

УДК 621.3.078.3

Харкевич Р.В. Прядко С.Л.

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ
КАР'ЕРУ**

Проведено аналіз сучасного стану проектування водовідливних установок кар'єру, методів зниження енергоспоживання насосних установок кар'єру. Запропонована система управління водовідливною установкою на базі нечіткої логіки.

Ключові слова: Енергозбереження, регулювання частоти, система управління, нечітка логіка.

Харкевич Р.В. Прядко С.Л.

**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ
КАРЬЕРА**

Проведен анализ современного состояния проектирования водоотливных установок карьеру, методов снижения энергопотребления насосных установок карьеру. Предложенная система управления водоотливной установкой на базе нечеткой логики.

Ключевые слова: Энергосбережение, регулирование частоты, система управления, нечеткая логика.

Kharkevich R.V. Pryadko S.L

**IMPROVING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF A QUARRY DRAINAGE
INSTALLATION**

An analysis of the current state of design of quarry drainage systems, methods of reducing energy consumption of pumping quarries. A drainage system control system based on fuzzy logic is proposed.

Keywords: Energy saving, frequency control, control system, fuzzy logic.

Вступ

Ефективність схем водовідливу кар'єрів в період їх будівництва і експлуатації встановлюється відповідними технічними і гідрогеологічними розрахунками за критерієм відповідності продуктивності насосів і максимального розрахункового добового припливу дощових і підземних вод. У той же час, в існуючих розрахункових методиках не враховуються такі важливі технологічні характеристики схем водовідливу, як рівень зайнятості кар'єрного простору під комплексом водовідливних споруд (КВС), можливі простоти водовідливу в період монтажу-демонтажу і кількість перестановок КВС у взаємозв'язку з глибиною відпрацювання кар'єрів та фронтом гірських робіт, продуктивністю екскаваторів, порядком і умовами формування робочих зон для гірничо-транспортного обладнання. Всі виробничі процеси на гірських роботах є взаємопов'язаними, тому показники ефективності технологічної схеми водовідливу необхідно розглядати з точки зору єдиної системи «водовідлив-кар'єр». Правильне управління притоками води та її водовідведення на відкритих розробках завжди були і залишаються одним з основних умов успішної розробки родовища - будь то водопониження в кар'єрі або подача технологічної води для підготовки і збагачення корисних копалин

Основні завдання:

- Визначення основних причин низької ефективності насосного устаткування, яке використовується на кар'єрах;
- Аналіз методів підвищення енергоефективності водовідливної установки кар'єру;
- Вибір способу регулювання подачі рідини і тиску та системи контролю параметрів водовідливу;

Мета та постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності водовідливної установки кар'єру за рахунок впровадження сучасних типів насосів та використання раціональної системи електроприводу.

Сучасні напрями модернізації водовідливних установок кар'єрів.

Схеми, методи і прийоми, які використовуються в технології осушення кар'єрів, значною мірою визначаються водопріпливом до гірничих виробок, проникністю дренуючих порід і необхідним зниженням рівня підземних вод. При виборі способу осушення враховується так само і технологія гірничих робіт. На даний момент найбільш поширені рішення на базі поверхневих насосів з двостороннім входом (типу Д) і багатоступеневих насосів (типу ЦНС). Одним з основних недоліків поверхневих насосів є необхідність забезпечення достатнього підпору на вході насосів. Це завдання ускладнюється в зв'язку і тим, що рівень води в водозбірнику як правило змінний і коливається в широких межах (більшість відцентрових насосів дуже чутливі до зміни рівня на вході в межах 1-2 метрів). На відміну від шахтного водовідливу, кар'єрний водовідлив має високу залежність від опадів, які обумовлюють швидкого підвищення рівня води у водозбірниках, що в свою чергу призводить до аварійних ситуацій (затоплення гірничовидобувного обладнання). На цей час для схем водовідведення на гірничодобувних підприємствах все більше застосовуються занурювальні та напівзаглиблювальні насоси [1,2]. Застосування занурювальних та насосів на відкритих гірничих роботах обумовлюється високою виробничою надійністю і економічністю. Основними перевагами їх застосування є:

