4	-	-
Церезин C_7H_{16}	-	-	-	-	-	0,2	0,3	0,3	0,5	-	-
Аміачна селітра NH_4NO_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	8,0
Барій азотнокислий $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	5,0	5,0	-	3,0	4,0	3,0	3,0	-	3,0	3,0	3,0
Двоокис титану TiO_2	4,0	-	3,0	3,0	3,0	-	2,0	2,0	-	-	2,0
Дизельне пальне $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	3,0	4,0	3,0	4,0	-	3,0	-	-	3,0	3,0	-

барій $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. В якості допоміжного пального та для поліпшення органолептичних властивостей, а також зменшення злежування в склад доцільно додавати дизельне паливо.

Таблиця 3 Характеристики досліджуваних утилізованих ВР

Характеристики	МС	А-ІХ-1	А-ІХ-2	Амотол
Критичний діаметр, мм	15-20	20	20	40-50
Швидкість детонації, м/с	5400	6000	5800	4700

Для обраних рецептур виконано термодинамічні розрахунки за методом Авакяна, який дозволяє визначити теоретично енергетичні і вибухові характеристики ВР: теплоту вибуху, температуру, об'єм газів при вибуху, кисневий баланс, детонаційний тиск, швидкість детонації, працездатність та ін. [6] з метою попередньої їх енергетичної оцінки (табл. 4). В таблиці також наведено визначені експериментально методом конуса з кутом розкриття 5° значення критичного діаметра та визначені на зарядах діаметром 52мм значення швидкості детонації сумішей. Узагальнюючи ці дані, можна відзначити, що для сумішей на основі А-ІХ-І критичний діаметр змінюється в межах $24 \div 30$ мм при швидкості детонації $1920 \div 1970$ м/с, на основі А-ІХ-2 $d_{кр} = 26 \div 28$ мм, $D = 1950 \div 1980$ м/с, для сумішей на основі МС $d_{кр} = 19 \div 21$ мм, $D = 2630 \div 2810$ м/с. Таким чином, експериментальні результати досліджень вимірювання свідчать про досягнення поставленої в дослідженнях мети – отримання низькошвидкісних вибухових сумішей, що не вміщують нітроефіри, з прийнятним критичним діаметром, що відповідає вимогам технології відділення блочного каменю системою шпурових зарядів, або свердловинних зарядів малого діаметра.

З метою визначення кількості газів, що виділяються при підіриванні зразків сумішевих ВР № 1-11 були проведені розрахунки з використанням багатоцільової програми „Астра” – „Моделювання хімічних та фазових рівноваг при високих температурах”.

Програма „Астра” призначена для визначення характеристик рівноваги, фазового та хімічного складу різних систем. В основу програми покладено універсальний термодинамічний метод визначення характеристик рівноваги гетерогенних систем, які засновані на фундаментальному принципі максимуму ентропії. Програма дозволяє провести розрахунки кількості та складу утворених газоподібних продуктів згорання (з надлишком окислювача) з використанням вищих валентностей елементів та гетерогенних середовищ за фронтом ударної хвилі. Результати розрахунків наведено у таблиці 5.

З табл. 4 видно, що всі зразки мають позитивний кисневий баланс, що обумовлено достатньо високим вмістом перхлорату калію. З аналізу термодинамічних розрахунків можна зробити висновок, що вимоги до швидкості детонації та енергетичних характеристик може задовольнити рецептура на основі перхлорату калію з домішками каталізаторів розкладу та пального. Однак дана суміш може мати велике значення критичного діаметру детонації і потребує потужного імпульсу для підіривання [4]. Тому введення в склад вибухової суміші утилізованих вибухових матеріалів А-ІХ-1, А-ІХ-2, МС або амотолу дозволить поліпшити умови її ініціювання при зменшеному критичному діаметрі.

Згідно з термодинамічними розрахунками найбільш оптимальною серед досліджених низькошвидкісних сумішевих ВР є рецептури на основі суміші утилізованих вибухових матеріалів та окислювача – перхлорату калію з домішками, тобто: утилізована ВР (А-ІХ-1 або А-ІХ-2) – 8-10%; перхлорат калію – 83-88%; каталізатори розкладу перхлорату калію – до 6%.

Аналіз даних таблиці 5 показує, що при вибуху сумішевих ВР виділяється багато кисню, оскільки кисневий баланс ВР позитивний. Із нетоксичних газів виділяються пара води, двоокис вуглецю, водень та азот, які є складовими атмосферного повітря. У зразках №5 та №7 вміст токсичного газу – оксиду вуглецю (СО) при вибуху не більше 1 моль/кг, що забезпечується відповідним кисневим балансом ВР. У газових продуктах також присутня невелика кількість оксиду азоту (NO) – до 0,5 моль/кг і менше.

Таблиця 4 Термодинамічні характеристики вибухових сумішей

Найменування характеристики	Номери зразків та їх характеристики										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кисневий баланс, %	31,8	29,7	28,2	23,2	36,1	28,5	37,3	41,8	25,2	30,7	40,3
Теплота вибуху, кДж/кг	1027	1368	1795	2595	1821	2222	1751	1274	2612	1674	1035
Температура вибуху, К	1295	1912	1970	3000	1230	2425	1580	1100	2738	2020	1857
Об'єм газів, л/кг	313	319	335	600	314	319	307	314	340	350	346
Працездатність, см ³	188	238	249	322	177	310	240	170	325	260	150
Факт.критичн.діаметр,мм	24	28	30	26	28	28	20	19	21	-	-
Факт.швидк. дет., м/с	1920	1930	1970	1970	1950	1980	2810	2630	2770	-	-

Таблиця 5 Кількість газів, що виділяються при підіриванні вибухових сумішей

Найменування газу	Номери зразків та кількість газів, моль/кг										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
O ₂	7,58	7,53	7,40	6,10	9,25	7,30	9,23	9,60	6,52	8,05	10,41
H ₂	0,16	0,24	0,23	0,42	0,06	0,23	0,43	0,02	0,32	0,31	0,12
H ₂ O	0,52	0,91	0,87	1,37	0,32	0,88	0,90	0,09	1,08	1,54	0,83
CO	1,51	1,93	1,92	2,78	0,84	1,89	0,66	0,57	2,50	1,56	0,32
CO ₂	0,60	0,89	0,87	1,12	0,51	0,88	0,37	0,30	1,04	0,98	0,29
N ₂	0,10	0,10	0,50	0,97	1,22	0,46	0,78	0,30	0,65	0,71	1,00
NO	0,16	0,16	0,34	0,43	0,56	0,32	0,46	0,29	0,36	0,38	0,48
Cl	-	1,54	1,58	1,45	1,38	1,50	1,48	1,69	1,48	1,22	1,08
HCl	0,38	0,48	0,48	0,58	0,26	0,47	0,21	0,16	0,52	0,54	0,36
KCl	4,00	4,30	4,20	3,70	4,10	4,20	4,32	4,65	3,95	4,34	4,53
BaO	0,13	0,12	-	-	0,10	-	0,13	-	-	-	-
TiO ₂	0,46	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-

Що стосується продуктів розкладу окислювача KClO_4 , то при його участі у газовому складі присутні хлор та незначна кількість HCl . Із хлормістких продуктів розкладу ВР найбільше конденсованих або пилоподібних часток солі KCl . Із конденсованих продуктів також присутні сліди окисів титану та барію.

В цілому газовий склад продуктів розкладу за вмістом токсичних газів знаходиться на рівні газового складу запобіжних ВР, в яких одним із компонентів є NaCl . Враховуючи те, що на блочних кар'єрах відбивання каменю проводять незначною кількістю вибухових речовин (до 30-40кг), екологічний стан атмосфери при вибуху ВР за розрахунками має бути задовільним.

Отже, термодинамічні розрахунки досліджуваних ВР показують, що варіюючи вміст активних компонентів утилізованих ВР, таких як А-ІХ-1, А-ІХ-2 і вводячи до складу окислювача інертну домішку та інші технологічні домішки, можна отримати сумішеві ВР, які придатні для відбивання блочного каменю і не поступаються за детонаційними та технологічними характеристиками зарубіжним аналогам.

Враховуючи те, що програми по визначенню термодинамічних параметрів вибухових сумішей ґрунтуються на певних припущеннях, остаточне визначення складу має бути відкориговане з урахуванням практичного визначення вибухових характеристик – швидкості детонації, критичного діаметру, повноти детонації в експериментальних умовах.

1. *Іськов С.С.* Особливості розробки родовищ декоративного каменю і значення геометризації їх основних властивостей для удосконалення технології видобування блоків. Стаття: Вісник Житомирського технологічного університету №3(30), 2004.

2. *Шиллинг Н.А.* Курс дымных порохов. М., 1940

3. *Блюмельфельд В.М.* Рациональный способ добычи гранитных блоков. Стаття: Горный журнал № 6, 1996.

4. *Силин Н.А., Ващенко В.А., Зарипов Н.И.* и др. Окислители гетерогенных конденсированных систем. М., «Машиностроение», 1978.

5. *Блинов И.Ф.* Хлоратные и перхлоратные взрывчатые вещества. М.Оборонгиз, 1941.

6. *Авакян Г.А.* Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ. Учебное пособие. М., 1964.

РОЛЬ КОНСТРУКЦІЇ НАБИВКИ В ПОДОВЖЕНОМУ ЗАРЯДІ

А.Л. Ган, ас. (НТУУ "КПІ"), Толкач О.П., магістрант.

Вступ. Один із основних способів підвищення ефективності вибуху - це застосування надійної забивки. Дослідження впливу конструкції і компонентного складу забивки на енергетичні параметри вибуху і параметри відбійки (величину воронки руйнування, змінення тріщинуватості масиву і т.д.) беруть початок ще з п'ятидесятих років ХХ сторіччя і виконуються до цього часу. Така значна кількість теоретичних і в основному експериментальних робіт обумовлена тим, що вибухові роботи здійснюються з різною метою: розпушування породи, утворення порожнин і профільних виїмок і ін. і в різноманітних за структурою і фізико-механічними властивостями породах. Слід зазначити, що суттєві теоретичні дослідження забивки на ефективність вибуху з'явилися останнім часом [1-7].

Відомо, що ефективність роботи подовженого свердловинного або шпурового заряду при руйнуванні гірського масиву значною мірою визначається параметрами забивки [6, 7]. Головним призначенням забивки є надійне запирання продуктів вибуху на час, поки відбудуться вторинні реакції детонаційного розкладу вибухової речовини, а енергія розширюваних газів почне перетворюватись в механічну роботу руйнування та переміщення частини масиву. Поряд з регулюванням інтенсивності подрібнення породи забивка має попередити передчасне викидання газів із зарядної виробки, яке супроводжується неповним розкладом продуктів детонації та обумовлює підвищений вміст токсичних компонентів в газовій суміші, руйнування її устя з неконтрольованим розкиданням окремих кусків породи, утворення посиленої повітряної хвилі. Згідно з цим у відомих дослідженнях, поряд з параметрами подовженого заряду приділяється особлива увага параметрам та властивостям матеріалу забивки.

Дослідження [6] та гірничо-практика свідчать про переваги матеріалу забивки, здатного забезпечити технологічність процесу забивання та одночасно - подовження часу її деформування під дією розширюваних газів, а отже, і часу запирання продуктів детонації в зарядній порожнині. Практика при цьому надає переваги піщано-глинястій суміші, яка забезпечує достатню пластичність матеріалу забивки та його зчеплення з стінками зарядної порожнини в процесі деформування. Більш ефективною в цьому сенсі є запропонована авторами [6, 7] забивка для шпурового заряду на основі твердіючої розширюваної суміші, що подовжує час вильоту забивки на 0,6с і відповідно забезпечує поглиблення руйнуючої дії вибуху в радіальному напрямку на 0,5м. Однак вартість такої забивки може бути перешкодою для застосування її в свердловинних зарядах на масових вибухах.

Якщо для маломасштабних шпурових зарядів пошуки нових засобів підвищення запираючої дії забивки задовольняються її матеріалом або заміною забивки спеціальними запираючими пристроями, для свердловинних зарядів ці пошуки можливо розширити за рахунок конструкції забивки, тобто її параметрів та геометрії.

Виходячи з динаміки взаємодії детонаційної хвилі у верхньому торці подовженого заряду з забивкою, перша стадія включення її в роботу полягає у проходженні ударної хвилі тілом забивки до верхнього її торця, утворення відбитої хвилі розрідження в зворотному напрямку, відповідному ослабленні структурної міцності матеріалу забивки та частковому його переміщенню в осьовому напрямку в сторону від заряду. Наступний етап включає процеси, що полягають у деформуванні забивки, її розпиранні в зарядній порожнині та зростанні сили тертя між забивкою і стінками порожнини. При цьому роль складу матеріалу забивки має менше значення порівняно з впливом зусиль та з деформаціями, які в ньому розвиваються.

Отже, втрутитись в згадані процеси потрібно ще на стадії виникнення ударної хвилі в матеріалі забивки шляхом скерування її фронту в напрямку, відмінному від осевого. Це можливо досягти шляхом зміни форми нижньої торцевої частини забивки.

Метою наступних лабораторних досліджень було встановлення можливості впливу на ефективність роботи забивки через зміну форми її нижнього торця, що контактує з подовженим зарядом безпосередньо або через повітряний проміжок.

Для вивчення ефективності конструктивних елементів забивки в подовженому заряді виконано дослідження з фізичного моделювання, в якому використано кубічні моделі з пластиліну розміром 130x130x130мм. В отворах діаметром $d_3 = 6$ мм розміщувався заряд висотою $l_3 = 30$ мм та вагою $Q_3 = 1$ гр, верхня торцева частина якого ініціювалась від електророзрядного пристрою. В якості забивки слугував також пластилін – однорідний піддатливий матеріал, який практично нівелював вплив матеріалу забивки на процеси, що вивчались.

Викладення основного матеріалу. Досліджено три варіанти взаємодії заряду з торцем забивки: розташованим впритул до заряду та на відстані $h_{\text{пн}}$ 10 і 20мм (рис. 1). В досліді нижньому торцеві забивки, оберненому до заряду, надавалась різна форма: циліндра з плоским торцем, конуса та півсфери. Загалом досліджувались 9 варіантів розташування і конструкції забивки, кожен з яких повторювався не менше 3-х разів.

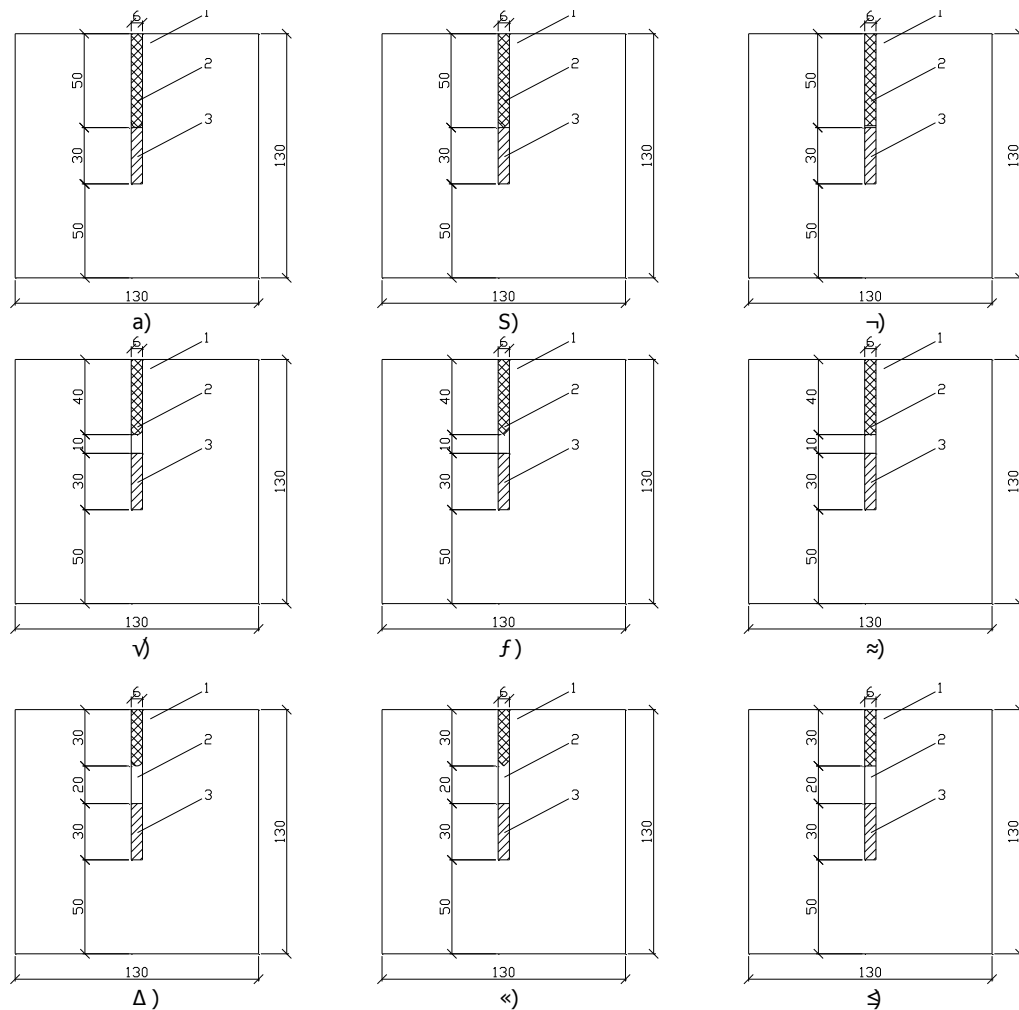


Рис. 1. Схема розташування забивки в заряді ВР з різною конструкцією нижнього торця: а – в суцільному заряді, півсферична; б – в суцільному заряді, конусна; в – в суцільному заряді, циліндрична; г, д, е – з повітряним проміжком $h_{\text{пн}}=10$ мм, відповідно п. а,

б, в; ж, з, і – з повітряним проміжком $h_{\text{пн}}=20$ мм, відповідно п. а, б, в; 1 – модель, 2 – забивка, 3 – заряд ВР.

Дослідження впливу форми торця забивки, контактуючого з продуктами детонації, на ефективність використання енергії вибуху базувалась на вимірюванні об'єму отриманої порожнини за аналогією з відомою методикою вимірювання працездатності ВР. Дані, отримані в результаті досліджень, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Об'єми воронки, що утворилися в результаті застосування різного виду забивки при встановленні їх на різній відстані від заряду ВР

Конструкція нижнього торця забивки	Заряд	d_z , мм	l_z , мм	Q_z , гр	Об'єм порожнин при встановленні забивки на різних відстанях від заряду					
					$h_{\text{пн}}$, мм	V , см ³	$h_{\text{пн}}$, мм	V , см ³	$h_{\text{пн}}$, мм	V , см ³
циліндр	димний порох	6,0	30	1,0	–	9,5	10	12,75	20	7,75
півсфера	димний порох	6,0	30	1,0	–	18,0	10	20,5	20	15,5
Конус	димний порох	6,0	30	1,0	–	11,5	10	13,5	20	9,25

Висновки. Проаналізувавши результати таблиці 1, можна зробити наступні висновки:

1. Найбільші об'єми порожнин за однакових умов отримано при застосуванні забивки у вигляді півсфери, дещо менші об'єми зафіксовані при формі торця забивки у вигляді конуса і найменші – при забивці циліндричної форми. Максимальне значення механічного ефекту при застосуванні торця у вигляді півсфери може бути пояснене збільшенням часу взаємодії торцевої частини забивки з розширюваними продуктами детонації через особливості відбиття та переломлення ударного фронту на її криволінійній поверхні.

2. Ефективність роботи забивки значною мірою залежить від повітряного прошарку між нею та зарядом. З табл. 1 видно, що незалежно від конструкції забивки об'єм порожнин при величині проміжку 10 мм від заряду ВР на 15-30% більший, ніж при забивці, встановленій безпосередньо на заряд. В той же час він на 25-40% більший, ніж при забивці, встановленій на відстані 20 мм від заряду ВР. Можна вважати, що найефективнішим є проміжок висотою 1,5 – 2,0 діаметра заряду.

Література

1. Ищенко К.С. Влияние конструкции шпурового заряда с использованием различных забоечных материалов, влияющих на процесс трещинообразования при взрыве / Ищенко К.С.–К.: Наук. думка. 1991.–С.59–61 – (Повышение эффективности разрушения горных пород).

2. Ищенко К.С. Исследование конструкций шпуровых зарядов с использованием различных забоечных материалов, влияющих на процесс разрушения среды при взрыве / Ищенко К.С.–К.: Наук. думка. 1993. – С. 23–28– (Техника и технология горного производства).

3. Петренко В.Д. Теоретические оценки времени вылета забойки из мелко раздробленной породы при взрыве / Петренко В.Д., Никифорова В.А., Коновал В.Н.: –

Днепропетровск: ИГТХ НАН Украины. 1997. вып. 3. – С. 86–89 – (Геотехническая механика).

4. Александрова Н.И. Влияние забойки на разрушение горных пород взрывом цилиндрического заряда / Александрова Н.И., Шер Е.Н.: – ФТПРПИ. 1999. № 5. – С. 42–52.

5. Александрова Н.И. Влияние утечек газов из полости взрыва сферического заряда на разрушение горных пород / Александрова Н.И., Шер Е.Н.: – ФТПРПИ. 2000. № 5. – С. 43–53.

6. Ефремов Э.И. Исследование движения забойки в шпурах / Ефремов Э.И., Ищенко К.С., Никифорова В.А.: – Уголь Украины. 2000. № 6. – С. 20–22.

7. Ефремов Э.И. Способ повышения эффективности взрыва и локализации пылегазовых выбросов / Ефремов Э.И., Мартыненко В.П., Бережецкий А.Я.: – Кременчуг. 2000. вып. 2. – С. 3–5. – (Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету)

СЕЙСМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРСЬКОГО УДАРУ ЯК АНАЛОГА ПРОМИСЛОВОГО ВИБУХУ

О.А.Вовк, д. т.н., професор Кафедри геобудівництва та гірничих технологій, НТУУ «КПІ»

А.В.Солдатова, студентка

*НТУУ «КПІ», Кафедра геобудівництва та гірничих технологій, пр-т Перемоги
37,03056, Україна*

Тел: (045) 247-79-89

Анотація. В даній статті розглядається умови стійкості укусу в залежності від механічних характеристик ґрунтів при сейсмічній дії гірського удару.

Аннотация. В данной статье описывается условия стойкости укусов в зависимости от механических характеристик гунтов при сейсмическом воздействии горного удара.

Annotation. In this article examined terms of firmness of hay-crop depending on mechanical descriptions of soils at the seismic action of mountain blow.

Вступ. Розробка родовищ підземним способом негативно впливає на земну поверхню, викликаючи її осідання, змінюючи ландшафт та геологічне середовище. Вона супроводжується утворенням пусток в гірничому масиві, порушенням рівномірного напруженого стану і створенням вогнищ концентрації напруг, руйнуванням і зсувами гірських порід навколо пусток.

Постановка задачі. Зсуви порід досягають денної поверхні та викликають осідання ґрунту під поверхневими будівлями і природними об'єктами (водоймища, береги річок), викликаючи деформації. Що призводять до руйнування цих об'єктів. Особливо небезпечні ці процеси в поєднанні з сейсмічною дією вибухових робіт, землетрусів або гірських ударів.