- роботи по осушенню і водовідливу не заважають проведенню основних гірничих робіт;
- простота монтажу і демонтажу заглиблених насосів при відкритих гірничих роботах;
- відсутність небезпеки при підвищенні рівня ґрунтових вод, так як електронасоси повністю занурені в воду;

Переваги та недоліки різних типів насосів наведені у таблиці 1

Таблиця 1 Порівняння типів насосів

Типи насосів	Переваги	Недоліки
Поверхневі	рівномірна подача і постійний натиск при незмінному режимі; простота пристрою і легкість обслуговування; швидкохідні, легкість; простота регулювання; досить висока висота всмоктування; можливість перекачування забруднених рідин; широкі межі зміни подачі і напору.	потрібна попередня заливка рідини; потрібна висока герметизація всмоктуючої лінії; нерозривний зв'язок подачі і напору; залежність ККД від подачі і напору; малий ККД при малих значеннях подачі.
Напівзаглиблювальні	менш сприйнятливі до коливання рівня води в водозбірнику; мають досить великий запас по NPSH; висока надійність, двигун і ущільнення повністю захищені від контакту з рідиною; віддалене розташування двигуна дозволяє перекачувати рідини як з низькими, так і з високими температурами; забезпечення стабільного напору, здатність до перекачування великих об'ємів рідини; відсутність необхідності в монтажі довгого всмоктуючого патрубку, призначеного для викачування рідини з дна водозбірника.	складний процес монтажу і висока металоємність
Занурювальні	можливість точного регулювання ґрунтових (шахтних) вод; простота монтажу і демонтажу при відкритих гірничих роботах; можливість насосів і двигунів в змонтованому вигляді; відсутність небезпеки при підвищенні рівня так як електро-насоси повністю занурені в воду; немає необхідності в спеціальних пристроях для заливки насоса перед пуском; створюваний напір до 1200 м забезпечує можливість прямого перекачування води на поверхню без проміжних насосних станцій.	висока вартість в порівнянні з поверхневим насосним обладнанням, складність обслуговування; теплота, що виділяється електродвигуном, не відводиться при високих температурах рідини, що транспортується

Таким чином, обґрунтування і вибір раціональної схеми водовідведення, використання сучасних типів насосів забезпечує підвищення виробничої потужності кар'єру, ритмічність роботи і скорочення терміну його відпрацювання, є актуальною науковою і практичною задачею.

Основні причини низької ефективності насосного устаткування

Основними причинами низької ефективності насосного устаткування є:

- невідповідність робочих характеристик обладнання і системи в цілому;
- некоректне управління водовідливною установкою;
- зношування обладнання.
- низькі енергетичні показники системи.

Дуже важливим є ККД всієї водовідливної установки. ККД установки часто виявляється нижче ККД встановлених на ній окремих насосів. Нерідкі випадки, коли ККД систем не перевищує 10-20%, в той час як ККД встановлених у них насосів становить 60-90% [3]. Її основна проблема при розробці енергозберігаючих заходів пов'язана з тим, що реальні параметри мережі часто невідомі або подані не в повному обсязі і сильно відрізняються від проектних параметрів. Відмінності, як правило, пов'язані з корозією трубопроводів, зміною схем та обсягів водовідведення. Для визначення реальних режимів роботи насосів і параметрів мережі виникає необхідність у здійсненні замірів безпосередньо на об'єкті з використанням спеціального контрольно-вимірювального обладнання, тобто технічного аудиту гідравлічної системи

Аналіз методів підвищення енергоефективності насосної системи

Підвищення енергоефективності є зниження енергоспоживання. Цього можна досягнути різними методами (таблиця 2).

Таблиця 2. Методи зниження енергоспоживання насосних систем

Причини високого енергоспоживання	Рекомендовані заходи щодо зниження енергоспоживання
1. Наявність в системах періодичної дії насосів, що працюють в постійному режимі незалежно від потреб системи, технологічного процесу.	- Визначення необхідності в постійній роботі насосів. - Включення і виключення насоса в ручному або автоматичному режимі.
2. Системи з мінливою у часі величиною необхідної витрати.	- Використання приводу з регульованою частотою обертання для систем з переважними втратами на тертя - Застосування насосних установок з двома і більше паралельно встановленими насосами для систем з переважно статичної складової характеристики.
3. Знос основних елементів насоса	- Ремонт та заміна елементів насоса в разі зниження його робочих параметрів.
4. Засмічення і корозія труб.	- Очищення труб - Застосування фільтрів, сепараторів і подібної арматури для запобігання засмічення. - Заміна трубопроводів на труби з сучасних полімерних матеріалів, труби із захисним покриттям
5. Робота насоса за межами робочої зони.	Застосування електродвигунів з меншою частотою обертання або редукторів в тих випадках, коли параметри насоса не відповідають умовам роботи

З наведених методів підвищення енергоефективності водовідливної установки найчастіше вибираються перший та та другий: використання приводу з регульованою частотою та система автоматизації. Саме ці методи дозволяють різко підвищити енергоефективність роботи, та істотно знизити аварійність системи.

Системи автоматизації водовідливних установок

Системи автоматизації водовідливних установок, які експлуатуються зараз на гірничовидобувних підприємствах реалізують виключно функцію захисту від аварійних режимів, а не управління насосами водовідливу і здійснюють контроль тільки основних аварійних режимів. Жодна з існуючих систем автоматизації не розглядає головну водовідливну установку як багатовимірний, багатопов'язаний об'єкт і не враховує взаємовпливу параметрів водовідливу. В останній час виріс інтерес до завдань аналізу і синтезу енергозберігаючого управління множинними об'єктами, до яких відносяться і водовідливні установки. Найбільш важливі вимоги - знаходження характеристик насосів всередині робочих інтервалів, тобто дотримання оптимального енергозберігаючого режиму роботи обладнання. Крім критичних режимів роботи обладнання, при яких необхідно його відключення, аналізуються також різні інші режими, які характеризуються ступенем прийнятності відхилень характеристик, а також значущості самих характеристик при визначенні режиму. Тому доцільно в цьому випадку використати інтелектуальний підхід в вигляді нечіткої логіки для формування рекомендацій [4,5]. Нечітка модель повинна на основі значень різних робочих параметрів, рівня води та стану технологічного обладнання визначити необхідність включення і виключення насосів (управління). Наприклад, при знаходженні всіх параметрів (подача, температура, зниження рівня, струм двигуна-перетворювача) в низьких або нульових зонах - необхідність виключення насоса повинна бути також низькою або нульовою. При середніх значеннях відповідних параметрів - необхідність середня, при високих і критичних - висока і критична відповідно. Слід прийняти до уваги один важливий факт - при знаходженні хоча б одного з параметрів в області високих і критичних значень, навіть при нульових значеннях всіх інших параметрів, підсумкове значення ступеня виключення насоса має перебувати в високих і критичних зонах відповідно. Це вимога критичного режиму роботи. Так у таблиці 3 наведена база правил нечіткої системи з вагами для роботи насосної установки. База правил складається всього з п'яти правил, що спрощує її розуміння і підвищує швидкість роботи моделі, при цьому модель, яка побудована на основі такої бази правил, буде повною, так як кожному вхідному стані буде порівнювати деякий вихідний [6].

Для виконання вимоги критичного режиму роботи правила бази мають різну вагу. Так, правила нульових - середніх значень мають вагу 0,1. Для того щоб відзначити внесок критичних значень в виконання критичної умови виключення, відповідному правилу присвоєно найвищий вага 1.