Останні небезпечні як для підземних виробок, так і для поверхні землі, що досліджується разом з будівлями і спорудами на ній. Слід зазначити, що із зростанням глибини розробки вугільних і рудних покладів і кількість і енергетична потужність та шкідливий вплив гірських ударів зростає.

Результати. Вплив гірських ударів на об'єкти, які розташовуються над територіями, що підробляються, або в околиці шахтного поля, проявляється у вигляді сейсмічних пружних коливань, що взаємодіють з ґрунтами основ фундаментів і гірських схилів. Особливо небезпечними ці прояви бувають в районі мульди осідання, коли поверхня піддається різним деформаціям з втратою рівноважного стану або досягненням граничних станів. В цьому випадку додаткові динамічні навантаження, самі по собі навіть далекі від граничних рівнів, можуть викликати лавинні ґрунтові потоки в основах поверхневих об'єктів. Додатковим негативним чинником, що повинний бути врахований, є імовірність посилення вібросейсмічного сигналу за рахунок резонансу низькочастотних коливань (а вони переважають в спектрі коливань на великих відстанях від вогнища удару) з власною частотою ґрунтових агрегатів, здатного привести деформований стан в граничний.

Деформації поверхні головної частини мульди, визначаються фізико-механічними властивостями порід над виробленим простором. Стійкість бокових укусів мульди осідання також залежить від фізико-механічних властивостей порід і характеризується сталим кутом зсуву, що забезпечує рівно вісний стан укусу. При взаємодії головної частини мульди з сейсмічними імпульсами процес деформації її поверхності прискорюється, а стійкість бокових

укосів може бути порушена і гранична крутизна їх зміниться. Розглянемо умови стійкості укосу в залежності від механічних характеристик ґрунтів. Для оцінки напружено-деформованого стану укосів необхідно визначити вертикальні і горизонтальні складові тиску, від співвідношення між якими залежить в кінцевому результаті стійкість укосів і їх гранична крутизна. В найбільш загальному випадку, коли укос складається з декількох різнорідних ґрунтових шарів, компоненти напруг від власної ваги ґрунта можуть бути записані у вигляді:

$$\begin{aligned} \text{-вертикальні } \sigma_{zi} &= \sum_{i=1}^n \gamma_i z_i \\ \text{-горизонтальні } \sigma_x = \sigma_y &= \sum_{i=1}^n \xi_i \gamma_i z_i \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{-в однорідному ґрунті } \sigma_x = \sigma_y = \xi \sigma_z = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0} \gamma \cdot z$$

$$\text{-дотичні } \tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0,$$

Де γ_i – густина ґрунта, μ_0 – коефіцієнт Пуассона

Відношення між горизонтальним ($\sigma_{гор}$) і вертикальним ($\sigma_{вер}$) тиском в виділеному елементі знаходиться з виразу

$$\frac{\sigma_{гор}}{\sigma_{вер}} = \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\varphi}{2}), \quad (2)$$

де φ – кут внутрішнього тертя.

Якщо коефіцієнт зчеплення C не дорівнює 0, значення горизонтальних і вертикальних тисків у відповідності з умовою міцності Кулона-Мора обчислюється наступними співвідношеннями

$$\begin{aligned} \sigma'_{вер} &= \sigma_z + \frac{C}{\operatorname{tg} \varphi} \\ \sigma_{гор} &= \sigma_x + \frac{C}{\operatorname{tg} \varphi} \end{aligned} \quad (3)$$

Зсувні горизонтальні зусилля в елементах укосу ($G_{S,ij}$) при $y \neq 0$ і $c \neq 0$ дорівнюють

$$G_{S,ij} = \sigma_{гор,ij} \cdot A_{гор,i} \quad (4)$$

Де $A_{гор,i}$ – площа, на яку в виділеному елементі ґрунтового масиву діють горизонтальні зсуваючі зусилля.

Стискуючі вертикальні сили ($G_{cm,ij}$) з урахуванням площі ($A_{вер,i}$), на яку діє вертикальне стискуюче зусилля (тобто горизонтальне утримуюче зусилля) визначається з урахуванням (3):

$$G_{cm,ij} = \frac{\left(\sigma_{вер,ij} + \frac{C_i}{\operatorname{tg} \varphi_i} \right) \cdot A_{вер,i}}{A_{гор,i}} \cdot \xi_i \quad (5)$$

Де ξ_i – коефіцієнт активного тиску ґрунта в кожному елементі згідно з (2)

Стійкість кожного елемента в масиві укосу визначається за допомогою коефіцієнта запаса η_{ij}

$$\eta_{ij} = \frac{G_{cm.ij}}{G_{s.ij}}, \quad (6)$$

а в цілому найбільш характерним параметром стану укосу є кут з суву(стійкості). Наприклад якщо укос складається з піщаного ґрунту при $c=0$ то цей кут дорівнює куту внутрішнього тертя (φ), тобто $\alpha = \varphi$. У випадку, коли розглядається стійкість укоса в зв'язних ґрунтах з коефіцієнтом зчеплення $c \neq 0$ з сув відбувається під кутом, значно більшим, ніж кут внутрішнього тертя (φ).

Отже, в зв'язних глинистих ґрунтах за рахунок сили зчеплення укос може бути стійким під кутом різної величини, в тому числі навіть 90° , при висоті h , що не перевищує співвідношення

$$h_{90^\circ} = \frac{2C}{\gamma} \quad (7)$$

Граничну висоту вертикального оголення, при якій вже з'являються площини скозання, знаходять за узагальненою формулою

$$H_{90^\circ} = \frac{2C}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg}(45^\circ - \varphi/2) \quad (8)$$

Виположування укосу (тобто з сув укоса під тим чи іншим кутом, меншим 90°) можливе при порушенні рівновисного стану або шляхом збільшення висоти укоса, або прикладання додаткових зусиль, наприклад дією сейсмічних коливань, визваних гірським ударом.

Врахування дії сейсмічних зусиль будемо визначати наступним чином. Вплив інерційних сил на зміну коефіцієнта стійкості згідно з Масловим М.М. визначається як відношення сумарних сил тертя і зчеплення до сумарних з сувних сил інерції (що характеризують сейсмічну дію). Інерційна сейсмічна сила (S_c) дорівнює [4]

$$S_c = \frac{a}{g} P \quad (9)$$

Де a - сейсмічне прискорення,
 g - прискорення земного тяжіння,
 P - вага призми обвалення.

Відношення $\frac{a}{g}$ назвемо коефіцієнтом струсу K_c і (9) запишемо як $S_c = \pm K_c \cdot P$, а вертикальну (S_{cd}) і горизонтальну (S_{cz}) складову відповідно

$$S_{cd} = \pm S_c \cdot \sin \theta \quad (10)$$

$$S_{cz} = \pm S_c \cdot \cos \theta$$

Де θ - кут напрямку вектора сейсмічного імпульсу до горизонту

$$a = 4\pi^2 f^2 A \quad (11)$$

А і f – амплітуда і частота коливань.

Вплив вертикальної і горизонтальної складової сейсмічного прискорення на стійкість укосу різний. Вертикальна (S_{cd}) розвантажує вагу призми обвалення, а горизонтальна (S_{cz}) збільшує з сувні сили по поверхні призми обвалення.

Наслідком цих зусиль може бути зменшено значення коефіцієнта стійкості або й порушений стан рівноваги з започаткуванням руху призми обвалення.

Згідно з [4] оцінка дії сейсмічних сил на зміну стійкості укоса може бути представлена у вигляді зміни крутизни на кут (12)

Для попередньої оцінки величину прискорення (а) можна приймати в залежності від балу (ΔБ) сейсмічних коливань (наприклад величині ΔБ=8, відповідає прискорення а=1200-2400 мм/с).

Що стосується впливу сейсмічних коливань на процес формування головної частини мульди осідання, то головним наслідком цього впливу слід вважати збільшення роз тягуючих або стискуючих деформацій на додаток до тих, що визвані гравітаційними полями. Для попередньої оцінки можна використати метод Лангоффса, згідно з яким при низьких частотах (до 10 Гц частотах), характерних для сейсмоколивань в поверхневих хвилях, критерієм руйнування по фактору граничної деформації (E_{sp}) є співвідношенням

$$E_{sp} = \frac{\vartheta}{C} \quad (13)$$

Де ϑ - швидкість коливань

C- швидкість звуку в породі

Швидкість сейсмічних коливань, що спричиняються гірським ударом залежить від енергетичних і геометричних параметрів вогнища, глибини виникнення явища та властивостей товщі порід над вогнищем. Вона або знаходиться запису гірничого удару, що вже відбувся, або вираховується по формулі [5]

$$\vartheta = 1,265 \sqrt{\frac{\mathcal{E}_r}{\rho \vartheta_p T}} \quad (14)$$

Де $\mathcal{E}_r$ - щільність енергії в залежності від відстані (г) до вогнища, вона обчислюється з виразу [5], Дж/м²,

$$\mathcal{E}_r = 1,75 \cdot \mathcal{E}_{rn} \cdot r^{-3,2} \quad (15)$$

$\mathcal{E}_{rn}$ - щільність сейсмічної енергії на поверхні сеймовипромінювача радіусом r_g і вона складає

$$\mathcal{E}_{rn} = \frac{\mathcal{E}_c}{4\pi r_g^2} \quad (16)$$

Де $\mathcal{E}_c$ - сейсмічна енергія гірського удару

ϑ_p - швидкість руху сейсмічних хвиль,

ρ - густина породи

T- період коливань, може бути знайдений з виразу $T = 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot r_g^{1,15}$

Масова швидкість ϑ згідно з (14) обчислена на межі скельних порід і наносів. Для отримання їх значення при русі хвилі по насосах необхідно враховувати їх динамічні властивості шляхом застосування коефіцієнта перелому K_{II} , що дорівнює:

$$K_{II} = \frac{2\rho_1 V_{p_1}}{\rho_1 V_{p_1} + \rho_2 V_{p_2}} \quad (17)$$

Де $\rho_1 V_{p_1}$ - густина і швидкість подовжніх хвиль скельних порід,

$\rho_2 V_{p_2}$ - відповідно значення цих параметрів насосів.

Крім цього необхідно враховувати збільшення масової швидкості в сейсмічній хвилі при відбитті її від вільної поверхні .Отже кінцеве значення масової швидкості буде знайдено шляхом множення результату обчислення по (14) на подвоєний коефіцієнт перелому, тобто на $2 K_{II}$. З вищенаведеного випливає, що взаємодія сейсмічних коливань, визваних гірським ударом, з деформованого підземними розробками поверхнею землі призводить до негативних наслідків, зокрема до порушення стійкості бічних укосів і прискорення деформацій головної частини мульди опускання.

Література

- [1] M. Chudek, Geomechanika z podstawami o chrony srodowiska gorniczego i powiezchni terenu.- Wydawnictwo Politechniki staskiej . – Glivice, 2002.-637 s.
- [2] Вовк О.А., Охрана поверхности при ведении горных работ.- с.102-127.
В кн. Вовк А.А., Воеводка А., Кужея Е., Некоторые проблемы экологии в горнодобывающей промышленности .- Часть II. К.: Национальный технический университет Украины «КПИ», институт гидромеханики НАН Украины, 1996. – 154 с.
- [3] Кугель М., Розробка методів прогнозування і попередження зсувів в укосах на підроблюваних територіях. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (на правах рукопису). – К.: Інститут гідромеханіки НАН України, 2002.- 16с.
- [4] Павуков В.А., Горная механика .- С.- Петербург.- С.- Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет), 1997.-134 с.
- [5] M. Chudek, A.A. Wowk, A.A. Kuzmenko , O propogacji energii sejsmicznej przy procesach dynamicznych // Zeszyty naukowe Politechniki staskiej.- Gornictwo, z. 258.-Glivice, 2003.- s.59-69.

ГАЗОДИНАМІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЩАДЛИВОГО РУЙНУВАННЯ

Кравець В.Г., д.т.н., Ган А.Л., асистент, Повзик О.О., магістрант(ІЕЕ НТУУ"КПІ")

Гірські породи, що перебувають у напруженому стані, близькому до межі міцності, при прикладенні незначного динамічного навантаження інтенсивно руйнуються. Експериментальне дослідження принципу суперпозиції полів напружень при статичних і динамічних навантаженнях дає підставу вважати, що цей принцип з певними припущеннями може бути використаний для прогнозу напруженого стану середовищ і при комбінованому, статико-динамічному впливі. Проте це положення має бути перевірено експериментально. Методична особливість її полягає в тому, що в моделі вибурувались два шпури, призначених для прикладання різного типу навантажень на модель.

Спочатку модель навантажувалася статичним способом в одному з шпурів із записом сигналів датчиків на осцилограмі. Після досягнення номінального статичного тиску P_1 до стабілізації напруженого стану моделі в другому шпурі генерувалося динамічне навантаження P_2 . Викликане ним поле напружень реєструвалося датчиками. З метою зменшення ймовірності непрогнозованого руйнування моделі в експериментах, як правило, приймалося, що $P_1 \geq P_2$. По записам на осцилограмі визначали результуюче напруження й частковий внесок у нього кожного з навантажень. Усього було проведено 20 експериментів. На рис. 1, 2 наведені результати обробки осцилограм цих експериментів, у яких P_1 варіювалось (в середньому по групі) від 38,9 до 40,6 МПа і від 19,8 до 20,6 МПа, а P_2 - від 9,2 до 31,1 МПа.

Із цих даних легко помітити, що принцип суперпозиції дотримується й при комбінованих навантаженнях, причому для опису закономірностей розподілу напружень по найкоротшій відстані між порожнинами можуть бути використані розрахункові залежності, встановлені для статичних і динамічних режимів навантаження.

Найважливішим елементом будь-якого з розглянутих методів впливу на породний масив з метою утворення спрямованого розколу при відділенні блочного каменю є визначення граничної відстані між шпурами, що забезпечує змикання тріщин розриву від сусідніх джерел тиску. Експериментальний пошук такої відстані, як було показано вище, вимагає проведення великої кількості трудомістких дослідів.

Тому для попередньої оцінки цієї відстані був проведений чисельний експеримент із використанням теоретичних рішень такого завдання. Результати чисельного експерименту у вигляді залежностей $\alpha(P)$ для різних режимів навантаження при рівності амплітуд внутрішнього тиску показані на рис. 2 (штрихові лінії), де крива 1 побудована для умов статичного, крива 2 - динамічного та крива 3 - комбінованої взаємодії порожнин навантаження в моделі безмежних розмірів (для порівняння наведена залежність $\alpha(P)$ (крива 1а) для умов взаємодії статичних навантажень у моделі реальних, обмежених розмірів. Аналіз цих кривих дозволяє зробити кілька висновків. По-перше зі збільшенням внутрішнього тиску гранична відстань між сусідніми порожнинами навантаження швидко росте, однак ця залежність носить загасаючий характер, що найбільш сильно проявляється при динамічних взаємодіях (крива 2). По-друге, менша відстань між порожнинами навантаження потрібна при статичних режимах навантаження. Це говорить про те, що використання тільки статичних навантажень у практиці відколювання блокового каменю є неекономічним. При динамічних взаємодіях відстань між сусідніми шпурами може бути збільшена в 1,5...1,6 рази, однак відзначена вище можливість утворення додаткових тріщин викликає небезпеку пошкодження блоків і вимагає скорочення відстані між шпурами з

метою створення умов гарантованого розколу середовища по лінії міжпорожнинної взаємодії. Найбільша відстань між сусідніми порожнинами (шпурами, свердловинами) досягається при комбінованій статико-динамічній взаємодії порожнин навантаження, що дозволяє майже в 2 рази збільшити відстань між джерелами навантаження в порівнянні зі статичним впливом [4].

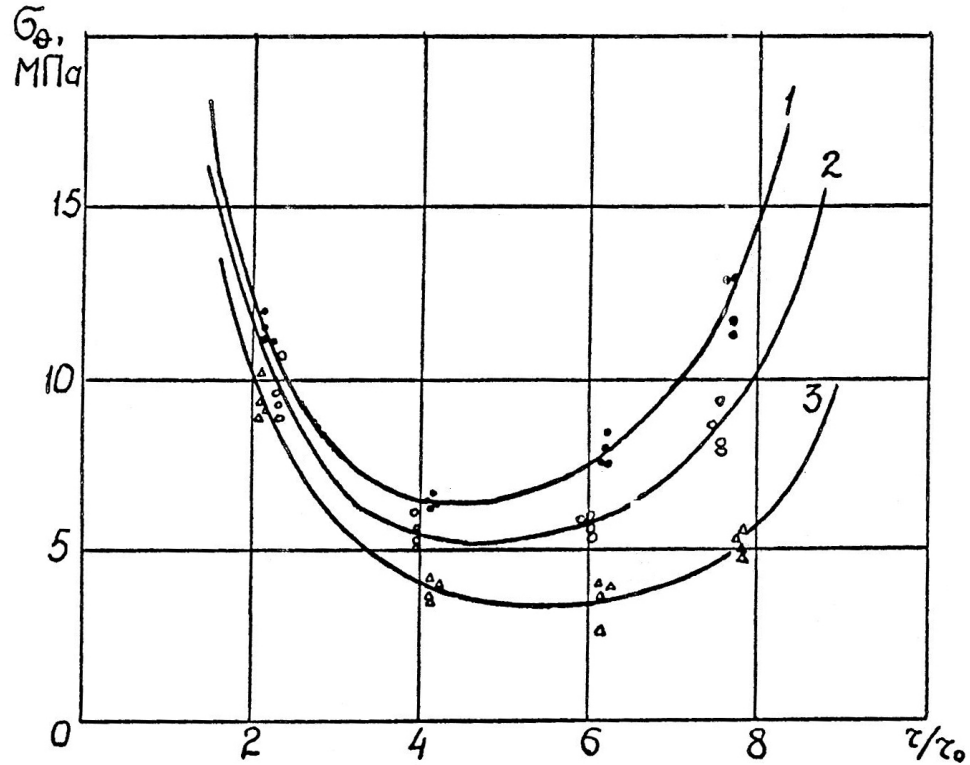


Рис. 1 Напружений стан моделі при статико-динамічному навантаженні: крива 1 – $P_1=40,6$ МПа, $P_2=29,8$ МПа; крива 2 – $P_1=39,8$ МПа, $P_2=20,2$ МПа; крива 3 – $P_1=38,9$ МПа і $P_2=9,6$ МПа.

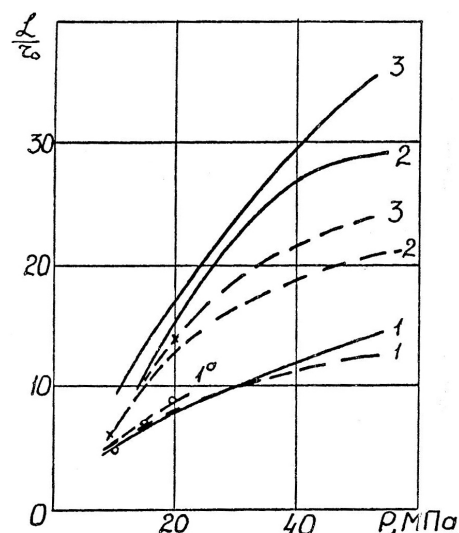


Рис. 2 Залежність граничної відстані між порожнинами навантаження від амплітуди рівних внутрішніх тисків (для моделі безмежних розмірів).

Для обчислення рівня і характеру взаємодії різних типів пар навантажень використано наступні залежності:

- для взаємодії рівновеликих статичних навантажень

$$\alpha = 2\sqrt[3]{\frac{4\pi P r_0^4}{\gamma E}}; \quad (1)$$

- при взаємодії нерівновеликих статичних навантажень:

$$\alpha = r_1 + r_2; \quad (2)$$

$$r_1 = \sqrt[3]{\frac{4\pi P_1 r_0^4}{\gamma E}}; \quad r_2 = r_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/3}; \quad (3)$$

- при взаємодії рівновеликих динамічних навантажень:

$$\alpha = 2 \left(\frac{4\pi P B^2 r_0^{2\alpha}}{\gamma E k} \right)^{\frac{1}{2\alpha-1}}; \quad (4)$$

- при взаємодії нерівновеликих динамічних навантажень:

$$\alpha = \left(\frac{4\pi P B_1^2 r_0^{2\alpha_1}}{\gamma E k_1} \right)^{\frac{1}{2\alpha_1-1}} + \left(\frac{4\pi P B_2^2 r_0^{2\alpha_2}}{\gamma E k_2} \right)^{\frac{1}{2\alpha_2-1}} \quad (5)$$

- при статико-динамічній взаємодії розрахунок проводиться по формулі (2), де величини r_1 і r_2 знаходять зі співвідношень:

$$\frac{P_1 r_0^2}{r_1^2} + \frac{P_2 r_0^{\alpha_2}}{k_2^{\alpha_2} \eta_1^{\alpha_2}} = \sqrt{\frac{\gamma E}{\pi r_1}}; \quad r_2 = k_2 r_1. \quad (6)$$

У цих формулах індекси 1 і 2 вказують відношення до першого або другого джерела навантаження; k_1 і k_2 - коефіцієнти, рівні E_q/E_c при швидкостях навантаження, створюваних тиском у першій і другій порожнинах (при $\sigma_Q \rightarrow 0$, $k \rightarrow 1$).

Результати розрахунків по формулах (1 – 5) наведені на рисунках 2 (суцільні лінії) та 3. Звертає на себе увагу якісна ідентичність суцільних і штрихових кривих на рис. 2, що свідчить про об'єктивність прийнятої моделі руйнування твердих тіл. Однак у кількісному відношенні граничні відстані визначені цими методами, відрізняються одне від одного, причому ця відмінність істотна лише при динамічних і комбінованих навантаженнях і зростає зі збільшенням амплітуди навантаження. Так, якщо при $P \leq 20$ МПа вона практично не відчутна, то при $P \geq 40$ МПа вона збільшується до 35...42%. Це, вочевидь, пов'язане з тим, що математична модель руйнування не враховує зміни опору середовища розриву в міру розвитку тріщини. Зрівняємо теоретичні результати з даними безпосередніх спостережень. На рис. 2 дослідні дані про величину α/r_0 нанесені точками (світлі точки - для статичного навантаження, хрестики - для динамічного). Легко помітити, що для статичних навантажень у задовільній згоді з експериментом перебувають результати розрахунків як по формулах (1 – 5), так і по математичній моделі. При малих ($P \approx 10...15$ МПа) динамічних навантаженнях збіг розрахункових величин α з її експериментальними значеннями також відзначається для обох розрахункових методів і лише при $P \geq 20$ МПа експериментальні результати в динаміці помітно відрізняються від розрахункових, займаючи проміжне положення між теоретичними кривими.

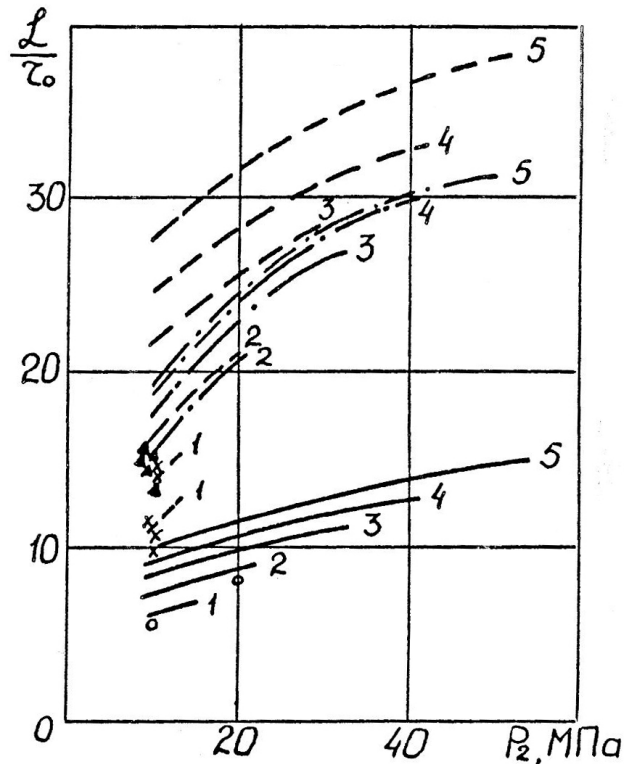


Рис. 3 Гранична відстань між шпурами нерівномірного навантаження при взаємодії статичних (суцільні лінії), динамічних (штрих-пунктирні лінії) і комбінованих статико-динамічних (штрихові лінії) навантажень. Криві 1 - при $P_1 = 20$ МПа, криві 2 - при $P_1 = 30$ МПа; криві 3 - при $P_1 = 40$ МПа; криві 4 - при $P_1 = 50$ МПа і криві 5 - при $P_1 = 60$ МПа.

З рис. 3 видно, що так само, як і при рівновеликих навантаженнях, гранична відстань між джерелами збурень зростає з ростом їхньої інтенсивності, причому при динамічних процесах вона більша, ніж при статичних, а максимальних значень досягає при комбінованому статико-динамічному навантаженні.

Завершуючи опис модельних експериментів, варто підкреслити, що, як і передбачалося завданнями дослідження, їхньою метою є перевірка загальних фізичних принципів і встановлення якісних закономірностей формування напружено-деформованого стану твердого середовища при дії поодиноких і групових (взаємодіючих) джерел навантаження, руйнування середовища тріщинами розриву, а також доказ застосовності математичної моделі руйнування твердих середовищ при взаємодії декількох джерел навантаження, розташованих по лінії передбачуваного розколу, і розрахункових залежностей, отриманих при обробці експериментальних даних.

Щодо практичного застосування розглянутого комбінованого методу відділення монолітів, пропонується поєднання нижче описаних методів контрольованого навантаження – попередньо статичного навантаження і на його тілі - прикладання динамічного імпульсу.

Для забезпечення комбінованого навантаження з метою відділення монолітів розроблено портативний гідропоршневий агрегат для прикладання статичного зусилля та гідродинамічний пристрій для генерації динамічного імпульсу в безпечному режимі.

Метою цієї розробки було підвищення надійності устаткування, зниження трудомісткості його обслуговування й забезпечення направленою руйнування гірських порід.

Це досягнуто за рахунок того, що портативний гідропоршневий агрегат для направленою руйнування гірських порід, що включає корпус агрегату з каналами, у якому розташоване не менш одного поршня із клином і одного зі сферичною голівкою, причому осі

цих поршнів розташовані перпендикулярно один одному, відповідно до конструкції на корпусі агрегату співвісною з ним і з можливістю обертання навколо своєї осі, установлений корпус гідророзподільника із джерелом тиску та внутрішньою кільцевою канавкою, що з'єднує канали, підключений до джерела тиску з каналами виконаними в корпусі агрегату в перпендикулярних площинах, причому в площині внутрішньої кільцевої канавки встановлений кульковий зворотний клапан з можливістю перпендикулярного переміщення відносно осі корпусу гідронасоса.

Загальний вид агрегату представлений на рис.4. Працює агрегат у такий спосіб. Гідропоршневий агрегат установлюється в шпурі, виконаному в гірській породі. При цьому вісь поршнів із клином розташовується в необхідній площині руйнування. Потім робітник починає натискати ногою на педаль 15, що через важіль 8 і вісь 7 переміщує плунжер 2 вниз. При цьому робоча рідина з порожнини 19, через свердління 16 надходить у порожнину плунжера 18. Як тільки плунжер 2 перекриє свердління 18, починається стиск робочої рідини в порожнині плунжера 18 і вона через зворотний клапан 21 і свердління 17 надходить у внутрішню кільцеву канавку 20. З канавки 20 робоча рідина через канали 37, 38 і 39 надходить під торець поршня (поршнів), що починає висуватися з корпусу агрегату 27 і при цьому своїм клином впливає на стінку шпуру, що приводить до утворення на вільній поверхні шпуру тріщини, що збігає з необхідною площиною руйнування породи.

Після утворення тріщини в породі, робітник повертає рухомий упор 33 проти годинникової стрілки навколо осі і натискає педаль 15. При цьому плунжер 2 переміщається вниз своїм упором 3 і відкриває зворотний клапан 21.

Оскільки гідравлічна система агрегату після цього розвантажується від високого тиску, то робітник може вільно повернути на 90^0 корпус гідронасоса 1 відносно корпусу агрегату 27.

При наступному нагнітанні тиску починає висуватися поршень і своєю сферичною голівкою розвивати вже отриману тріщину на поверхні шпуру, що в остаточному підсумку приведе до руйнування гірської породи.

Ефективність застосування пристрою обумовлена наступними факторами:

1. Підвищена надійність устаткування, що пов'язано з відсутністю шлангів високого тиску.
2. Знижується трудомісткість обслуговування устаткування, що забезпечується відсутністю перевізної насосної станції із приводом, а також виключенням операцій пов'язаних з підключенням шлангів високого тиску.

Гідродинамічна установка для блочного відділення каменю та принцип її дії показані відповідно на рис 5 та 6. Для реалізації запропонованого способу відділення блоків проводиться буріння на глибину відбійки по лінії відколу вибухових та проміжних шпурів, що заливаються водою. Вибуховий заряд розміщується в закритій камері, залитій водою, яка з'єднується зі свердловиною через насадку.

Також можливе застосування гідродинамічного пристрою у комбінації з гідропоршневим агрегатом, коли у ряді шпурів через шпур створюється статичне навантаження масиву за допомогою гідропоршневого агрегату, а у проміжних шпурах створюється динамічне навантаження гідродинамічним пристроєм, що призводить до руйнування по лінії відколу попередньо напруженого масиву.

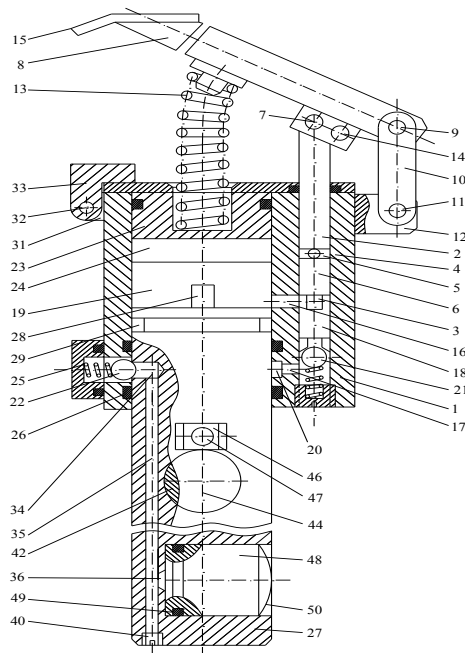


Рис. 4 – Загальний вигляд гідропоршневого агрегату

Гідродинамічний пристрій (рис.5) складається з вибухової камери, що заповнюється водою, у якій розміщується , шляхом пропускання через патрубок 7, заряд вибухової речовини 2 з ініціюючим пристроєм 3, який приводиться в дію через провідники 6 пропущені крізь отвір 5 у верхній частині камери. Також у верхній частині камери виконаний отвір 5 з різьбою, через який пристрій наповнюється водою. Отвір, після наповнення пристрою водою, закривається за допомогою болта. Нижня частина пристрою представлена патрубком 7 з повздовжніми прорізами, що забезпечують рух пластин 8 у напрямку дії вибухової хвилі. Твердосплавні наварки 9, виконані на двох діаметрально протилежних пластинах 8, виконують роль концентраторів напружень, а також утримують пристрій від руху вздовж осі його встановлення.

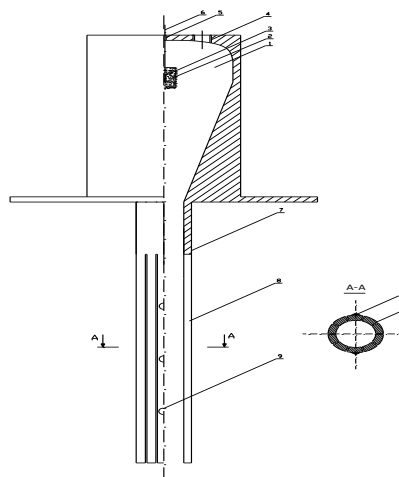


Рис. 5 – Конструктивна схема гідродинамічного пристрою

Принцип дії гідродинамічного пристрою зображено на рис. 6. В результаті вибуху заряду, який ініціюється електродетонатором, утворюються детонаційні гази, що виходять із заряду в напрямку розвитку хімічної реакції. При цьому ударний імпульс передається в рідину, якою залитий шпур з утворенням ударної бігучої хвилі вздовж шпура. Ударна хвиля

проходить із швидкістю близько 7-8 км/с і встигає після відбиття зустрітись з кінцевим тиском від детонаційних газів, чим створюється другий боковий імпульсний тиск на породу через пази.

Після зустрічі відбитої хвилі утворюється другий боковий ударний імпульс, що діє на тріщинувату структуру, утворену від дії першого імпульсу.

Система направленої відбивки, що пропонується, має переваги над іншими пристроями в тому, що до початку робіт з руйнування нових порід можуть бути проведені індивідуальні випробування з замірами динамічних параметрів руйнування і форм імпульсів, переданих на масив.

Отже, застосування такого методу дозволяє створити направлену лінію відколу моноліту і уникнути руйнування у зоні наближеній до лінії відколу з урахуванням механічних властивостей порід.

Гідродинамічна установка для руйнування монолітів зроблена у потужнішому виконанні і з деякими конструктивними змінами, а саме зі розбірною верхньою частиною, можливістю встановлення поздовжньої тяги з шайбами для забезпечення утримання пристрою у шпурі, та з можливістю застосування заряду еквівалентного по вазі до 300г тротилу (відповідний розрахунок наведено вище) призначений для руйнування монолітів (негабаритних шматків гірничої маси, непридатних для подальшого використання блоків).

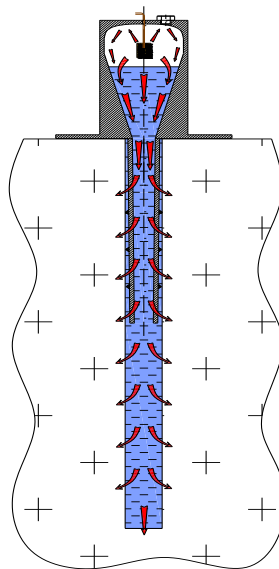


Рис. 6 – Принцип дії гідродинамічного пристрою.

Гідродинамічна установка для руйнування монолітів зроблена у потужнішому виконанні і з деякими конструктивними змінами, а саме з розбірною верхньою частиною, можливістю встановлення поздовжньої тяги з шайбами для забезпечення утримання пристрою у шпурі, та з можливістю застосування заряду еквівалентного по вазі до 300г тротилу (відповідний розрахунок наведено вище) призначений для руйнування монолітів (негабаритних кусків гірничої маси, непридатних для подальшого використання блоків). Конструкція та схема застосування установки представлена на рис. 7, де 1 – тяга, 2 – утримуючі гайки, 3 – шайба, 4 – кришка, 5 – провідники ініціатора заряду вибухової речовини, 6 – отвір для пропуску провідників ініціатора заряду вибухової речовини 7 - заряд вибухової речовини, 8 – півмісяці, 9 – основа, 10 – шпур, 11 – моноліт, що призначено зруйнувати, 12 - патрубок з поздовжніми прорізами, 13 - твердосплавні наварки, виконані на двох діаметрально протилежних пластинах що, виконують роль концентраторів напружень, 14 – конус (або шайба, як варіант).

Застосування у нижній частині установки шайби або конуса визначається безпосередніми умовами застосування для певних порід і певної маси розміщеного заряду.

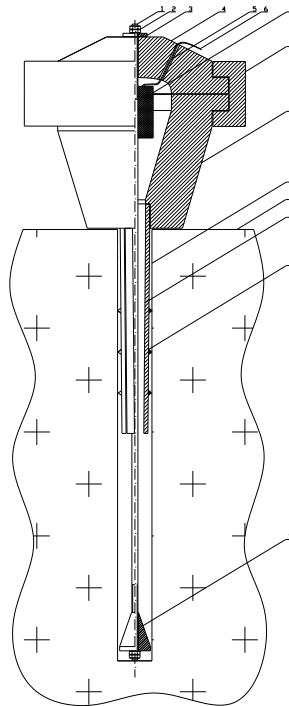


Рис. 7 Конструкція та схема застосування установки для руйнування монолітів

Принцип дії установки наступний. Після ініціювання заряду вибухової речовини 7 утворюються детонаційні гази, що виходять із заряду в напрямку розвитку хімічної реакції. При цьому ударний імпульс передається в рідину, якою залитий шпур та частина вибухової камери з утворенням ударної бігучої хвилі вздовж шпура. Діючи на конус 14, розміщений на тязі 1 та зафіксований гайками 2 та шайбою 3, ударний імпульс забезпечує утримання установки від руху вздовж шпура при наростанні тиску, а також спрямовує ударну хвилю на стінки шпура. Твердосплавні наварки 13, виконані на двох (можливо й більше) діаметрально протилежних пластинах патрубку 12, виконують роль концентраторів напружень та зумовлюють утворення зародкової тріщини, а також додатково утримують установку від руху вздовж шпура.

Застосування даної установки для руйнування монолітів за основну перевагу має скорочення витрат вибухової речовини.

Література:

1. Ткачук К.Н., Кривцов Н.В. Механизм разрушения крупнокускового материала накладными зарядами из малоплотных композиций // Высооэнергетическая обработка материалов.-Днепропетровск:Арт-Пресс-С.25-28.
2. Физические основы разрушения горных пород накладными зарядами/Н.В.Кривцов,И.А.Махоня,Е.А.Скочко,Л.А.Митюк//Разработка рудных месторождений.-Кривой Рог:КрТУ.-№67.-1999.-С.32-38.
3. Исследования и разработка безопасных технологий ведения взрывных работ с использованием бестротиловых взрывчестых веществ: отчет о НИР (промежуточн.) ННИИОП. Регистр. № 0199U000182. - К.,1998.-240с.
4. Ткачук К.К. Разработка эффективных методов добычи гранитных блоков. Дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. - Кривой Рог, 1995. - 357с.

РІВЕНЬ СЕЙСМІЧНОСТІ СХЕМ КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОГО ПІДРИВАННЯ

Бойко В.В. аспірант, (Інститут гідромеханіки НАН У)

Проведений аналіз схем короткосповільненого вибуху (КСВ) з застосуванням різних систем ініціювання зарядів в порівнянні з системою типу „НОНЕЛЬ” з позицій їх сейсмоефекту. Встановлені показники сейсмічності вибуху, за якими необхідно проводити оцінку сейсмічної дії КСВ, по складеному рівні режиму вибуху за масою зарядів, які вибухають миттєво та часу розвитку ініціювання всіх зарядів.

В даний час перед практикою і науковцями поставлено завдання – досягти якісного подрібнення гірської маси, опрацювання підосви при допустимому сейсмічному ефекті. Зі збільшенням масштабів масових вибухів і наближенням робіт до будівель та споруд громадського та промислового призначення, ці задачі набувають усе більш важливого значення щодо їх сейсмобезпечної експлуатації та нормальної психологічної обстановки місцевого населення. За останні роки при промислових масових вибухах на кар'єрах України для монтажу схем короткосповільненого вибуху (КСВ) широко стали використовувати системи неелектричного ініціювання зарядів (СНІЗ), в той час як метод оцінки їх сейсмічної дії залишився без змін. Хоча на практиці виявлено, що оцінка сейсмічного ефекту від вибуху з використанням СНІЗ відрізняється від масових вибухів, виконаних в одних і тих же гірничо-геологічних умовах і приведеною масою вибухової речовини (ВР), та з використанням систем ініціювання зарядів магістральними ДШ та піротехнічними КЗДШ, або магістральними електричними проводами та капсулами ЕДКС.

При використанні СНІЗ час розвитку всього вибуху збільшується із-за можливості збільшення інтервалів сповільнень в широкому діапазоні при їх ініціюванні, і залежить не лише від інтервалів сповільнення пристроїв різних типів реле, як тих, які розділяють групи, так і внутрішньогрупових, але і фактичного додаткового часу передачі кожному свердловинному заряду детонації по хвилеводу. Це змінює режим розвитку сейсмічної взаємодії вибуху всіх зарядів ВР, які ініціюють не одночасно й впливають на інтенсивність сейсмічних коливань, що в існуючих методах сейсмоцінки КСВ не враховується.

У зв'язку з цим експериментальні дослідження взаємодії вибуху циліндричних зарядів ВР і багатостадійного режиму розвитку неодночасного ініціювання всіх зарядів ВР, які послідовно з'єднані різними системами в одну схему КСВ й які взаємодіють між собою й впливають на інтенсивність сейсмічних коливань, для оцінки сейсмобезпечної дії КСВ на будівлі не тільки по існуючій граничнодопустимій нормі (по масі заряду, що вибухає миттєво в максимальній групі з інтервалом не менше 20 мс), але по кількості заряду ВР, що підривається за одиницю часу, для розробки схем комутації короткосповільнених масових вибухів при застосуванні неелектричних систем ініціювання зарядів, являє собою актуальну наукову задачу.

Метою досліджень є вивчення взаємодії свердловинних зарядів на інтенсивність сейсмічної дії КСВ та опрацювання надійного метода оцінки її по складеному рівню розвитку вибуху в часі, з урахуванням всіх інтервалів сповільнення, в тому числі внутрігрупових та часу протікання детонаційного процесу по хвилеводу і розробка рекомендацій по визначенню граничнодопустимих мас зарядів ВР, що підривається за одиницю часу, без нанесення шкоди навколишнім будівлям.

Для досягнення поставленої в статті мети сформульовані й виконані такі завдання:

- в напівпромислових умовах установити інтенсивність сейсмічних хвиль, яка виникає від дії вибухів, при наявності, або відсутності, взаємодії для одиночних, групових розосереджених та зосереджених зарядів;

- в промислових умовах визначити сейсмічну дію КСВ (схем з різною системою ініціювання зарядів *багатостадійного режиму розвитку неодночасного ініціювання всіх зарядів ВР, які послідовно з'єднані різними системами в одну схему вибуху*) в залежності від рівня режиму розвитку вибуху в часі всіх зарядів ВР з інтервалами сповільнення, в тому числі й внутрігрупових та часу протікання детонаційного процесу по хвилеводу і опрацювати метод оцінки сейсмопрогнозу КСВ при застосуванні неелектричних систем ініціювання зарядів ВР типу «нонел», який би забезпечив високу надійність по сейсмостійкості будівель по розрахунку допустимої кількості заряду ВР, що підривається миттєво за одиницю часу.

При вивчені параметрів сейсмічних хвиль (швидкість коливань в см/с) від дії свердловинних зарядів циліндричної симетрії в умовах поставлених задач в першу чергу була визначена організація сейсмічного контролю, вибрана структурна схем апаратурної реєстрації коливань, яка проводилась з застосуванням методики багатоканальної реєстрації коливань. При цьому реєстрація сейсмоколивань від вибухів зарядів ВР та обробка інформації (аналіз сейсмограм, амплітудно-частотних параметрів сейсмовибухових хвиль) проводилась по профілям установки стандартних сейсмоприймачів, кількість яких встановлювалась в залежності від поставлених задач, з застосуванням швидкодіючих аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП), типу Е-140 та Е-440, підключених до персональних комп'ютерів, типу ноутбук. В другу чергу визначена методика оцінки сейсмостійкості, яка полягала в тому, що до початку проведення підривних робіт в промислових умовах по існуючій методиці визначався допустимий рівень швидкості коливань для конкретних будівель, в залежності від їх технічного стану, які розташовані поблизу місця проведення підривних робіт. Для визначення сейсмостійкості безпосередньо на будівлю використовувались експериментальні дані з сейсмо- та частотограм за параметрами сейсмічних хвиль, тобто амплітуди, періоди коливання й швидкості, які пов'язані з пошкодженнями, розвитком існуючих і утворенням нових тріщин будівлі, в залежності від масштабу вибуху, кількості заряду ВР, що підривається за одиницю часу та відстаней.

Використовуючи наведену вище апаратуру й методики дослідження проводились в два етапи - в напівпромислових та промислових умовах. Задача першого етапу підтвердити дані одержані в другому розділі по встановленню інтенсивності сейсмічних хвиль, яка виникає від дії вибухів, при наявності, або відсутності, взаємодії для одиночних, групових розосереджених та зосереджених зарядів. Другого - щодо вивчення сейсмічних хвиль від дії багатостадійного режиму розвитку детонації зарядів ВР, які послідовно з'єднані різними системами в одну схему КСВ й неодноразово ініціюють з різними масштабами вибуху та масі зарядів ВР, яка миттєво підривається в одиницю часу й викликає або не викликає перевищень допустимої швидкості на об'єкті.

В напівпромислових умовах для визначення взаємодії зарядів та сейсмічної інтенсивності підриву, досліджувались вибухи розосередженого та зосередженого зарядів ВР з однакових масою проводились в дві серії. Серія І складалася з підриву 6 зарядів масою по 5 кг (вибух 1) і 3-х зарядів по 5 кг (вибух 2), що вибухають одночасно. Серія ІІ складалася із зосередженого заряду 15 кг(вибух 3) і зосередженого заряду масою 30 кг(вибух 4). Глибина закладення всіх зарядів становила 1,5 м.

Профіль виміру параметрів СВВ від зарядів і в напрямку перпендикулярному осі розташування зарядів становив 600 м, датчики стояли на відстані 150, 240, 325, 450 та 600м.

На основі отриманих даних побудовано залежність швидкості коливань часток ґрунту від відстані, з яких видно, що два вибухи, з однаковою масою ВР, але один із зарядів розосереджений, а інший зосереджений, мають різні показники масової швидкості. Тобто, навіть при однаковій масі ВР, що підривається миттєво, має значення розділений, чи зосереджений заряд. Це явище виникає в результаті взаємодії між зарядами ВР, що вибухають миттєво.

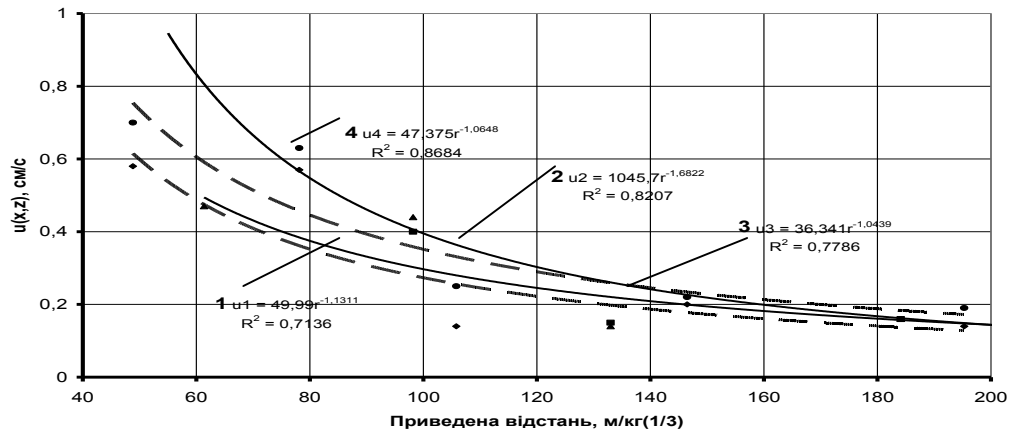
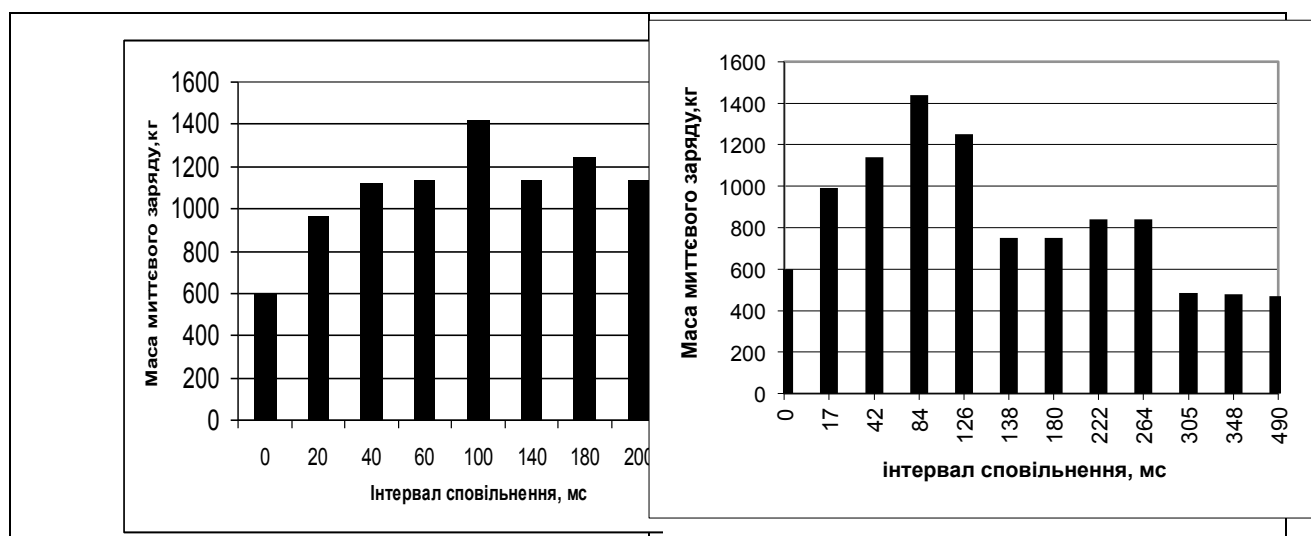


Рис. 2 Залежність швидкості коливань часток ґрунту від приведеної відстані при вибухах в напівпромислових умовах: 1- вибух 6-ти розосереджених зарядів масою по 5 кг; 2- вибух 3-х розосереджених зарядів масою по 5 кг; 3 – вибух зосередженого заряду масою 15 кг; 4- вибух зосередженого заряду масою 30 кг.

Стосовно вибухів №2 та №3, отримані результати мали інший характер. фактична швидкість зміщення часток ґрунту від вибуху №2 розосередженого заряду, рівного по масі ВР зосередженому, перевищують їх при вибуху зосередженого заряду. Це пояснюється відсутністю взаємодії зон руйнування розосереджених зарядів, що і показало оглядове дослідження лунок, утворених дією вибухів. Майже, повністю енергія вибуху №2 була використана на збудження сейсмовибухових хвиль, так як, її не вистачало для руйнування та викид породи.

Вивчення дії сейсмовибухових хвиль від різних схем КСВ та систем ініціювання на будівлі проводилось з визначенням основних параметрів сейсмічних хвиль ($U_{дон}$, см/с та T/T_0 одержаних з осцилограм вибуху), які згідно існуючих досліджень прийняті за критерій сейсмобезпеки. На основі порівняних даних по одержаним параметрам сейсмічних хвиль від метода оцінки одночасного підривання маси заряду в максимальній групі та кількості заряду ВР, що підривається за одиницю часу визначалась надійність метода оцінки сейсмічної дії КЗВ. Для кожної схеми вибухової мережі, як по системі ініціювання КЗДШ так і типу «нонел», побудовані графіки режиму розвитку вибуху зарядів ВР, які ініціюють миттєво (в кг) в залежності від інтервалів (мс) їх сповільнення. Приклад приведений на рис.2.



а)

б)

Рис.2 Графіки режиму розвитку вибуху зарядів ВР(загальна вага 8520 кг), які ініціюють миттєво (в кг) в залежності від інтервалів (мс) їх сповільнення проведеного по системі ініціювання а) КЗДШ та б) типа нонель по врубовій схемі КСВ.

Аналіз графіків на рис.2 дає уявлення про режим масового вибуху виконаного для різних схем КСВ дозволяє визначити в часі, з шагом в 1-ну мс, масу заряду, яка підривається миттєво, а данні по апаратурним вимірюванням - знайти пояснення, щодо не однакової інтенсивності сейсмічної дії схем КСВ змонтованих по різних системам ініціюванням. Так заміряна, по методиці приведеної в 3-му розділі швидкість коливань і однакових приведених відстаней, з застосуванням КЗДШ становила 1,2 см/с (рис.2,а), а НСІ (рис.2 б) - 0,8 см/с рахунок. Хоча по існуючому методі оцінки ці два вибухи оцінюються, як вибухи з однаковою сейсмічною інтенсивністю, так як маса заряду яка вибухає миттєво в них однакова (1440 кг). Пояснення такого явища одержано в теоретичних (2-й роз.) та підтверджено в напівпромислових та промислових дослідженнях в яких видно, що однакові по загальній масі ВР вибухи, але більшою тривалістю (інтервалів сповільнення) підриву може визвати меншу (рис.2 б), ніж розрахована по існуючій методики, інтенсивність сейсмічних коливань (в 1,5 рази) із-за наявності малих інтервалів сповільнення всередині групових зарядів, що вибухають які створюють умови їх взаємодії.

Одержані залежності шляхом теоретичної оцінки інтерференції сейсмічних коливань при короткоуповільнених вибухах групи зарядів, зводиться до того, що час уповільнення, коли хвилі, збуджені зарядами, що вибухають миттєво, розділяється на окремі групи є такими, при яких кожна наступна хвиля буде наздоганяти попередню тільки на стадії затухання коливань останньої до 1/3 амплітуди від її максимального значення. Зменшення максимальних сумарних коливань відбувається при умові якщо час уповільнення τ буде близький до періоду коливань T в поверхневий хвилі, при якому відношення τ/T близьке одиниці.

Опираючись на результати цих досліджень в роботі одержаний коефіцієнтом сейсмічної інтенсивності, який дозволяє оцінити дії КСВ по маси $Q_{мс}$, яка вибухає за 1мс, і який визначається з виразу:

$$K_{int} = \frac{Q_{заг}}{\tau_{заг}} \quad (1)$$

де $\tau_{заг}$ - загальний час розвитку вибуху, в тому числі, внутрішньогрупових сповільнення та часу протікання дитонації в хвилеводі, мс; $Q_{заг}$ - загальна маса ВР, кг.

Графік залежності масової швидкості коливань від коефіцієнта інтенсивності сейсмічних коливань, окремо для систем типу «Нонель» та КЗДШ і ЄДКЗ, зображений на рис.3. Ця залежність чітко виражає різницю між показниками різних систем ініціювання. Не зважаючи на те, що інтервали сповільнень між групами (ті, що більші 20 мс, виходячи з ЄПБВР) різних систем ініціювання можуть бути однаковими, але для систем типу «нонель», коефіцієнт інтенсивності сейсмічних коливань має значно менші значення. Причиною цього явища є наявність внутрішньогрупових сповільнень у НСІ типу «нонель», та, відповідно, їх відсутність у інших систем.

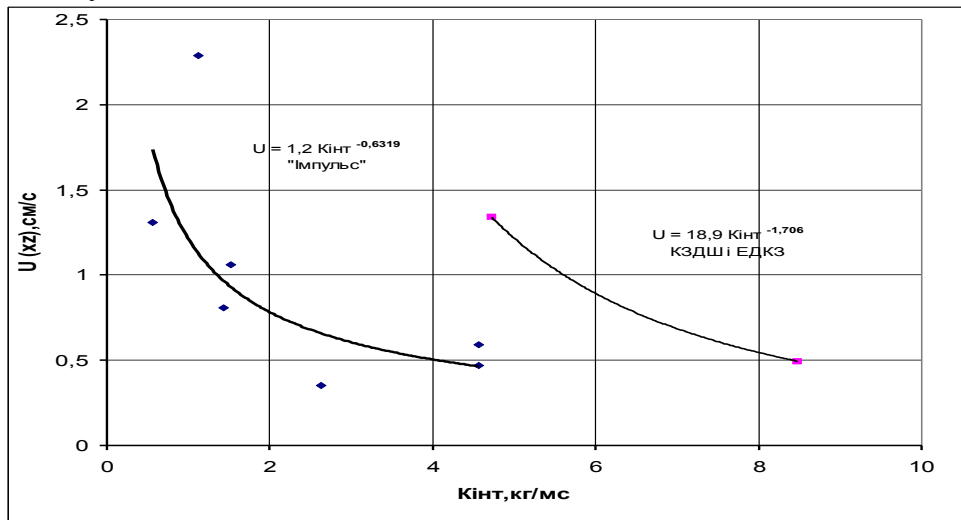


Рис.3 Залежність масової швидкості коливань від коефіцієнта інтенсивності сейсмічних хвиль, для схем з різними системами ініціювання

На основі приведених вище досліджень в промислових умовах була визначена сейсмічна дія КСВ (схем з різною системою ініціювання зарядів ВР, які послідовно з'єднані різними системами в одну схему вибуху) в залежності від рівня режиму розвитку вибуху в часі всіх зарядів ВР з інтервалами сповільнення, в тому числі й внутрішньогрупових та часу протікання детонаційного процесу по хвилеводу, яка може проводити сейсмопрогноз КСВ по коефіцієнту сейсмічної інтенсивності (фор.1.). Висока надійність по сейсмостійкості будівель цього метода забезпечується тим, що прийняті допустимі кількості заряду ВР, що підривається миттєво за одиницю часу (рис.4) на основі чого розроблені рекомендації по визначенню масштабів масових вибухів, які не несуть шкоду цим об'єктам.

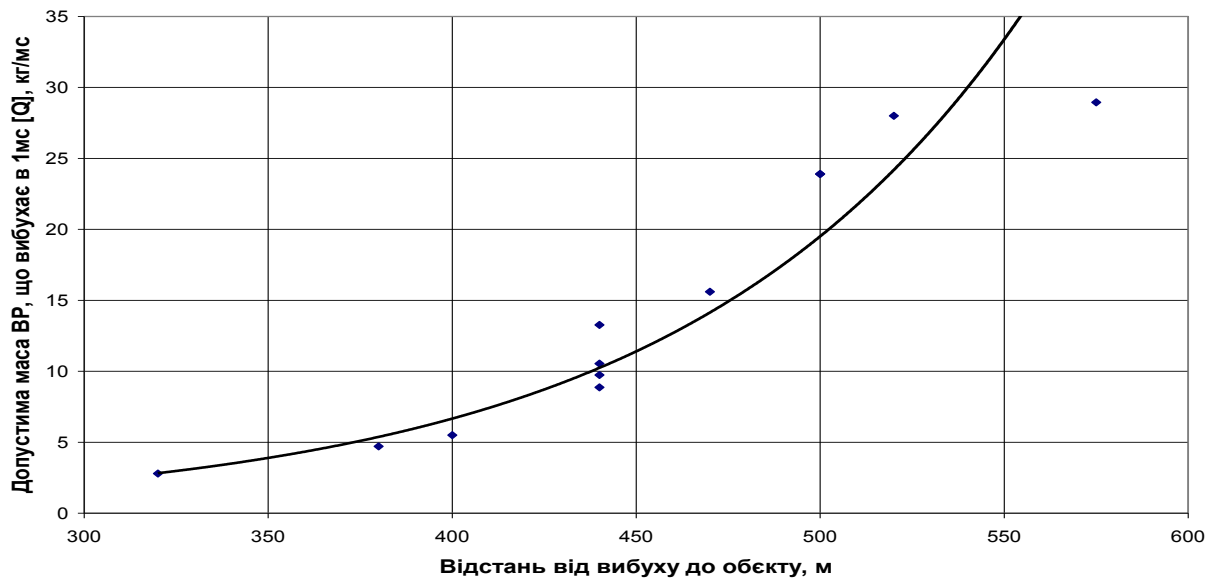


Рис.4. Залежність допустимої максимальної маси ВР, що може вибухнути за 1 мс в залежності від відстані до епіцентру вибуху.

Список літератури

1. Кравець В.Г. Динаміка ущільнення ґрунтового масиву вибухом / Віктор Георгійович Кравець. – Київ: Наук. думка, 1979. – 134 с.
2. Родіонов В.Н. Механічний ефект підземного вибуху /В.Н. Родіонов, В.В. Адушкин, В.Н. Костюченко, В.Н. Миколаївський, А.Н. Ромашов, В.М. Цветков. - М.: Надра, 1971. - 200 с.
3. Повышение безопасности взрывных работ при использовании новых систем и схем инициирования скважинных зарядов взрывчатых веществ./ В.Г. Кравец, В.Д. Воробьев, А.З. Маргарян, В.В.Бойко //Вісник НТУУ «КПІ», Серія «Гірництво» . Випуск 13, 2006. - с.99-107.
4. Кравец В.Г. Оценка безопасности и экономической целесообразности использования неэлектрических систем инициирования при массовых взрывах./ В.Г.Кравец., В.В.Бойко, А.П.Толкач //Вісник НТУУ «КПІ», Серія «Гірництво» . Випуск 14 , 2006. - с.125-132.
5. Основи теорії й методи вибухового дроблення гірських порід / Під ред. В.М. Комира. – К.: Наук. Думка, 1979. – 224.
6. Фролов О.О. Теоретичні передумови розрахунку об'єму руйнування гірських порід під година вибуху систем подовжених зарядів / Олександр Олександрович Фролов // Вісник НТТУ «КПІ», Серія «Гірництво»: Зб. Наук. Праць. – К.: НТТУ «КПІ». – 2008. – Вип.. 16. – С. 13 – 16.
7. Баум Ф.А. Фізика вибуху / [Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович і ін.] - М.: Наука, 1975. - 704 с.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ КСП В ПРИСУТНОСТІ ВИРАЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПОДІЛУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

*Мілюков В. В. аспірант НТУУ «КПІ», Кафедра геобудівництва та гірничих технологій,
Бойко В.В. аспірант Інституту гідромеханіки НАНУ*

Анотація. Визначена необхідність управляти детонаційними процесами за рахунок сповільнення з дискретністю в 1 мс в умовах присутності виражених поверхонь поділу гірського масиву.

Ключові слова: сповільнене підривання, детонатори, неелектричні системи ініціювання, схеми підривання, різноміцні та шаруваті гірські породи.

Вступ. На кар'єрах, що розробляють скельні гірські породи, вибухові роботи є вирішальною ланкою, яка багато в чому визначає ефективність усіх подальших технологічних процесів видобування й переробки корисних копалин. Гірські породи, що відробляються, характеризуються складною геологічною структурою, представленою шарами або блоками. Нерідко властивості шарів, що контактують, настільки відрізняються, що їх потрібно розглядати як різноманітні середовища. Спостереження показують, що майже в кожному виїмковому блоці є різноміцні шари гірських порід. Маємо в області контакту різноміцних шарів особливий зв'язок, що не підпорядковується законам суцільного середовища з певними особливостями механізму вибухового руйнування.

Мета роботи. Підвищення ефективності і якості вибухової відбійки за рахунок інтенсифікації дроблення гірських порід на основі розрахунку інтервалів сповільнення при руйнуванні різноміцних та шаруватих гірських порід з використання неелектричних систем ініціювання.

Матеріали і результати дослідження. Реальним шляхом досягнення підвищення якості вибухового руйнування гірських порід в умовах розробки корисних копалин на кар'єрах України є розробка системи технологічних методів вибухового руйнування, що базується на максимальній концентрації енергії вибуху та її раціональному перерозподілі в руйнованому масиві.

За останні десятиліття в теорії і практиці вибухових робіт досягнуті значні результати, що істотно змінили вид цього важливого технологічного процесу. В якості засобу ініціювання при масових вибухах в даний час широко застосовуються неелектричні системи ініціювання (НСІ).

Широке застосування на гірничодобувних підприємствах СНД знайшли в основному наступні види НСІ. Це дві російські системи: «СИНВ» і «Еділін», системи «NONEL» фірми «DINO NOBEL» (Швеція), «PRIMADET» фірми «ENSIGN-BICKFORD» (США) та системи «Імпульс» (Україна).

На перших етапах застосування НСІ у вітчизняній практиці основна увага була направлена на удосконалення та досягнення безвідмовного підривання. В подальшому ставилась задача інтенсифікації дроблення. При відпрацьованих параметрах сітки свердловин для найбільш поширених типів ВР цього можна досягти правильним вибором схем підривання і інтервалів уповільнення між рядами або/та свердловинами. Тому обґрунтування і вибір раціональних інтервалів уповільнення підривання є актуальним питанням.

Перспективність НСІ полягає в розширенні можливостей управління енергією вибуху в частині тривалості загального часу дії вибуху на масив, спрямованості проходження вибуху по свердловинах, зниження сейсмічної дії вибуху.

Оцінка основних показників руйнування породи характеризується компактною формою розвалу підірваної гірської маси, що сприяє зниженню втрат і збіднення; зменшенням виходу негабариту; поліпшенням якості опрацювання підосви і зниженням сейсмічного ефекту [1]. Поліпшення перерахованих показників може досягатися багатократним вибуховим навантаженням масиву гірських порід, при реалізації принципу «одна свердловина – одне уповільнення».

Особливо значущий принцип «одна свердловина – одне уповільнення», коли мають місце випадкові фактори пов'язані з наявністю в масиві шарів і блоків різномісних порід. Руйнування таких масивів гірських порід відрізняється від однорідного масиву тим, що наявність поверхонь контакту суттєво впливає на ступінь розподілення енергії хвиль напружень під вибуху зарядів ВР [4], а отже і на процес руйнування.

Для вивчення закономірностей руйнування гірських порід складної гірничо-геологічною шаруватої структури необхідно визначити вплив характеристик міцності пластів на розподіл енергії в масиві. У лабораторних умовах досліджували вплив фізичних властивостей шарів на перехід енергії імпульсу хвиль напруг з одного шару в інший [5]. У результаті встановлено, що в зоні контакту різномісних шарів при переході з одного шару в суміжний імпульс хвилі напруг втрачає свою енергію стрибкоподібно. Втрати енергії зростають із збільшенням різниці акустичної жорсткості суміжних шарів або матеріалів. Так, при переході вибухового імпульсу з бетону в бетон з однаковими фізичними властивостями втрати енергії імпульсу хвиль напруг внаслідок відбитої хвилі стиску складають всього 7 %. При переході вибухового імпульсу з бетону у вапняк з орієнтуванням його шаруватості перпендикулярно контакту втрати енергії перехідного імпульсу склали більше 10%, хоча за акустичною жорсткістю ці матеріали майже однакові. Це пояснюється різноманітними текстурними особливостями матеріалів. Зі збільшенням розходження фізичних властивостей моделей втрати енергії вибухового імпульсу в приконтактній зоні різко зростають.

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням рівномірності суміжних шарів масиву ступінь нерівномірності енергії імпульсу хвилі напруги в приконтактній зоні збільшується.

Ефективність застосування «класичних» схем короткосповільненого підривання та стандартних інтервалів сповільнення падає при наявності різномісних порід, масивів складених з шарів, блоків чи присутності магістральної тріщини. Це веде до необхідності вдосконалення методики розрахунку мілісекундного сповільнення між свердловинами.

Враховуючи розташування площини контакту, акустичні жорсткості контактуючих шарів гірських порід і параметри уступу [6], можна визначити інтервал уповільнення вибуху заряду. Є дві свердловини між якими знаходить межа поділу різномісних гірських порід (рис. 1) Час, необхідний для створення падаючих ударних хвиль на межі поділу різномісних порід, можна визначити за формулою:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{l_1 + l_2}{D} \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{l_1}{C_1} + \frac{H_3}{C_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{H}{C_1} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (3)$$

$$t_3 = \frac{l_2 - \dot{I}_{\text{об}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{C_2} \quad (4)$$

де l_1 і l_2 - відстані від контактів шарів (береться по поверхні) до вертикальної осі першої і другої свердловин; D - швидкість детонації хвилеводу; C_1 та C_2 - швидкості звукової поздовжньої хвилі відповідно першому і другому прошарках; H_3 - висота інерційної забійки; I - висота заряду без врахування заряду в перебуді; $I_{\text{ано}}$ - висота уступу; α - кут нахилу площини контакту шарів до горизонту.

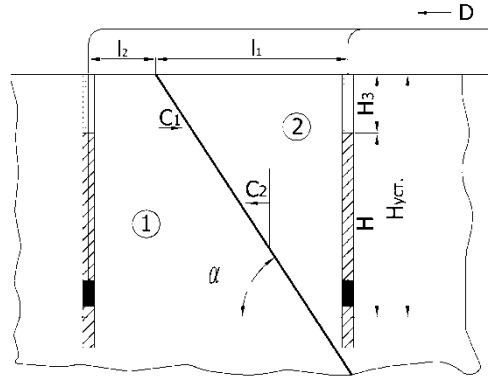


Рис. 1 Схема до визначення інтервалу сповільнення при короткочасному підіриванні свердловинних зарядів у приконтатних зонах різномісних порід.

Підставляючи значення (1), (2), (3) в формула (4) одержуємо формулу (5):

$$t = \frac{l_1 + l_2}{D} + \frac{l_1}{C_1} + \frac{H_3}{C_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{H}{C_1} \cdot \operatorname{ctg} \alpha + \frac{l_2 - I_{\text{ано}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{C_2} \quad (5)$$

Важливим під час проектування схеми підіривання є врахування поверхні поділу. Розрахунок часу уповільнення між свердловинами базується на адаптації напрямку фронту ударної хвилі до вимог ефективного руйнування масиву, тобто скерування фронту хвилі паралельно системі тріщин через мілісекундне сповільнення (рис. 2).

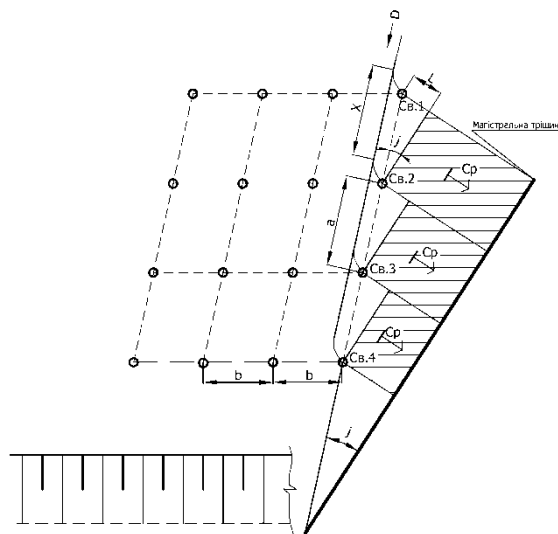


Рис. 2 Схема для визначення інтервалів сповільнення при вибуховому підіриванні масиву з врахування поверхні поділу.

Час, необхідний для розвороту фронту ударної хвилі паралельно системи тріщин:

$$\Delta\tau = \frac{L}{C_p} = \frac{a \cdot \sin j}{C_p} \quad (6)$$

де L - відстань розвороту ударної хвилі по нормальній до поверхні розділу; C_p - швидкість звукової поздовжньої хвилі; a - відстань між рядами; j - кут між віссю розташування свердловин в ряду до поверхні розділу масиву.

Знаходимо різницю часу початку ініціювання одиночних свердловинних зарядів в ряду на прикладі Св.1 та Св.2:

$$\tau_{1-2} = \frac{X}{D} \quad (7)$$

де X - довжина поверхневого хвилеводу; D - швидкість детонації хвилеводу.

Однак, середня швидкість звукової поздовжньої хвилі в породі 6000 м/с і швидкість проходження ініціюючого сигналу по хвилеводу (для СИНВ $\approx$ 2000 м/с, NONEL - 2100 м/с, Primadet - 2000 м/с), маємо відмінність в 3 рази. Це призводить до того, що розворот ударної хвилі відбудеться швидше ніж ініціюючий імпульс досягне наступної свердловини. Вирівняти фронт ударної хвилі можна за рахунок створення додаткового мілісекундне сповільнення для Св. 1 на величину з формули (7). В решті отримуємо формулу визначення сповільнення Св.1:

$$t_{\text{На.1}} = \frac{X \cdot C_p - D \cdot a \cdot \sin j}{D \cdot C_p} \quad (8)$$

Маючи швидкоплинний процес розвороту ударної хвилі до заданого напрямку потрібне сповільнення з дискретністю в 1 мс. Необхідні ініціюючі засоби, які могли дати відповідні значення мілісекундного сповільнення.

Так, на полігоні Кіровської копальні ВАТ "Апатит" були проведені порівняльні випробування на час спрацювання НСІ - СИНВ, Primadet і Nonel. [2,3].

Виміри проводилися методом розриву дротика з фіксацією часу спрацювання цифровим приладом для визначення часових інтервалів (ИВИАЦ-1М) і комп'ютеризованим комплексом BlastCap. Результати вимірів часу спрацювання свердловинних і поверхневих сповільнювачів представлені в табл.1.

Таблиця 1 - Результати вимірів часу спрацювання сповільнювачів

№ п/п	Марка	Номінальний час спрацювання, мс	Дані вимірювань, мс
СИНВ			
1.	СИНВ-С	500	
	1 партія		583 - 543
	2 партія		465 - 551
	3 партія		568 - 582
	4 партія		540 - 601
2.	СИНВ-С	450	442 - 490
3.	СИНВ-П	17	16 - 20

4.	СИНВ-П	25	26 - 30
Продовження таблиці 1			
5.	СИНВ-П	42	41 – 45
6.	СИНВ-П	67	71 - 80
7.	СИНВ-П	109	111 - 116
Nonel			
1.	U475	475	496 - 498
2.	U500	500	520 - 528
3.	SL	109	112 - 114
4.	SL	67	67 - 69
5.	SL	42	42 - 49
6.	SL	25	25 - 27
7.	SL	17	15 – 17
PRIMADET			
1.	MS-20	500	511– 516
2.	MS-22	550	556 - 571
3.	EZT L	109	103 - 109
4.	EZT L	67	62 - 64
5.	EZT L	42	37 - 41
6.	EZT L	25	22 - 25
7.	EZT L	17	14 – 17

Як витікає з таблиці розглянуті НСІ мають відхилення від встановленого номіналу, причому, чим більше інтервал уповільнення, тим більше відхилення. Це говорить про те, що уповільнювачі приведених систем не дають можливості управляти детонаційними процесами в необхідному обсязі та не забезпечують діапазон сповільнення від 1 мс з дискретністю в 1 мс.

Для досягнення потрібного сповільнення в НСІ, пропонується корегувати довжиною хвилеводу. Це пояснюється сталою швидкістю проходження ініціюючого сигналу по хвилеводу після відрізка розгону приблизно 1,5 м. Дослід проводився для системи Nonel. Наприклад, створення сповільнення в 1 мс досягається зміною довжини хвилеводу на 2,1 м ($D=2100$ м/с).

За рахунок використання мілісекундного сповільнення значно покращується доля корисної енергії вибуху шляхом керування детонаційними процесами у руйнованому блоці масиву з врахування поверхні, що розділяє масив на блоки.

Висновок. Наведені результати спрямовані на підвищення інтенсивності та якості вибухового руйнування різномісних та шаруватих гірських порід у приконтатних зонах. Розглянутий підхід до визначення інтервалу сповільнення вибуху заряду при руйнуванні різномісних порід дозволяє запропонувати метод розрахунку на визначення часу, що необхідний для розвороту фронту ударної хвилі паралельно системі тріщин. Визначена необхідність управляти детонаційними процесами за рахунок сповільнення від 1 мс з дискретністю в 1 мс. Запропоновано метод досягнення необхідного уповільнення шляхом зміни довжини хвилеводу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бирик И.П., Кустиков Т.П., Коломников С.С. Особенности неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов// Горный вестник Узбекистана № 3, 2003, с. 55-57.

2. Григорьев А.В., Листопад Г.Г., Доильцын В.М. и др. Опыт и перспективы применения систем инициирования на карьерах ОАО «Апатит», Горный журнал № 8, 2001, с. 37-40.

3. Козырев С.А., Соколов А.В. (Горный институт КНЦ РАН), Доильцын В.М. (ОАО «Апатит»). Повышение эффективности скважинной отбойки на рудниках Хибин при использовании систем неэлектрического инициирования зарядов. Сообщение на Четвертой международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород», 18-22 октября, 2004, г. Москва, ИПКОН РАН.

4. Кучерявый Ф. И. Влияние структуры и текстуры горного массива на характер его разрушения. – в кн.: Механизм разрушения горных пород взрывом: Материалы науч. семинара. Киев, 1971, с. 96-108.

5. Федоренко П. И, Ртищев Б. А, Удалов В. Н. Влияние разнопрочности контактирующих горных пород на характер распределения энергии взрыва заряда ВВ// Разработка рудных месторождений, вып. 38, 1984 г., с. 43-46

6. Федоренко П. И, Бизов В. Ф. Вибухові роботи. Том Х. Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Кривий Ріг: Мінерал, 2001 р. - 230 с.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СЕЙСМОБЕЗПЕЧНИХ ВІДСТАНЕЙ ПРИ ГІРСЬКИХ УДАРАХ

Кравець В.Г., д.т.н., проф., Бойко В.В. ас. (НТУУ «КПІ»)

В статті пропонується метод розрахунку сейсмобезпечних відстаней при гірських ударах. Розрахункові передують етапи, пов'язані з аналітичними дослідженнями та аналізом акселерограф, одержаних на шахті при гірничих ударах різної енергії та в різних місцях.

Враховуючи, що гірський масив, що складає надшахтну товщу з різних типів порід є анізотропічним, навколо вогнища гірничого удару (або вибуху) утворюються ізосейсми еліпсоподібної форми [1,2]. В такому випадку можливо використовувати рівняння еліпсу, канонічний вигляд якого такий:

$$x^2 / a^2 + y^2 / b^2 = 1. \quad (1)$$

де a, b – велика і мала вісі еліпсу відповідно.

У полярних координатах:

$$x = \rho \cos \varphi; \quad y = \rho \sin \varphi \quad (2)$$

де ρ, φ - відповідно полярні радіус і кут.

Підставляючи в (2) в (1) та враховуючи, що $\sin^2 \varphi = 1 - \cos^2 \varphi$, отримаємо формулу для визначення полярного радіуса:

$$\rho = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + (b^2 - a^2) \cos^2 \varphi}}. \quad (3)$$

Згідно із законом динамічної подібності, радіуси великої R_1 та малої R_2 вісей зони сейсмобезпечності розраховуються за формулами:

$$R_1 = K_y (K_1 : [V])^{\frac{1}{\nu_1}} \sqrt[3]{Q} \quad (4)$$

$$R_2 = K_y (K_2 : [V])^{\frac{1}{\nu_2}} \sqrt[3]{Q}$$

де K_y - коефіцієнт, який враховує умови гірничого удару (вибуху); K_1, K_2 - коефіцієнти пропорційності відповідно паралельному та перпендикулярному простягання пластів надшахтних порід; $[V]$ - швидкість допустимого рівня коливань, см/с; ν_1, ν_2 - показники ступенів затухання відповідно паралельному та перпендикулярному простягання пластів надшахтних порід; Q – енергія гірничого удару, дж.

Враховуючи, що зона ізосейсм завжди розташована в масиві порід так, що велика її вісь співпадає з напрямком простягання пластів надшахтних порід, а мала – перпендикулярна їм, можна вважати з (3), що $R_1=a; R_2=b; \rho=R$.

Підставивши (4) в (3) одержимо залежність для визначення сейсмобезпечної відстані R , (м) на поверхні шахти або безпосередньо в шахті в різних напрямках, гірничого масиву, який складають надшахтну товщу, від епіцентру гірничого удару (вибуху):

$$R = \frac{\left\{ \left[K_y (K_1/[V])^{\frac{1}{v_1}} \right] \left[(K_1/[V])^{\frac{1}{v_1}} \right] \right\} \sqrt[3]{Q}}{\sqrt{(K_1/[V])^{\frac{2}{v_1}} + \left[(K_1/[V])^{\frac{2}{v_1}} - (K_2/[V])^{\frac{2}{v_1}} \right] \cos^2 \varphi}}, \quad (5)$$

де φ - відповідний полярному куту з (2) кут (град.) між радіусом зони ізосейм і профілем II-II (мал.1).

Для обчислення емпіричних коефіцієнтів з формули (5) необхідно отримати дані про реальні надшахтні масиви порід у такій послідовності.

Спочатку визначимо азимут простягання пластів надшахтних порід, до уявного гірничого удару "2" (див. мал. 1). У паралельному і перпендикулярному напрямках цього простягання задаються в профілі вимірювань I-I і II-II. На кожному профілі встановлюється не менше двох точок реєстрації коливань: ("а", "б" - профіль I-I; "в", "г" - профіль II-II), з відстанями між ними r_a, r_b, r_v, r_z . Записи коливань часток породи від вибуху в усіх точках по кожному профілю реєструються одночасно. Швидкість коливань у кожній точці заміру V_a, V_b, V_v, V_z визначається шляхом розшифровки магнітограм від вибуху у висадженому блоці.

Підставивши у формули (4) значення приведених енергій для кожної із точок профілю, одержимо системи з двох рівнянь для визначення швидкостей коливань по кожному профілю окремо.

Паралельно простягання пластів надшахтних порід (профіль I-I):

$$\begin{cases} V_a = K_y K_1 \left(\sqrt[3]{Q}/r_a \right)^{v_1}; \\ V_b = K_y K_1 \left(\sqrt[3]{Q}/r_b \right)^{v_1}. \end{cases} \quad (6)$$

Перпендикулярно простягання пластів надшахтних порід (профіль II-II):

$$\begin{cases} V_v = K_y K_2 \left(\sqrt[3]{Q}/r_v \right)^{v_2}; \\ V_z = K_y K_2 \left(\sqrt[3]{Q}/r_z \right)^{v_2}. \end{cases} \quad (7)$$

Знаючи енергію, епіцентрально відстань до гірничого удару і до кожної точки (r_a, r_b, r_v, r_z) і враховуючи, що коефіцієнт $K_y=1$ для прийнятих умов вибуху, визначимо коефіцієнти K_1 і v_1 з розв'язку системи рівнянь (6):

$$K_1 = \frac{V_a}{\left(\sqrt[3]{Q}/r_a \right)^{v_1}}; \quad (8)$$

$$v_1 = [\ln(V_b/V_a)]/[\ln(r_a/r_b)],$$

а K_2 і v_2 – розв'язком системи рівнянь (7):

$$K_2 = \frac{V_6}{\left(\sqrt[3]{Q}/r_6\right)^{\nu_2}};$$

$$\nu_2 = \left[\ln(V_2/V_6)\right]/\left[\ln(r_6/r_2)\right]. \quad (9)$$

Визначені по формулам (8) та (9) значення коефіцієнтів підставлені в (5) дають змогу отримати емпіричну залежність для розрахунку сейсмобезпечної відстані з послідуною побудовою меж сейсмобезпечності, в конкретних умовах місцевості, в якій розташована шахта та прилеглі до неї на поверхні чи в самій шахті об'єкти, що охороняються. Нижче приводиться таблиця 1 даних про гірничі удари та результати виміру прискорення на поверхні шахти

Таблиця 1

№п/п	№	Енергія удару(Q), дж	Епіцентрально відстань(r), м	Прискорення(A), мм/с ²
1	535	6,5 10 ³	138	51
2	--	2,6 10 ⁴	277	94
3	--	3 10 ⁴	319	44
4	--	9,3 10 ³	310	67
5	603	2,1 10 ⁴	246	48
6	-	1,0 10 ⁴	284	36
7	--	4,1 10 ⁴	325	117
8	534	2,6 10 ⁴	475	24
9	--	4,2 10 ⁴	340	57

Для проведення розрахунку сейсмобезпечних відстаней із таблиці 1 в рамках однієї ділянки наприклад 535 вибираємо по два значення прискорення (A) і знаходимо швидкість (V, см/с)

$$V_1 = T A_1 / 2\pi = 0,37 \cdot 51 / 2\pi = 0,3;$$

$$V_2 = T A_2 / 2\pi = 0,37 \cdot 94 / 2\pi = 0,47$$

Складаємо систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = K \left(\sqrt[3]{Q}/r_1 \right)^{\nu} ; \\ V_2 = K \left(\sqrt[3]{Q}/r_2 \right)^{\nu} . \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,3 = K \left(\sqrt[3]{6,510}/138 \right)^{\nu} ; \\ 0,47 = K \left(\sqrt[3]{2,610}/277 \right)^{\nu} . \end{array} \right.$$

$$\nu = \left[\ln(V_1/V_2)\right]/\left[\ln(r_1/r_2)\right] = 1,8.$$

$$K = \frac{V_1}{\left(\sqrt[3]{Q_1/r_1}\right)^v} = 18,75$$

$$R=K/[V]^{1/v}Q^{1/3} = 18,75/[1,0]^{1/1,8}Q^{1/3}, \text{ м - №535}$$

$$R=K/[V]^{1/v}Q^{1/3} = 24,20/[1,0]^{1/1,78}Q^{1/3}, \text{ м - № 603}$$

В результаті отримані коеф. в формулі $K= 18,75$ та $24,20$ $=1,8$ та $1,78$ для умов №535 та №603

Результати визначення сейсмобезпечних відстаней приведені в табл.2

№	Q,дж	$3,4 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^7$
535	R _б для [V]=1см/с	18,75	521	1039	2074	4138
603	- -	24,20	672	1341	2677	5341
535	R _б для [V]=2см/с	12,67	352	702	1400	2796
603	- -	16,46	458	913	1820	3633

Список літератури.

1. Бойко В.В., Іванов В.В., Воробйов В.Д., Мітюк Л.О. Про класифікацію території України для сеймопрогнозування при підривних роботах. - К.: Вісник НТУУ "КПІ", серія "Гірництво". – 2000. - №3.- С. 95-99.

2. Бойко В.В. Метод побудови та управління межами сейсмобезпечних зон при підривних роботах на кар'єрах України // Проблеми охорони праці в Україні - К.: ННДІОП, 2001. – Вип. 4. – С. 17 - 24.

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕКТОНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНІТНИХ РОДОВИЩ БЛОКОВОГО КАМЕНЮ

В.В. Калюжна, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «КПІ»

О.О. Бузила, аспірант

Національний технічний університет України «КПІ»

Істотною особливістю родовищ граніту є наявність у них системи тріщин, кількість, характер і розташування яких відіграють вирішальну роль в оцінці якості гранітного родовища та встановлення його придатності для видобутку штучного каменю.

Якщо наявність у родовищі граніту правильної системи тріщин з досить великими інтервалами між ними створює сприятливі умови для одержання великих і правильних гранітних блоків, то надмірна тріщинуватість або безладне розташування тріщин і перетинання їх під гострими кутами є серйозною перешкодою для відкриття на такому родовищі кар'єру штучного каменю.

Застосування методу структурного аналізу для виміру тріщин різних гранітних масивів дозволило прийти до висновку, що наявність системи тріщин у гранітних родовищах є цілком закономірним і зв'язано зі структурою, будовою та процесом утворення цих родовищ із магми.

Внаслідок розтяжного зусилля при русі (плину), а також контракційних натягів під час остигання тільки що затверділої гірської породи та інших причин, що діяли під час її утворення, у ній виникають тріщини первинної окремості, насамперед тріщини розтягання. Контракційні тріщини пов'язані зі скороченням маси породи та орієнтовані перпендикулярно стосовно напрямку скорочення.

Напрямок скорочення пов'язаний з положенням охолоджуючої поверхні та зі швидкістю охолодження. При повільному остиганні глибинних інтрузивних тіл вся маса породи остигає як одне ціле.

Виникають тріщини по окраїнах масиву, паралельні контактам з бічними породами, і виходить плитоподібна окремість, чим більш тонка, тим скоріше відбувається охолодження. Якщо ще при цьому виникають тріщини, перпендикулярні контактам, окремість приймає форму паралелепіпеду.

При охолодженні шароподібних тіл інтрузивних покладів, потоків і т. д. скорочення в щільності потоку, більш сильне, ніж у перпендикулярному напрямку, викликає сильний розвиток тріщин, перпендикулярних поверхонь потоку, і виникає окремість призматична або стовпчаста.

Окремість у вивержених гірських породах є важливою ознакою для з'ясування їхніх тектонічних відносин до навколишніх утворень. Останнім часом більш докладно розроблене дослідниками питання про тектоніку гранітних масивів і про ті тріщини окремості, які з нею пов'язані.

При вивченні та оцінці гранітних родовищ розрізняють первинні та вторинні структури.

У перше поняття включаються первинні текстури плину (лінійні), що проявляються в певному розташуванні зерен породоутворюючих мінералів, що відповідає періоду рідких або пластичних мас магми, а також первинні тріщини, що утворилися в період розламів або розколів у вже отверділому плутоні.

Вторинні структури, що накладають на первинні, є результатом наступних змін гранітних масивів і проявляються в додаткових системах тріщин, які часто роблять родовища непридатними для розробки штучного каменю. Вторинні структури особливо характерні для древніх гранітів геосинклінальних областей, наприклад, кавказьких гранітів.

У гранітах та інших зернистих гірських породах можна розрізнити (Рис. 1) наступні три основних площини:

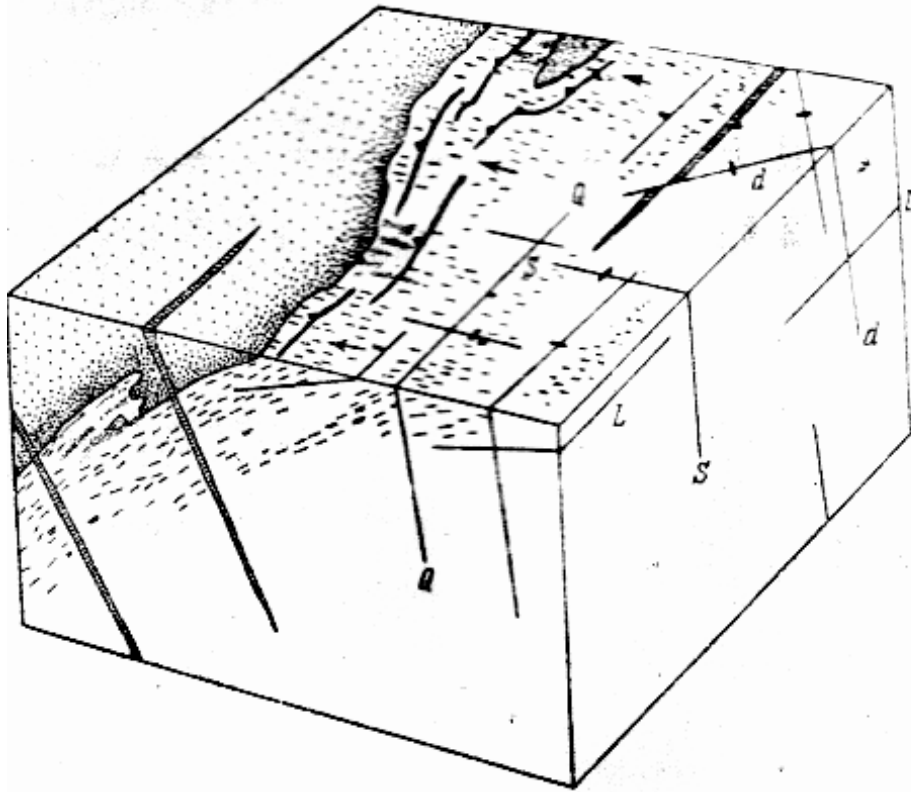


Рисунок 1 – Розташування головних тріщин первинної окремості в інтрузивній породі

1) площина, що відповідає шаруватості або сланцюватості (S), існування якої обумовлено субпаралельним розташуванням головних мінералів породи, особливо польових шпатів і слюд; спайність цих мінералів, очевидно, відіграє істотну роль в утворенні цієї окремості;

2) площина пластової окремості (L), близьку до горизонтальної, тобто перпендикулярну напрямку сили ваги; відповідно до цієї площини граніт розбивається на плитоподібні та матрацевидні окремості, по цьому напрямку йде найкращий розкол граніту, а кількість поздовжніх тріщин досягає 10-14% загального числа тріщин;

3) поперечну площину (Q), перпендикулярну першій площині; вона також крутопадаюча; по ній особливо часто впливають аплітові, пегматитові та порфірові жили, нерідкі скидання та зрушення; кількість їх 75-80% від загального числа тріщин масиву, вони прямі й довгі;

4) діагональні площини (d), що ділять кути, утворені площинами 1 і 3.

По своїх особливостях площина S виявляє сліди стиску, площина Q, навпаки, розтягання. Тому вважають, що тиск, що діяв на гранітну масу, було спрямовано більш-менш перпендикулярно до S і, отже, паралельно Q. Рух (плин) магми відбувався перпендикулярно площині Q, тому ця площина окремості і називається поперечною, її виникнення пов'язують із розтяжними зусиллями, що розвиваються при плинні. Не завжди ці три основних площини досить ясно виражені; іноді замість ясної сланцюватості спостерігається лише лінійна текстура з розташуванням мінералів в одному напрямку,

більш-менш, перпендикулярному площині. Це типовий випадок, коли присутні тільки лінії плинну. Іноді значення площин S і Q стушується внаслідок значного розвитку діагональних тріщин.

Діагональні тріщини (d) більше рідкі.

Однак останніми дослідженнями на гранітних масивах України з'ясувалося, що тріщинна тектоніка не погоджується із прототектонікою (площинним і лінійним паралелізмом). Прототектоніка - нестійка, а тріщинна тектоніка характеризується витриманістю на великій відстані.

Необхідно щоб геологорозвідувальні роботи з пошуків лицувального каменю містили в собі визначення блочності, тобто форми і розмірів можливих блоків і зміни їх із глибиною.

Форма природних блоків визначається розташуванням тріщин, тобто кутами їхнього перетинання. Так, перетинання тріщин під прямими кутами дозволяє виколувати з масиву блоки у формі правильних паралелепіпедів. Якщо ж із трьох систем тріщин дві перетинаються між собою під гострим кутом, то блоки виходять у формі моноклінної призми, внаслідок чого потрібна додаткова обробка блоку, тобто додання йому форми паралелепіпеда шляхом обколювання. При цій обробці блоків губиться до 25-35% їх первісного об'єму у вигляді околу, що приводить до зниження виходу блоків з родовища і значно здорожує їх видобуток.

Розмір можливих блоків визначається величиною інтервалів між тріщинами. Для оцінки гранітного родовища прийнято вказувати частоту тріщин, тобто кількість їх, що доводиться на 10 м оголеної поверхні, де відбувається замір тріщин. Крім того, окремо вказується, скільки із цієї кількості тріщин мають інтервал більше 1 м.

Вивчення тріщинної тектоніки родовища вимагає проведення вимірів тріщин в оголенні або в кар'єрі (рекомендується заміряти підряд 100-200 тріщин у кожному оголенні). Вимірюються азимути падіння і кути нахилу тріщин, а також відстані між ними та кути їхнього перетинання.

Результат дослідження тріщинуватості гранітного родовища можна зобразити графічно у вигляді замальовок положення тріщин у вибоях або оголеннях, схематичних карт розташування тріщин, у вигляді троянди тріщин, що дозволяє тільки визначати частоту тріщин у різних напрямках у плані. На такій полярній діаграмі наносять азимут простягання тріщин, а по цьому напрямку проводять лінію або сектор, довжина яких відповідають відсотку тріщин даного напрямку (в обраному інтервалі азимутів через 1,5 або 10 градусів), і, нарешті, у вигляді кругової діаграми різних типів.

Кругові діаграми тріщинуватості дозволяють оцінювати придатність досліджуваного родовища для розробки. Так, для одержання максимального виходу блоків з родовища найбільше сприятливо:

- 1) наявність не менш трьох максимумів;
- 2) мала величина коефіцієнта частоти тріщин, а другий показник частоти (кількість інтервалів більше 1 м) наближається до загальної частоти;
- 3) кути між максимумами - прямі або близькі до них.

Зіставлення діаграм полюсів тріщинуватості сприятливих розробці родовищ для одержання штучного каменю наведено на рисунку 2.

Родовища кам'яних будівельних матеріалів (граніт, лабрадорит, габро та ін.) відповідно до існуючої інструкції відносяться до першої групи родовищ і розвідуються квадратною, рівномірною сіткою з відстанню між розвідницькими виробками: для запасів категорії А - 200 ÷ 300 м, категорії В - 300 ÷ 500 м, не залежно від цільового призначення каменю (дорожньо-будівельні або декоративно-лицувальні матеріали).

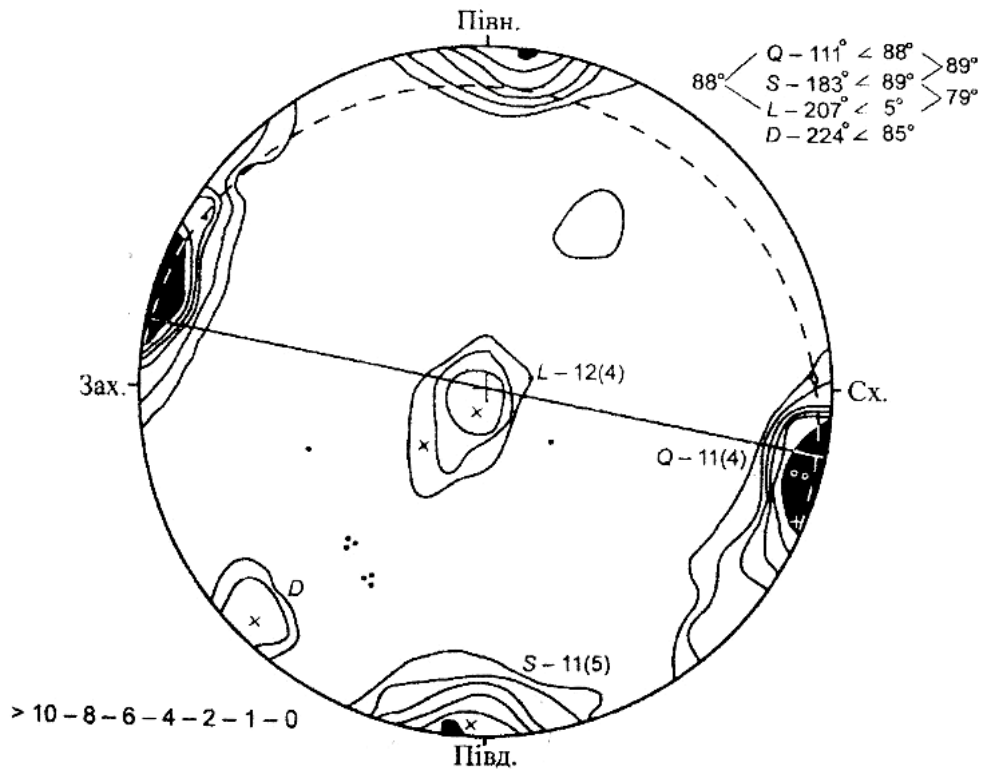


Рисунок 2 – Діаграма тріщинуватості граніту Соколовогірського кар'єру Житомирської області (189 вимірів) в ізолініях: $\diamond$ - полюс волокнистості; $\bullet$ – пегматитові жили; $\times$ - шліри; $\cup$ - площинний паралелізм; — - площина найкращого розколу; $\times$ - центр максимуму.

Вихід лицувального каменю у відсотках від гірської маси корисної копалини в процесі детальної розвідки родовищ установлюється на підставі пробного видобутку граніту в кількості, порядку 100 м³ (у випадку, якщо родовище, що розвідується не розробляється), або на підставі експлуатаційних даних кар'єрів (у випадку розробки родовища).

Фізико-механічні властивості встановлюються за даними лабораторних досліджень штафних проб, відібраних зі стінок виробок, без застосування підривних робіт, або ж за результатами дослідження керна свердловин.

Варто сказати, що властивості гірських порід, узятих у вигляді лабораторних зразків і порід, які знаходяться в масиві, розрізняються по тріщинуватості і неоднорідності. Відповідність розмірів і частота тріщин зразка різко відмінні від аналогічних співвідношень у масиві. Ці розходження порушують подобу образу в масиві і оцінюються вони впливом масштабного ефекту.

У лабораторних умовах зразки порід найчастіше випробовують у стані одноосового стиску. Багато дослідників вважають, що цілики можна розраховувати на міцність по опору одноосовому стиску. Однак в умовах, коли розміри масивів у площині шару в багато разів перевищують розміри по потужності шару, при наявності тертя між шаром і бічними породами, такі масиви фактично перебувають у стані об'ємного стиску.

Тому при судженні про міцність масивів варто враховувати вплив об'ємного напруженого стану. Крім того, у масиві може спостерігатися явище віджиму, що не проявляється при випробуванні зразків у лабораторних умовах.

Гірські породи в масиві піддавалися тиску вище лежачих і навколишніх порід протягом геологічних періодів часу, вимірюваних мільйонами років. Тому їхня деформація обумовлена впливом тривалих навантажень.

Узяті з масиву проби гірських порід на якийсь час звільняються від цього гірського тиску, у зразках виникають явища релаксації (звичайно необоротні) і змінюються фізико-механічні властивості зразків.

Як би обережно не відокремлювали зразки гірських порід від масиву і транспортували їх у лабораторію, при цьому неминуче будуть відбуватися два процеси. З одного боку, ряд найбільш великих тріщин і пороків буде розкриватися. З іншої сторони на поверхні зразків при їхній обробці можуть виникнути нові тріщини і послаблення, які також змінюють властивості зразків.

Викладена вище, в основних рисах, методика проведення детальних геолого-розвідницьких робіт на гранітних кар'єрах і, тим більше, на родовищах, призначених для видобутку штучного каменю, має ряд істотних недоліків. Про це свідчать експлуатаційні дані цілого ряду детально розвіданих родовищ граніту.

Так, наприклад, Лезніковське родовище червоного граніту (Житомирська область Володар-Волинський район) в 1936 році розвідано Укргеолуправлінням на площі 8 га. В 1950 році розвідницькими роботами, проведеними Одеською геолого-розвідницькою експедицією, площа детальної розвідки родовища розширена до 22 га.

На підставі проведених розвідницьких робіт затверджені запаси граніту як сировини для виробництва штучної гранітної продукції з виходом блоків 9.8% і дрібного тесу 4.6%.

Блочність граніту на всій розвіданій площі родовища (22 га) прийнята на підставі експлуатаційних даних кар'єроуправління, що при подальшій розробці родовища незабаром різко знизилася. Ця обставина змусила підприємство припинити почате будівництво камнеоброблювального заводу і перейти в основному на випуск щебенів і буту.

Таким чином, через неправильну оцінку запасів Лезніковського родовища в частині блочності були невинуватно витрачені значні засоби на проектні роботи і почате будівництво камнеоброблюючого заводу.

Аналогічні явища, тобто невідповідність між проектними і експлуатаційними даними через недостатню вивченість блочності мають місце і на інших родовищах лицювального каменю.

Порівнюючи експлуатаційні дані з геологічними даними детальних розвідок, розроблювальних родовищ, варто вважати основним критерієм в оцінці блочності та декоративно-лицювальних якостей родовища керни свердловин, отримані в процесі детальної розвідки і у випадку розробки родовища, як доповнення до цього - детальну документацію кар'єру.

Що стосується статистичних даних по виходу блокового каменю при розробці родовищ, то вони можуть мати орієнтовні значення.

Свердловини, за умови ретельної документації кернів, у порівнянні із пробною експлуатацією і статистичними даними, дають більш задовільні результати для оцінки блочності.

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ МЕТРОТУНЕЛЮ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ В ВОДОНАСИЧЕНИХ ПІСКАХ

Жмуденко О.С. к.т.н., Бородай С.А., магістрант (Національний технічний університет України «КПІ»)

Вступ. Найбільш прогнозованою прикметою сучасності є збільшення інтенсивності розвитку мегаполісів. Спільність законів життєдіяльності у надземному і підземному просторі великих міст визначає єдиний механізм освоєння життєвого простору і середовища перебування людини. Засвоєння підземного простору, використання його для задоволення потреб мегаполісу є однією з проблем розвитку великих міст. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності забудови міст – це планомірне використання підземного простору.

Проектування і спорудження підземних споруд завжди враховує:

- рельєф місцевості;
- наявність існуючих наземних і підземних споруд і комунікацій;
- результати інженерно-геологічних досліджень.

Особлива увага звертається на взаємодію підземної споруди з оточуючим ґрунтами, додаткові навантаження і впливи на споруду, коливання рівня ґрунтових вод тощо.

При складних інженерно-геологічних умовах виникає необхідність в обґрунтуванні і ефективному використанні спеціальних методів будівництва, до яких відносять штучне водопониження, хімічне закріплення і тампонаж слабких ґрунтів, влаштування «стіни в ґрунті», спорудження опускних колодязів, анкерне кріплення тощо.

Спочатку проведення метротунелів з глибоким закладанням було обрано внаслідок спеціального призначення на період воєнного часу. Було віддано перевагу породам, які залягають на глибині і мають потужність, в якій можна розмістити необхідну споруду. В результаті, під час проектно́ї розробки для Києва були обрані варіанти глибокого закладання ліній метрополітену у стійких потужних спондилових глинах. Загалом метрополітени глибокого закладання можна віднести до високозатратних з фінансової точки зору, як при будівництві, так і при експлуатації.

Перехід до виключно цивільного призначення метро сприяло переходу до будівництва ліній метрополітену мілко́го закладання. Цей спосіб проведення тунелів є економічно обґрунтованим і технологічно доцільним.

Аналіз стану проблеми Головна задача, яка постає в даних умовах – це забезпечення нормальної експлуатації підземних споруд. Тому аналіз механічних процесів у ґрунтовому масиві повинен надавати прогноз можливих процесів, які можуть порушувати безпеку експлуатації підземної споруди.

В ряду випадків підземні води змінюють властивості ґрунтів. Деякі глини, наприклад, при зволоженні набухають і важко розробляються. Глинисті сланці при потраплянні води втрачають стійкість. Насичені водою піски легко віддають воду при проходці виробки, що потребує попереднього осушення. Тонкозернисті піски з домішками лесових частинок здатні утримувати воду і перетворюватись в пливуні. Проходка в таких умовах дуже складна і потребує застосування спеціальних способів.

Підземні води являються важливим фактором, який потрібно враховувати при проектуванні метрополітену: вибору траси, застосуванні тих чи інших конструкцій, способах гідроізоляції, складання проекту організації будівництва.

При проведенні інженерно-геологічних вишукувань визначають наявність підземних вод, їхній характер, хімічний склад, очікувані водопритоки при проходці.

Закладання підземних споруд в зоні слабких водоносних порід пов'язано з труднощами організаційного і технологічного характеру, додатково застосовуються спеціальні способи, які компонується в єдиний технологічний процес спорудження виробки.

Перетинання зон водоносних нестійких порід значно ускладнює будівельні роботи, викликає можливість аварійних ситуацій, причина яких пов'язана з порушенням рівноваги геофільтраційного стану породного масиву поблизу виробок. Ще більше ускладнюється ситуація у випадку впливу на виробки поверхневих інженерних споруд.

Загальна схема інженерної задачі для підземної споруди має вигляд: аналіз механічних процесів – розробка технічних заходів для забезпечення нормальної експлуатації тунелю. Зручність для інженерного аналізу представляє розрахункова схема взаємодії масиву порід з підземними спорудами.

Далі проаналізуємо можливі розрахункові схеми на прикладі проходки тунелю в геологічних умовах будівництва метрополітену мілкого закладання на дільниці Сирецько-Печерської лінії від ст. «Харківська» до ст. «Бориспільська».

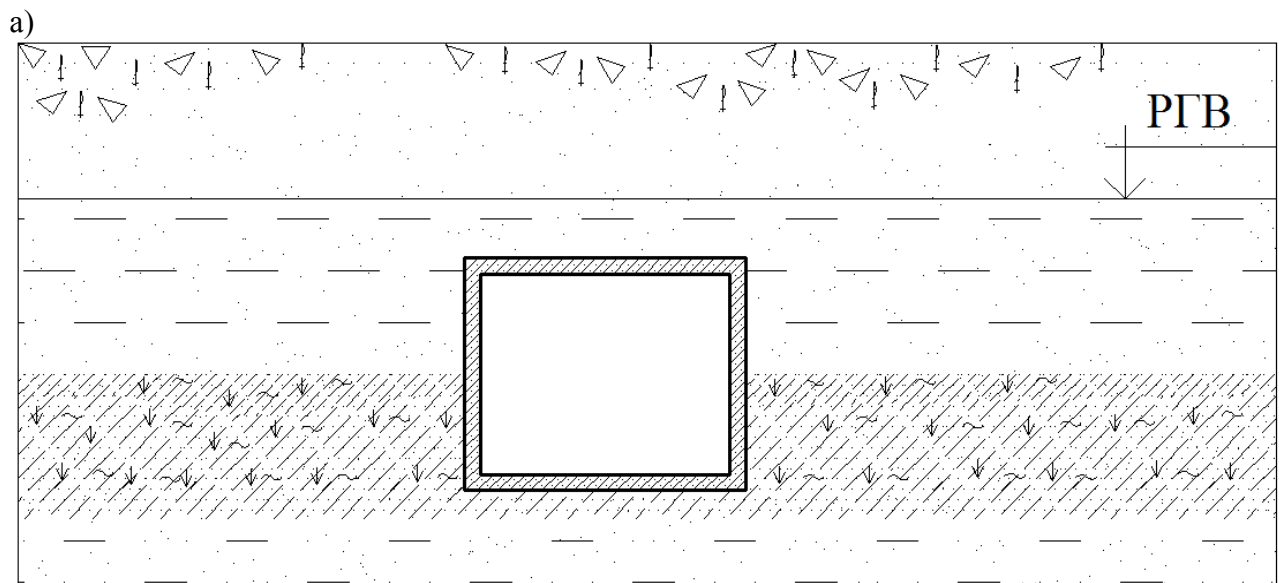
Результати Із врахуванням характеристик ґрунтів, наявності ґрунтових вод і глибини залягання можливого водоупору дає можливість обрати глибину закладання конструкції та її тип.

Методом підбору можливих варіантів гірничо-геологічних умов можна виділити понад 20 розрахункових схем проведення тунелю метрополітену мілкого закладання, з яких тільки три варіанти зустрічаються на дільниці Сирецько-Печерської лінії.

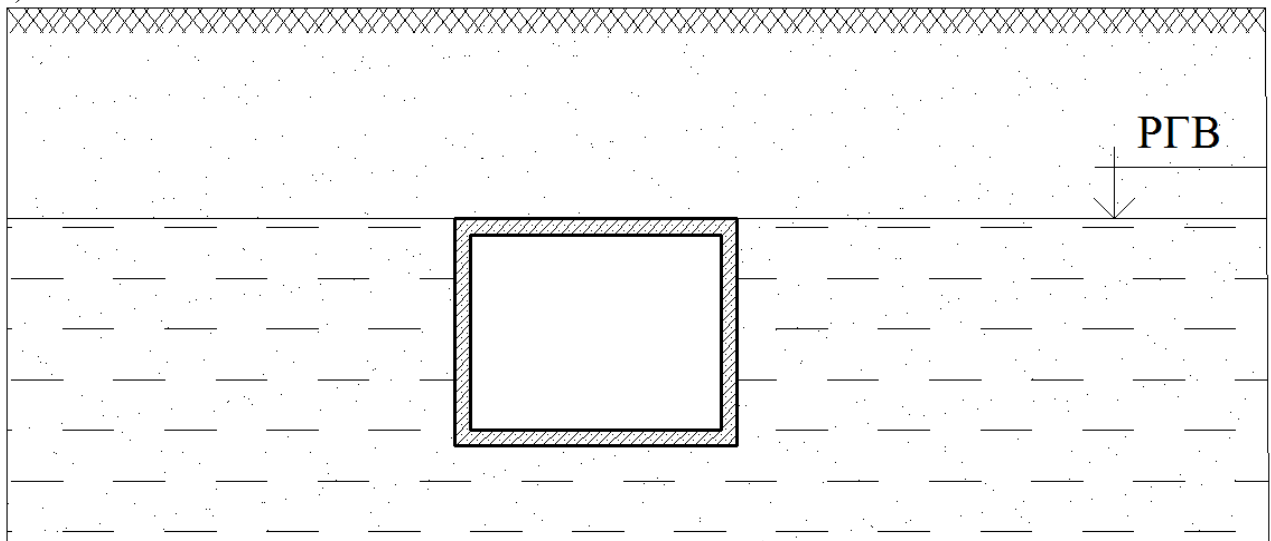
Перша схема (мал.1,а) характеризує реальне положення тунелю в піску середньої щільності насиченого водою з прошарками замуленого супіску і за торфованого і місцями замуленого суглинку. Рівень ґрунтових вод проходить на рівні -3,6м над покрівлею тунелю.

Друга розрахункова схема представляє собою переріз тунелю метрополітену, зануреного в водонасичений пісок ,а рівень ґрунтових вод проходить по покрівлі обробки тунелю на глибині -4,5м (мал. 1,б).

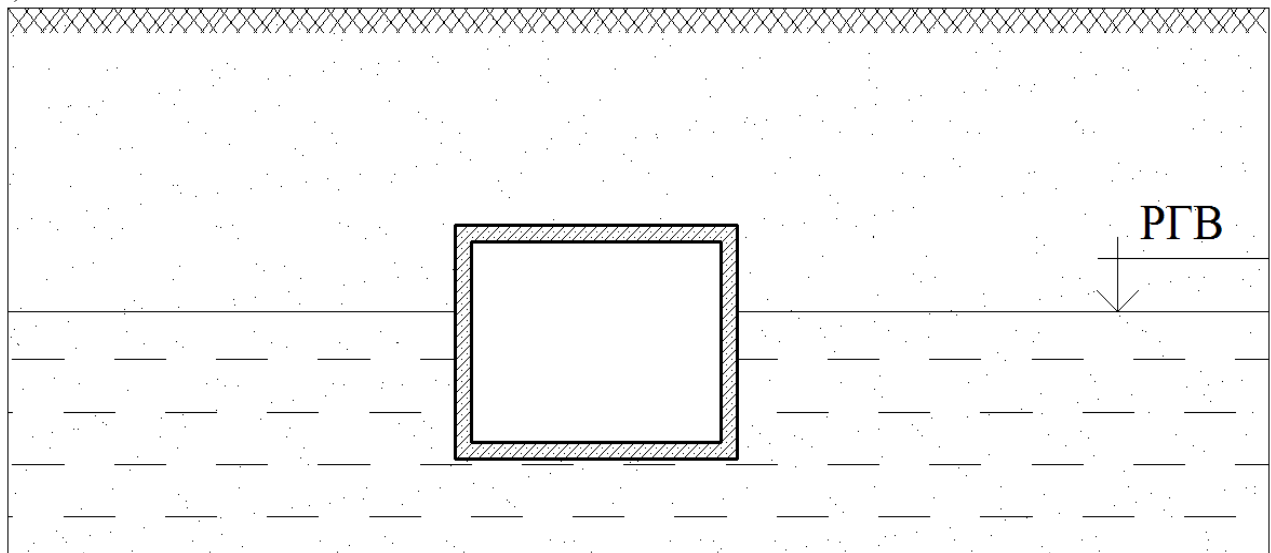
Третя схема (мал. 1,в) представлена умовами мало вологого та водо насиченого піску, а рівень ґрунтових вод перетинає конструкцію тунелю на глибині -5,0м, яка змінюється з протяжністю тунелю.



б)



в)



Мал.1. Розрахункові схеми проведення тунелю метрополітену мілкого закладання.

- 1) Антонов В.М. Проектирование зданий в особых условиях строительства и эксплуатации. Тамбов, 2002.
- 2) СП 32-105-2004 Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены.
- 3) Власов С.Г. Строительство метрополитенов. М:1987.
- 4) Осауленко В.Т. Инженерная геология, гидрогеология и осушение месторождений. М:1989.
- 5) Пустовойтенко В.П. Геотехнічне забезпечення підземного будівництва в Україні. К:1999.

АРМИРОВАНИЕ ПРОСАДОЧНОГО ГРУНТА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЖЕСТКОГО МАТЕРИАЛА УДАРНЫМИ СИЛАМИ

Н. В. Зуевская, доцент, к. т. н., Е. А. Телица, студентка

Многие глинистые грунты, такие как суглинок, супесь, лесс, лессовидные суглинки и глины обладают малыми прочностными параметрами, и в естественных условиях без инженерных мероприятий являются непригодными для оснований сооружений. Кроме того, в этих грунтах при увлажнении резко уменьшаются прочностные параметры и дают дополнительные местные осадки от незначительных нагрузок. Поэтому они нуждаются в закреплении эффективными методами. Существуют различные методы закрепления грунта. Одним из наиболее эффективных методов закрепления мягких глинистых грунтов является внедрение жестких материалов в грунтовую массу динамическим ударом или вытрамбовыванием грунта.

Для изучения закономерностей динамического деформирования мягких глинистых грунтов при внедрении жестких материалов в состав, а так же изменения физико-механических, прочностных и деформационных показателей грунтового массива были проведены серийные экспериментальные исследования.

1-СЕРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Суть этих экспериментов заключается во внедрении жестких материалов: щебня гранитного крупностью 25-40 мм, гравия 20-40 мм, песка крупного 5-10 мм в состав грунтового массива сложенного из глин, суглинков, супесей и лессовых просадочных грунтов на локальном участке по формам будущего фундамента в полевых условиях. Для внедрения жестких материалов в тело массива применялись трамбовки в виде многоугольной пирамиды с острыми наконечниками, многоугольные пирамиды со сферическими наконечниками, четырехугольные призматические с острыми наконечниками. Поверхности всех трамбовок были изготовлены из металлического листа 8мм и внутри забетонированы тяжелым бетоном В40 с весом 40 кН. Трамбовки были закреплены на кран-экскаватор Э-1252. Кран-экскаватор был снабжен съемными направляющими устройствами длиной 12 м, путем сварки двух швеллеров с накладкой листового железа толщиной 10 мм. Трамбовки имели ролики, которые регулировали движение по направляющим, что обеспечивало строгое падение по вертикали на одно место. По мере углубления трамбовки в мягкий грунт после нескольких ударов, котлован заполнялся жесткими материалами и повторялся процесс трамбования и добавления жестких материалов. Таким образом, котлованы по форме, принятой в результате трамбования путем внедрения жесткого материала в состав грунтового массива динамическими ударами, были изготовлены без разработки грунта до глубины 2 м. В зависимости от формы трамбовки время на подготовку одного котлована затрачивалось 15-20 мин. Количество ударов колебалось от 22 до 28. При этом высота падения трамбовки сохранялась постоянной во всех экспериментах и была равна 8 м. Эксперименты повторялись трижды для внедрения каждого жесткого материала разными трамбовками /многоугольные пирамиды с острыми наконечниками, сферическими, прямоугольные призматические с острыми наконечниками/ в глину, суглинок и лессовые грунты. Таким образом, серии экспериментов составили 109 испытаний. Для измерения напряжений, деформаций, перемещений и скоростей были пробурены скважины диаметром 50 мм, глубиной 3,0 м. Скважины были расположены в 2 ряда через 0,5 м, в диагональном направлении от края котлована. Для каждого котлована /до начала вытрамбовывания/ было пробурено 6 скважин. Размещение измерительных приборов по высоте скважины принято через 1,0 м. Таким образом, для одного котлована было размещено 12 измерительных приборов. Измерительные приборы соединялись к самопишущим осциллографом Н-700 и

потенциометром ЭПП-09.

2-СЕРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Эта серия экспериментов характеризовала глубинное внедрение жестких материалов в состав массива траншейным способом /без отрыва траншей/ ударными трамбовками. Трамбовка была изготовлена в виде призматического клина с острыми наконечниками. Трамбовка позволила без изменения вертикальной оси в направлении движения крана-экскаватора вытрамбовывать траншею шириной 1,2 м на любую длину без удаления грунта. Глубина траншеи зависела от высоты удара трамбовки. Острый конический наконечник нижней части трамбовки режет грунт как нож, а боковые поверхности внедряют жесткий материал в стенки траншеи. Нижний наконечник /нож/трамбовки имеет острый угол $30^\circ - 50^\circ$ и высоту 1,5 м, а призматический 80 см сечением 1,2 x 2,40 м, при подготовке глубоких траншей /глубиной до 6,5 м/. При необходимости внедрения жесткого материала в дно траншеи использовали трамбовки с плоскими или сферическими наконечниками. Для предотвращения выброса жесткого материала на поверхность вначале вытрамбовывания траншеи, можно принимать съемные фартуки, закрепленные на верхнюю поверхность трамбовки. Следует отметить, что в процессе вытрамбовывания вокруг траншеи, кроме внедрения жесткого материала, создается уплотненная зона, которая отличается плотностью от первоначальной плотности грунта и в этой зоне ликвидируются просадочные свойства грунта. С другой стороны, из-за того, что не вынимается грунт из траншеи, объем земляных работ уменьшается в 4-5 раз и не требуются опалубочные работы.

Динамический метод вытрамбовывания с внедрением жестких материалов может быть применен для любого мягкого глинистого грунта со степенью влажности $S_r \leq 0,75$, числом пластичности $I_p \geq 0,03$. Метод вытрамбовывания с внедрением жестких материалов в тело грунтового массива может быть как для отдельно стоящих фундаментов, так и для ленточных и плиточных фундаментов траншейного или котлованного типа. Процесс вытрамбовывания с внедрением жесткого материала в массив грунта рекомендуется продолжать до получения достаточной плотности грунтов. В наших экспериментах были получены плотности грунтов в сухом состоянии $\gamma_d = 16,7 - 17,4 \text{ кН/м}^3$ /без жестких материалов, т.е. образцов, взятых из мест без жесткого включения/, когда первоначальная плотность была $\gamma_d = 14,8 - 15,4 \text{ кН/м}^3$. В процессе эксперимента замерялись напряжения, деформация, перемещения и их производные /скорости/. Кроме того, были зарегистрированы контактные и волновые процессы ударного воздействия. Для этого применялись необходимые измерительные и регистрирующие приборы и оборудование.

Кроме того, физико-механические, прочностные и деформационные свойства грунтов, гранулометрический состав и прочностные данные жестких материалов были проверены в лабораторных условиях. Таким образом, полевые и лабораторные исследования дополняли друг друга.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние, возникающее в жестком материале при внедрении его в грунтовой массив со слабыми структурными связями ударом трамбовки. Вначале несколькими ударами по одному следу трамбовкой выполняется углубление 0,80-1,0 м (рис.1), засыпается жестким материалом - щебнем, булыжником или гравием (рис.2), а затем при многократных ударах внедряется жесткий материал в массу грунта (рис.3). При этом приложенные динамические силы к жесткому материалу приводят к движению отдельных частиц жесткого материала. Силы, действующие на жесткий материал, можно разделить на два класса: поверхностные (которые заданы или могут быть вычислены из веса трамбовки с учетом высоты падения), приложенные к поверхности жесткого материала, и объемные силы, аналогичные гравитационным силам, приложенным в каждой точке жесткого материала.

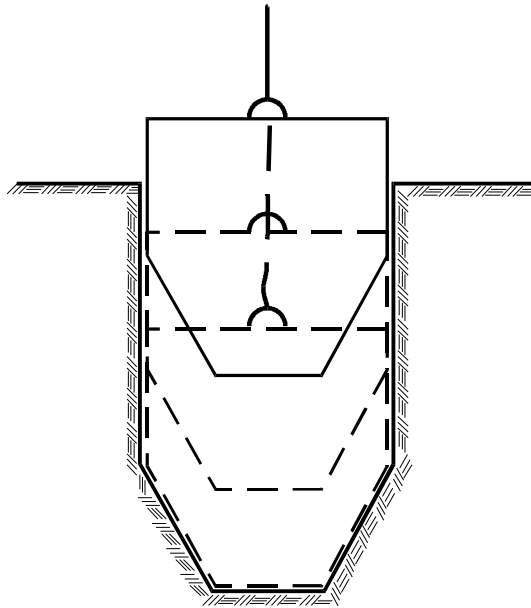


Рис. 1. Углубление котлована трамбовкой.

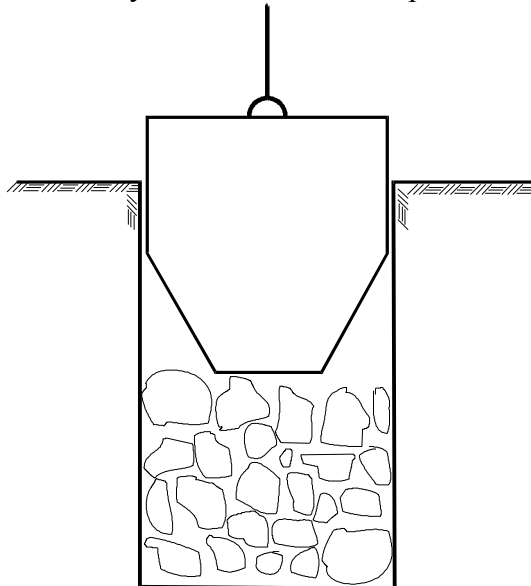


Рис. 2. Заполнение котлована жестким материалом (щебнем).

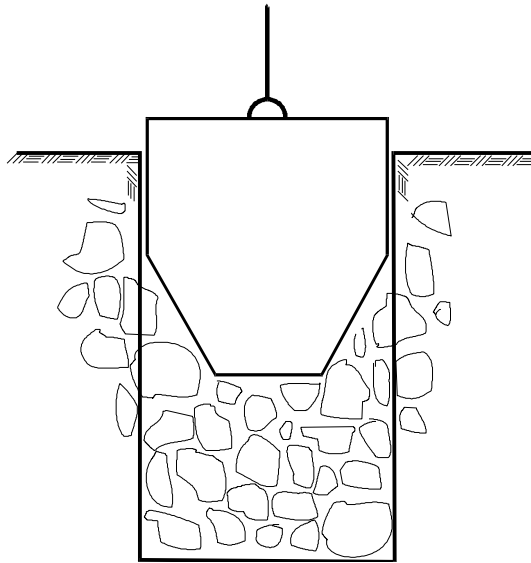


Рис. 3. Внедрение жесткого материала в грунтовый массив.

Выводы

Глинистые грунты, такие как суглинок, супесь, лёсс, лёссовидные суглинки и глины обладают малыми прочностными параметрами, и в естественных условиях без инженерных мероприятий являются непригодными для оснований сооружений. Глинистые грунты нуждаются в закреплении эффективными методами. Одним из наиболее эффективных методов закрепления мягких глинистых грунтов является внедрение жестких материалов в грунтовую массу динамическим ударом или вытрамбовыванием грунта. Для внедрения жестких материалов в тело массива применялись трамбовки.

Силы, действующие на жесткий материал, можно разделить на два класса: поверхностные (которые заданы или могут быть вычислены из веса трамбовки с учетом высоты падения), приложенные к поверхности жесткого материала, и объемные силы, аналогичные гравитационным силам, приложенным в каждой точке жесткого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов И. Н. Пособие по проектированию. – М.: Недра, 1992. – 168 с.
2. Баничук Н. В., Ишлинский А. Ю. Исследования Л. Эйлера по механике деформирования твердого тела и их дальнейшее развитие //— М.: Наука, 1986. -. С. 150 — 177 с.
3. Евневич И. А. Руководство к изучению законов сопротивления строительных материалов с присоединением общих начал теории упругости твердых тел. — СПб.: 1868. — 235 с.

БУРОІН'ЄКЦІЙНІ ПАЛІ ВЕЛИКОГО ПЕРЕТИНУ З "ЖОРСТКИМ СЕРДЕЧНИКОМ"

Д.т.н., проф. Самедов А.М., студент Савченко С. В.(НТУУ "КПІ")

Буроін'єкційні палі великого перетину з "жорстким сердечником"(рис.1) застосовуються під важкими будівлями та спорудами на слабких ґрунтах або зсувних ділянках, де потрібно забезпечити стійкість схилів, у випадках, коли поверхневі будинки можуть порушити стійкість схилів і створити зсувні потоки, а також на бережних укосах уздовж рік, озер і морів.

Для виготовлення цих паль спочатку виготовляють "жорсткі сердечники" у заводських умовах за технологією призматичних забивних паль із поперечним перерізом від 20х20 см до 45х45 см довжиною від 6 до 9 м.

"Жорсткі сердечники" відрізняються від призматичних забивних паль тільки установкою труб $d = 50$ мм на 4-х поверхнях для утворення поздовжніх пазів і розміщення в них ін'єкторів (перфорованих труб), призначених для нагнітання цементних або полімеро-цементних розчинів. Поздовжні пази забезпечують взаємозв'язок "жорсткого сердечника" з тілом буроін'єкційної палі. Дані пази змушують змінити форми хомутів і місця розташування поздовжніх арматур або спіралі в "жорсткому сердечнику" під час виготовлення, у відмінності від призматичних паль.

У випадку застосування буроін'єкційних паль довжиною більше 9 м, "жорсткі сердечники" доводиться нарощувати на висоті. При нарощуванні "жорстких сердечників" необхідно дотримуватися умови збігу пазів по довжині.

Для виготовлення буроін'єкційних паль із "жорстким сердечником" пробурюють свердловини діаметром, який відповідає поперечному перерізу "жорсткого сердечника" на глибину проектною відмітки. Опускають "жорсткий сердечник" до свердловин з 4-ма ін'єкторами вмонтованими в пазах, в яких знаходиться перфорована труба $d = 50$ мм із отворами перфорації діаметром 3-5 мм розташованими в шаховому порядку. Закріплюють голівку "жорсткого сердечника" спеціальними захопленнями, строго вертикально.

"Жорсткий сердечник" при виготовленні буроін'єкційних паль відіграє роль як арматури, так і елемента нагнітання цементного або цементно-полімерного розчину. Верхні кінці 4-х ін'єкторів (перфорованих труб) з'єднують із розчинонасосом і компресором, подають розчин під тиском, аналогічним по виготовленню буроін'єкційних паль (тиск при цементації можна приймати рівним 10-15 атм). Високі тиски при цементації понад 25-30 атм вимагають спеціальних мір проти розмиву ґрунту по нашаруваннях.

При опусканні "жорсткого сердечника" з перфорованими трубами (ін'єкторами) забезпечують захист отворів ін'єкторів від заповнення ґрунтом.

Це досягається, тим, що спочатку перфорована труба знаходиться всередині труби більшого діаметру, після опускання на проектну відмітку зовнішні труби виймають, залишаючи ін'єктори для нагнітання розчинів.

Нагнітання розчину через 4-ри ін'єктори виконують одночасно знизу вгору по порціях і піднімають ін'єктори відповідно при нагнітанні порції на один крок. Після нагнітання на всю глибину буроін'єкційних паль ін'єктори повністю виймаються з пазу "жорсткого сердечника" для подальшого використання. Буроін'єкційні палі з "жорстким сердечником" вважаються готовими після виходу ін'єкторів з пазу.

Слід зазначити, що після нагнітання розчину під тиском у ґрунт суміш розчину із ґрунтом твердіє й перетворюється в гелеоподібну масу. Діаметр буроін'єкційних паль

залежить від фільтраційної здатності ґрунтів і може бути від 1,2 до 3,4 м. При коефіцієнті фільтрації піщаних ґрунтів $K_f=2-10$ м/добу, радіус закріплення r доходить від 0,3 до 0,4 м, при $K_f=50-80$ м/добу, $r=0,8-1$ м, на лесових посадкових ґрунтах при $K_f=0,1-0,3$ м/добу, $r=0,4-0,7$ м; при $K_f=1-2$ м/добу, $r=1,3-1,5$ м.

Несуча здатність таких паль в 10-25 разів більше, ніж забивних паль поперечним перерізом 30х30 см. Витрата металу буроін'єкційних паль із "жорстким сердечником" в 30-60 разів менше, ніж у буронабивних палях діаметром 620 мм, де застосовується поздовжня арматура $d\ 22-32$ мм у кількості 8-16 шт.

Буроін'єкційні палі з "жорстким сердечником" можуть сприймати значно більші горизонтальні й вертикальні навантаження, у порівнянні з буронабивними палями.

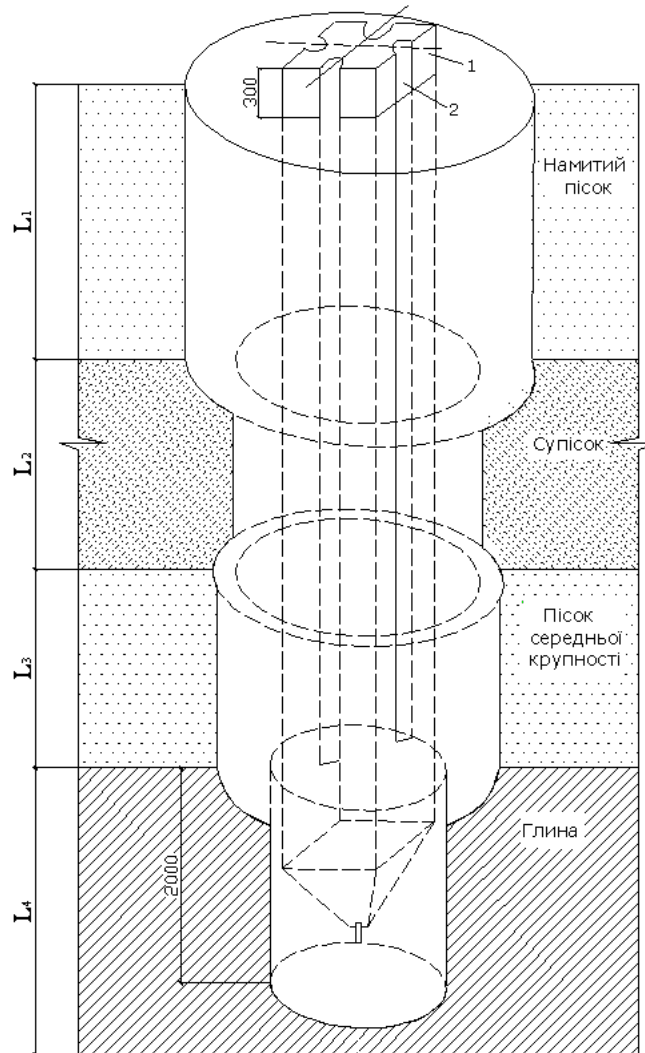


Рис.1. Буроін'єкційна паля з "жорстким сердечником"

Висновки:

1. Несуча здатність таких паль в 10-25 разів більше, ніж забивних паль поперечним перерізом 30х30 см.
2. Витрата металу буроін'єкційних паль із "жорстким сердечником" в 30-60 разів менше, ніж у буронабивних палях діаметром 620 мм, де застосовується поздовжня арматура $d\ 22-32$ мм у кількості 8-16 шт.

3. Буроін'єкційні палі з "жорстким сердечником" можуть сприймати значно більші горизонтальні й вертикальні навантаження, у порівнянні з буронабивними палями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по натурным испытаниям буронабивных свай. НИИСК, Киев 1980.-36с.
2. Методические рекомендации по расчету прочности, трещиностойкости и деформативности буронабивных свай. НИИСК, г. Киев - 1979. – 80с.
3. Методические рекомендации по расчету подпорных сооружений из буронабивных свай. НИИСК, г. Киев - 1979. – 80с.
4. Самедов А.М., Петрук В.В. и др. Деклараційний патент на корисну модель, Україна UA 10159(11), E02D27/12(51) 15.11.2005. Бюл.№11.Спосіб утворення буроін'єкційної палі.
5. Самедов А.М., Петрук В.В. и др. Деклараційний патент на корисну модель, Україна UA 10161(11), E02D27/12(51) 15.11.2005. Бюл.№11.Спосіб утворення набивної палі.
6. Самедов А.М. Расчет и проектирование оснований и фундаментов (учебник на азерб. яз.), Баку “Маариф”, 1992. – 494 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ НА СКЛАДНИХ ПОВЕРХНЯХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Л.Д. ТРЕТЯКОВА, канд.техн.наук (Нац.техн.ун-т України “КПІ”, Київ),

О.Д. ПОДОЛЬЦЕВ, докт.техн.наук (Інститут електродинаміки НАН України, Київ)

В статье предложена математическая модель и методика численного расчета на основе метода конечных элементов трехмерного электростатического поля вблизи человека при наличии поверхностного заряда на его защитной одежде из полимерного материала.

У статті запропоновано математичну модель і методику чисельного розрахунку на основі методу кінцевих елементів тривимірного електростатичного поля поблизу людини.

In the article the mathematical model and the method of numerical calculation of three-dimensional electrostatic field near-by a man at presence of surface charge on his protective clothing made from polymeric material were considered.

Вступ

Електростатичне поле (ЕСП) – це окремий вид електромагнітного поля, що виникає з сукупності нерухливих зарядів на поверхні під час контакту діелектриків з різними значеннями діелектричних постійних або діелектрика з провідником.

Сучасне виробництво висуває щораз вищі вимоги не тільки до вдосконалення техніки та технологічних процесів, а й передусім підвищує напруженість праці, утворюючи нові чинники, які можуть викликати неусвідомлену загрозу здоров'ю або навіть життю працівників. Для ефективної організації сучасних систем захисту персоналу на виробництві потрібно відповідно до умов праці, характеристик промислового середовища застосовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), які дають змогу зменшити негативний вплив шкідливих факторів. Нині широко використовують для виробництва ЗІЗ (ізолювального, герметичного одягу, респіраторів, протигазів, засобів для захисту рук, ніг, голови, очей) матеріали на основі полімерів – поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид (ПВХ), поліуретан, поліефір та ін. Такі матеріали забезпечують ефективний захист від низки шкідливих чинників [1], але за своїми властивостями є діелектриками і створюють додаткові ризики у вигляді ЕСП на зовнішньому та внутрішньому шарах поверхні захисних засобів. Електричні заряди утворюються на працівниках в процесі контактної електризації, в результаті контакту із зарядженими матеріалами та індукції.

У галузях промислового виробництва, пов'язаних з обробкою діелектричних матеріалів, нафтопереробної, гірничодобувної, хімічної, текстильної, паперової та ін. спостерігають явища електризації тіл – виникає й накопичується вільний електричний заряд. На нафтопереробних підприємствах під час технологічних процесів, що супроводжуються тертям, роздрібненням твердих часток, сипучих матеріалів, переливанням діелектричних рідин (нафтопродуктів, мінеральних масел та ін.) виникає статична електризація. На ізольованих від землі металевих частинах устаткування атомних електричних станцій виникають щодо землі напруги близько десятків кіловольт. У шахтах під час руху гумової стрічки транспортера в пристроях пасової передачі та на роliках через пробуксовування виникають заряди протилежних знаків достатньо великих значень, а різниця потенціалів досягає 45 кВ. Аналогічно відбувається електризація під час змотування (намотування) тканин, паперу, матеріалів з полімерними покриттями, поліетиленової плівки та ін.

Електризація виникає під час зіткнення двох різнорідних речовин через розходження атомних і молекулярних сил на їхніх поверхнях. Водночас відбувається перерозподіл зарядів з утворенням на суміжних поверхнях електричних шарів із протилежними знаками і на межі розділу виникає подвійний електричний шар. Теорія подвійних електричних шарів була запропонована Х. Гельмгольцем і нині широко використовується під час досліджень ЕСП [2].

Неконтрольований накопичений статичний розряд створює потенційну небезпеку для багатьох галузей промисловості, особливо там, де працюють із легкозаймистими рідинами, газами і де є вибухонебезпечний пил. Це небезпечно також під час виконання операцій з обслуговування електронного устаткування й приладів керування. Електризація матеріалів часто перешкоджає нормальному перебігу технологічних процесів виробництва, а також створює додаткову пожежну небезпеку внаслідок виникнення іскрових розрядів за наявності в приміщеннях, резервуарах і ангарах горючих паро- і газоповітряних сумішей, наприклад, за наявності водню більш як 4% в повітрі або в атмосфері, збагачених киснем. За великих зарядів і різниці потенціалів, низької вологості повітря може відбутися швидкий іскровий розряд між наелектризованими частинами устаткування або на землю. Енергія такої іскри може виявитися достатньою для запалення займистої або вибухонебезпечної суміші. На виробництві необхідно унеможливити виникнення іскрових розрядів від статичної електрики з енергією, що перевищує 40% від мінімальної енергії іскрового розряду в навколишньому середовищі. Практично за напруги 3 кВ іскрового розряду виникає запалення паро- і газоповітряних вибухонебезпечних сумішей, а за 5 кВ – займистого пилу і волокон. Незважаючи на те, що електростатичний заряд не несе великої кількості енергії, висока різниця потенціалів сприяє утворенню струмів, достатніх і для миттєвого виходу з ладу чутливих електронних компонентів і для внутрішньомолекулярного ушкодження їхніх кристалічних ґраток. Для більшої частини виробів мікроелектроніки статичний розряд у 5–10 кВ є руйнівним.

Найсерйозніша небезпека походить від людського тіла, здатного накопичувати статичні заряди і утворювати великі електростатичні потенціали. Наявність у захисному одязі працівника полімерних або вовняних волокон сприяє утворенню електричних потенціалів на рівні 1–5 кВ. Потріскування й іскріння одягу характеризує статичний розряд більше як 5 кВ. Ізолювальний одяг у комплекті з рукавичками, каскою, респіратором, спеціальним взуттям, що має гумову підошву, є гарними діелектриками, і це сприяє нагромадженню на тілі людини високого більш як 35 кВ електростатичного потенціалу. Таким чином, виникають додаткові ризики для працівників, які використовують ЗІЗ з полімерних матеріалів – захисний одяг, респіратори, рукавички, взуття, каски і капюшони та ін.

Мета статті – аналіз діелектричних характеристик ЗІЗ, які впливають на можливість виникнення ЕСП, розробка математичної моделі і методики розрахунку параметрів цього поля. Об'єкт досліджень – фізичні основи статичної електризації твердих тіл. Предмет досліджень – методика оцінки на основі математичного моделювання параметрів ЕСП на поверхні захисного одягу з полімерного матеріалу працівника за відповідних умов праці.

Вплив умов праці на опір полімерного матеріалу

Електростатичні властивості зумовлено будовою полімерів, їхньою фізико-хімічною структурою, хімічним складом поверхневого шару та умовами експлуатації полімерних виробів. Статична електрика – це поверхнєве явище, тому її виникнення або зникнення залежить від поверхневого опору матеріалу, який електризується. Поверхнєві струми визначають з врахуванням об'ємних, тому вимірюваний поверхнєвий опір (R_s) виявляється залежним і від об'ємного опору (R_v) і від поверхневого струму витоку. Електричний опір характеризує перенесення електричних зарядів в матеріалі під дією зовнішнього електричного поля. Перенесення електричних зарядів здійснюється вільними або слабозв'язаними електронами, іонами або зарядженими колоїдними частками – моліонами. Використання електричного опору для оцінки антистатичних властивостей застосовують

тому, що, зазвичай, чим нижче R_v або R_s полімеру, тим менша величина заряду q і напруженості E утворюється (рис. 1).

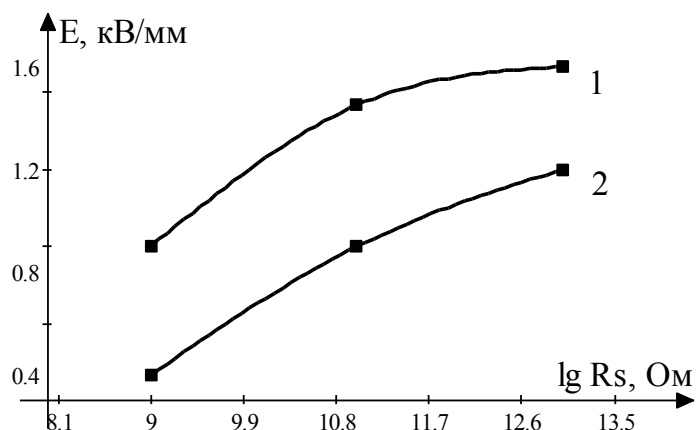


Рис. 1. Залежність напруженості ЕСП від R_s ПВХ-пластикату: 1 – під час тертя з хімічною тканиною; 2 – під час тертя з металевим предметом.

Необхідно відзначити, що швидкості витоку позитивного і від'ємного зарядів відрізняються [3]. Це означає, що величина електричного опору полімеру не завжди достатня для оцінки електростатичних властивостей. Проте в діючих стандартах нормують величину електричного опору для виробів з полімерних матеріалів [4]. Методи виміру опорів добре розроблені, не вимагають дорогої вимірювальної апаратури і дозволяють отримати за звичайних умов ($t = 20^\circ\text{C}$, вологості $W = 60\%$) однозначні результати з невеликою дисперсією. На величину поверхневого опору впливає низка факторів, серед яких найважливіші: температура, вологість, опромінювання, фізико-хімічні властивості матеріалу. Під час зростання температури і невисокої вологості домінантним чинником є об'ємний опір, який зменшується завдяки збільшенню рухливості елементарних ланок, що входять до складу макромолекул і характеризують ступінь полімеризації високомолекулярних з'єднань (рис. 2).

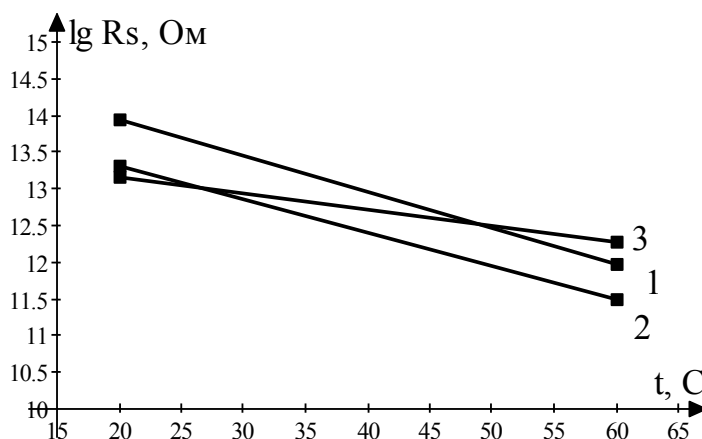


Рис. 2. Залежність поверхневого опору від температури ПВХ-пластикату: 1 – завтовшки 0,15 мм; 2 – завтовшки 0,5 мм; 3 – завтовшки 0,12 мм модифікований

Під час зростання вологості поверхневий опір має визначальне значення за рахунок збільшення струмів витоку, що відповідно призводить до його зменшення. Швидкість дифузії води істотно залежить від хімічної структури полімеру. Молекули води мають невеликі розміри (0,27 нм) і легко проникають у малі пори. За низької вологості електропровідність зростає за експоненціальним законом, при високій (більш 70%) – за квадратною залежністю [5].

Опромінювання полімерів α -, β -, γ - випромінюванням супроводжується зниженням опору. Під дією випромінювання відбувається іонізація матеріалу, ступінь якої обернено пропорційна енергії її частинок. Залежно від знаку заряду у виробі під дією електричного поля, що створюється цим зарядом, до його поверхні рухаються іони протилежного знаку. Наприклад, під час впливу γ -випромінювання 100 Р/хв опір поліетилену та полістиролу зменшився в 10^3 раз [3].

Властивості матеріалів залежать від способу виготовлення та композиції сировини зі стабілізаторами, модифікаторами, пластифікаторами, антистатиками, барвниками. Сучасні полімерні матеріали створюють за різними технологіями (терморбондинг, спандбондинг), методами (каландровий, формування), структурними композиціями (одно- і багатошарові, з покриттям, з просоченням), що призводить до суттєвого змінення електростатичних властивостей. Покращення антифрикційних властивостей полімерів призводить до зменшення сили тертя і відповідно їх електризації, додавання до композиції ПВХ-пластикату модифікаторів з оксидів рідкоземельних елементів знижує опір з $5,7 \cdot 10^{13}$ до $3,17 \cdot 10^{11}$, з оксидів вольфраму – у чотири рази.

Виходячи з вищевказаного, для вивчення дії ЕСП недостатньо використовувати тільки один параметр – опір, необхідно знати головні його характеристики: напруженість, розподіл зарядів і потенціалів, енергію. Особливість ЕСП – це створення умов для протікання електричного струму у вигляді розрядів і достатньо сильна іонізація навколишнього середовища, що зумовлює негативний вплив на самопочуття людини. Поле на поверхні захисного одягу характеризується високим ступенем неоднорідності. Його параметри мають високу ступень невизначеності: спостерігається нерівномірне розподілення зарядів на ділянках одягу, заряди розподіляються на зовнішній та внутрішній поверхнях різної величини та знаків, відбувається постійний виток зарядів за рахунок електропровідності, змочування, забруднення. Крім того суттєво впливає навколишнє середовище, властивості матеріалу, конструкція і геометричні розміри одягу.

Розрахунок тривимірного електростатичного поля поблизу людини

Розрахунок тривимірного ЕСП, утворюваного поблизу людини в захисному одязі під час накопичення на ній поверхневих зарядів, виконувався в такій постановці:

1. Створюємо геометричну модель людини шляхом об'єднання різних базових геометричних фігур.
2. Вважаємо, що вся поверхня людини вкрита полімерним матеріалом завтовшки 0,15 мм, що відповідає фактичній товщині використовуваних матеріалів. На поверхні матеріалу внаслідок тертя або індукційного впливу утворився поверхневий заряд з щільністю σ_s (x, y, z). Величина цього заряду загалом є функцією двох змінних: просторових координат і часу, що враховано в розрахунковій моделі. На даному етапі досліджень вважаємо $\sigma_s = \text{const}$.
3. Розрахункова область – це зовнішня по відношенню до людини область повітряного середовища, гранична умова для нормальної складової напруженості ЕСП задана на поверхні людини.

Розподіл незмінного в часі ЕСП поблизу людини описується таким диференціальним рівнянням для скалярного електричного потенціалу [2]:

$$\text{div}(-\epsilon_0 \text{grad} \varphi) = 0 \quad (1)$$

де $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – постійна діелектрична проникність вакууму.

Гранична умова на поверхні має вигляд:

$$-\epsilon_0 \left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right|_s = \sigma_s \quad (2)$$

Для замикання розрахункової області модель людини поміщалася в куб з розміром ребра 4 м, водночас нижню його грань вважаємо заземленою, а на верхній і бічних гранях куба задаємо умову електричної ізоляції, що має вигляд (див. рис. 3.):

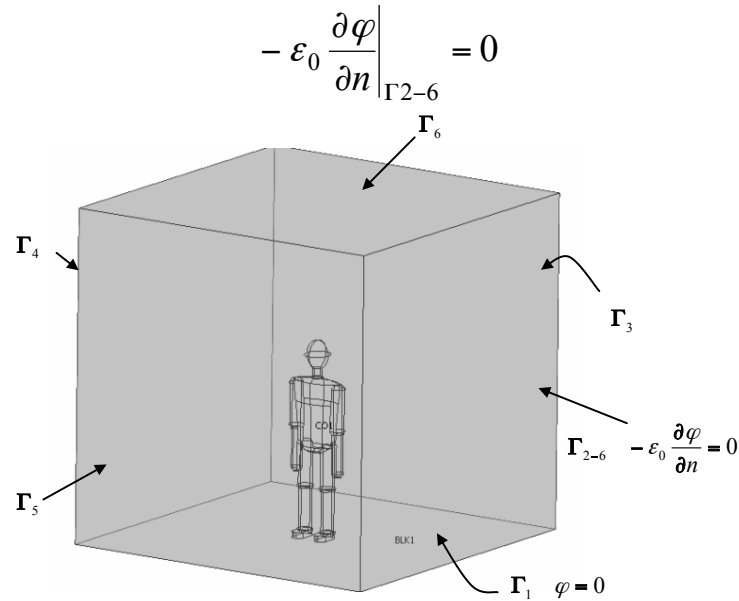


Рис. 3. Розрахункова область для кінцево-елементного аналізу ЕСП поблизу людини з вказівкою граничних умов

Враховуючи складну криволінійну форму поверхні тіла людини в захисному одязі, рішення польової задачі (1), (2) можна виконати одним з відомих нині чисельних методів [6, 7]. У цій праці для чисельного вирішення польового завдання (1), (2) використано метод кінцевих елементів, реалізований в пакеті програм COMSOL.

Аналіз результатів чисельного розрахунку

У результаті розрахунків отримано розподіл електричного потенціалу і вектору напруженості ЕСП по поверхні і поблизу людини в ізолювальному одязі для заданої рівномірно розподіленої щільності поверхневого заряду на одязі $\sigma_s = 1 \cdot 10^{-7}$ Кл/м² (рис. 4, 5).

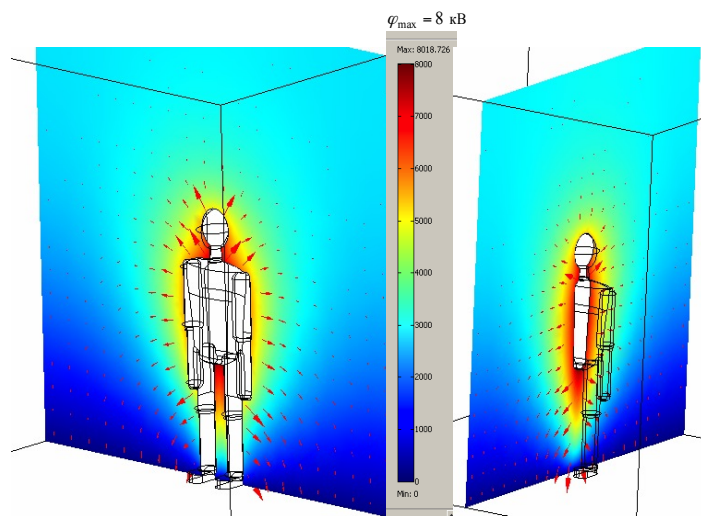


Рис. 4. Розподілення у двох перетинах електричного потенціалу φ і вектора напруженості E (стрілками).

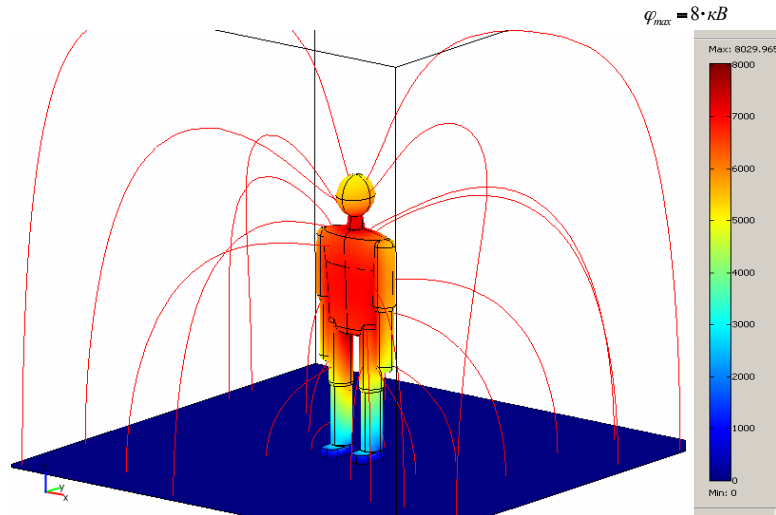


Рис. 5. Розподілення електричного потенціалу ϕ до поверхні одягу та силові лінії вектору напруженості E у навколишньому середовищі

З наведених результатів випливає, що найбільше значення потенціалу досягається в області грудної клітини і шиї людини і складає 8 кВ. Силові лінії електричного поля починаються на поверхні одягу і направлені до заземленої площини куба – до поверхні, на якій знаходиться людина.

Величина напруженості ЕСП на поверхні одягу має постійне значення через набуте постійне значення σ_s в усіх точках поверхні і дорівнює:

$$E_n = \sigma_s / \varepsilon_0 = 1,1 \cdot 10^4 \text{ В/м} = 0,01 \text{ кВ/мм.}$$

Результати розрахунку підтверджують це.

У міру віддалення від поверхні одягу, напруженість поля різко знижується. Так, зменшення напруженості поля в два рази спостерігаємо на відстані близько 20 см від поверхні одягу. Звідси можна вважати, що електричне поле локалізоване в поверхневому шарі за товшки 20 см.

Відзначимо, що значення напруженості поля на поверхні одягу 0,01 кВ/мм значно нижче за пробивну напругу повітря в однорідному полі, що становить згідно [8] 2,3 кВ/мм. Однак під час наближення працівника до заземлених металевих предметів величина напруженості ЕСП в зазорі між одягом і цим предметом значно зростатиме і може досягти значення пробою.

Для визначення енергії розряду $W_{\text{іск.}}$ в роботі використано результати розрахунку ЕСП. Відомо [2], що електрична енергія, яка накопичена в об'ємі V з напруженістю $E = \{E_x, E_y, E_z\}$ визначається за формулою

$$W_e = 0.5 \varepsilon_0 \int_V (E_x^2 + E_y^2 + E_z^2) dV \quad (3)$$

Запропонована методика передбачає після знаходження розподілу електричного потенціалу ϕ і визначення напруженості ЕСП $E = -(\text{grad } \phi)$ чисельний розрахунок інтеграла (3). За результатами чисельного інтегрування отримано $W_e = 0,96$ мДж. Вважаючи, що $W_e = W_{\text{іск.}}$, визначаємо мінімальну енергію W_{min} запалення займистої суміші

$$W_{\text{min}} \geq W_e \cdot K_d$$

де K_d – коефіцієнт безпеки, зазвичай приймають рівним 2,5 [9].

У результаті розрахунку отримано $W_{\text{min}} = 2,4$ мДж. Для прикладу, мінімальна енергія запалення ацетону за 25 °С складає 0,406 мДж, аерозолі сірки – 15 мДж [9]. Набутого вище значення енергії, що накопичена в ЕСП людини у досліджуваному випадку, буде достатнє для займання ацетону (за умови виникнення іскрового розряду).

Висновки

1. Метод оцінки ступеня електризації та небезпеки електростатичного поля дає змогу визначити комплекс заходів для спільного безпечного функціонування працівника і технологічного устаткування.
2. Під час визначення придатності захисних засобів, виготовлених з полімерних матеріалів до електризації і розсіювання зарядів статичної електрики необхідно враховувати не лише опір (об'ємний і поверхневий), а і величину максимально можливого заряду, напруженості та енергії поверхового електростатичного поля до відповідних умов праці.
3. Запропоновано математичну модель і методику чисельного розрахунку параметрів тривимірного електростатичного поля поблизу людини, яка одягнута в захисний одяг з полімерного матеріалу за наявності поверхневого електричного заряду.

Література

1. Литвиненко Г.Є., Третьякова Л.Д. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування. – К.: Лібра, 2008. – 317 с.
2. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. Том 3. – С- Петербург, Изд. дом “Питер”, 2004. – 376 с.
3. Василенюк Ю.И. Защита полимеров от статического электричества. – Л.: Химия. 1974. – 192 с.
4. ДСТУ EN 1149-1. Одяг Захисний. Електростатичні властивості. Частина 1. Поверхневий опір (метод вимірювання і вимоги). – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 12 с.
5. Gibson N., Liloyd F.C. Incendivity of discharges from electrostatically charged plastics. // Brit. J.Appl. Phys. 1965. – Vol.16. – p. 1619–1631.
6. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с.
7. Техника высоких напряжений. Пер. с нем. / Под ред. Кужекина И.П.– М.: Энергоатомиздат, 1989. – 555 с.
8. Техника высоких напряжений. / Под. ред. Костенко М.В. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.
9. Статическое электричество в химической промышленности. / Под. ред. Сажина Б.И. – М.: Химия, 1977. – 238 с.

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЮЮЧИХ ЗАСОБАМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ (ЗІЗ)

Г.В.Демчук, канд.техн.наук (НТУУ «КПІ»)

Для більшості працюючих на підприємствах з шкідливими та небезпечними умовами праці зниження виробничого травматизму і професійних захворювань в більшості випадків нерозривно пов'язано з використанням надійних та ефективних ЗІЗ. В теперішній час, відповідно до ст.10 Закону України „Про охорону праці ” та ст.163 Кодексу законів про працю в Україні, на роботах з шкідливими та небезпечними умовами праці ЗІЗ видаються працівникам, згідно установлених норм і термінів їх носки, на основі „Типових галузевих норм безкоштовної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту ”.

Принциповим недоліком цих норм є їх орієнтація виключно: на перелік професій та посад передбачених „Класифікатором професій робітників, посад службовців котрим необхідно видавати ти чи інші засоби індивідуального захисту ”; вказівки на види ЗІЗ без наведення їх захисних властивостей; та стала кількість одиниць чи комплектів ЗІЗ, яка видається на рік або до повного зношення. При цьому не враховуються ні обов'язки працівника, які дуже часто не вкладаються в рамки професії чи посади, ні інтенсивність та час їх виконання, що обумовлює недостатність норм видачі деяких видів ЗІЗ [1].

В зв'язку з чим з однієї сторони роботодавець сумлінно виконуючий вимоги Закону України „Про охорону праці ” повинен буде забезпечувати ними працівників, незалежно від їх фактичних витрат, хоча придбання ЗІЗ в кількості, яка перевищує лімітовані норми, виконується з прибутку підприємства. З іншої сторони данні норми дають формальний привід роботодавцю опираючись на „Типові галузеві норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та других засобів індивідуального захисту ” забезпечити працюючого дешевими та малоефективними ЗІЗ, які ні по кількості, ні по захисним властивостям не будуть відповідати умовам та інтенсивності виробничого процесу, а також видам, ступеням та тривалості впливу на працюючого небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Для виправлення цього стану виникає необхідність в розробці автоматизованої системи забезпечення працюючих ЗІЗ, яка б базувалась на даних отриманих при атестації робочих місць [2]. Так, розглядаючи трудові обов'язки працівника, необхідно враховувати що в сучасних умовах все більша універсалізація технологічних процесів призводить до того що працюючий виконує обов'язки які відносяться до кількох професій. Крім того, в зв'язку з кризовими явищами в нашій економіці (зменшення обсягів виробництва продукції, неповна завантаженість технологічного обладнання), робітник в більшості випадків значно менший час витрачає безпосередньо на виконання своїх професійних обов'язків. Тому, якщо в систему буде введена інформація щодо реальної картини по робочим місцям даного підприємства (умови та інтенсивність виробничого процесу, а також види, ступені та тривалість впливу на працюючого небезпечних та шкідливих виробничих факторів), власник отримає для кожного працівника оптимальний комплект саме тих ЗІЗ (по кількості і якості), які б дозволили не тільки зберегти належний стан здоров'я працюючого, але і забезпечили максимальну ефективність його трудової діяльності. І не обов'язково їхня кількість буде перевищувати необхідну кількість ЗІЗ яка наведена в нормативних документах. В більшості випадків просто буде проведен не формальний їх розподіл між працюючими, а їх реальний перерозподіл у відповідності до реальної необхідності, в свою чергу забезпечить їх ефективне використання і більший термін служби.

1. Г.В. Демчук, І.І.Чернушак Проблеми та перспективи забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) // Тези доповідей Першої науково-методичної конференції „Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки” м.Київ, 27 листопада 2007 р. – К.: ННДПБОП, 2007. – 36 с.

2. Г.В. Демчук, А.Табель Критерії та основні складові автоматизованої системи забезпечення вибору засобів індивідуального захисту(ЗІЗ) // Збірник матеріалів наукової

конференції „Охорона праці та соціальний захист працівників” м.Київ, 19-21 листопада 2008 р. – К.:НТУУ „КПІ”, 2008. – С.104-105