Таблиця 3

База правил нечіткої системи

правило	вага
Якщо зниження подачі = нульове або температура = нульова або зниження рівня = нульове або струм = нульовий , то відключення = нульове	0,1
Якщо зниження подачі = низька або температура = низька або зниження рівня = низька або струм = низький , то відключення = низька	0,1
Якщо зниження подачі = середнє або температура = середня або зниження рівня = середнє або струм = середній , то відключення = середнє	0,1
Якщо зниження подачі = висока або температура = висока або зниження рівня = висока або струм = високий , то відключення = висока	0,2
Якщо зниження подачі = критичне або температура = критична або зниження рівня = критичне або струм = критичний , то відключення = критичне	1

База правил складається всього з 5 правил, що спрощує її розуміння і підвищує швидкість роботи моделі, при цьому модель, яка побудована на основі такої бази правил, буде повною, так як кожному вхідному стані буде порівнювати деякий вихідний [5].

Для виконання вимоги критичного режиму роботи правила бази мають різну вагу. Так, правила нульових - середніх значень мають вагу 0,1. Для того щоб відзначити внесок критичних значень в виконання критичної умови виключення, відповідному правилу

присвоєно найвищий вага 1. В якості оператора твори нечітких множин обраний оператор (PROD), що дозволяє отримати більш гладку поверхню моделі і знизити її нечутливість [5]. В якості операторів об'єднання нечітких множин, імплікації та агрегації використовувалися оператори MAX, MIN (оператор імплікації Мамдані), MAX відповідно . В якості методу дефаззифікації використовувався метод центру тяжіння . Дані оператори обрані по наступним причинам: простота, популярність [5], а також використання їх за замовчуванням в MATLAB. У таблиці 4 представлені різні стани входів нечіткої моделі і відповідні їхні виходи , взяті з аналізу функціонування водовідливної установки кар'єру . Як видно з таблиці , модель задовольняє пропонованим до неї вимогам .

Таблиця 4

Стани моделі з параметрами

Вхід				Вихід	коментар
Зниження подачі	відхилення струму	Зниження рівня	Температура двигуна		
0,25	0	0	0	0,241	Низька необхідність відключення – один з параметрів в низькій зоні
0,5	0	0	0	0,37	Середня необхідність відключення - один з параметрів в середній зоні
0,75	0	0	0	0,553	Не відключаємо- у високій зоні, лише один з параметрів, критичної зони немає
0,85	0	0	0	0,703	Відключення (вихід > 0,7) - один з параметрів в критичній зоні
1	0	0	0	0,794	Відключення (вихід > 0,7) - один з параметрів в критичній зоні
0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	Низька необхідність виключення всі параметри в низькій зоні
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Середня - всі в середній зоні
0,75	0,5	0,5	0,5	0,62	Середня , але бажано вимикання (Вихід > 0,6) - все в середній , один в високій
0,5	0,75	0,5	0,5	0,62	Середня , але бажано вимикання (Вихід > 0,6) - все в середньої , один в високою
0,75	0,75	0,75	0,75	0,7	Відключення (вихід > 0,7) - все в високою зоні
0,75	0,5	0,9	0,33	0,713	Відключення (вихід > 0,7) - один вхід в критичній зоні , решта в різних
0,33	0,25	0,25	0,9	0,7	Відключення (вихід > 0,7) - один вхід в критичній зоні , решта в різних

Висновки:

1. Обґрунтування і вибір раціональної схеми водовідведення, використання сучасних типів насосів забезпечує підвищення виробничої потужності кар'єру.
2. Підвищення енергоефективності водовідливної установки потребує використання приводу з регульованою частотою та системи автоматизації з функціями управління. Саме це дозволяє підвищити енергоефективність роботи, та істотно знизити аварійність системи.

Перелік посилань

1. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд. – М.: Недра, 1983. – 304 с.
2. Апфельбахер, Р. Погружные насосы фирмы KSB AG для горнодобывающей промышленности / Р. Апфельбахер // Горная промышленность.- 1998.-№2.- С. 10-11.
3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод насосных установок. М.: ИК "Ягорба" Биоинформсервис. 1998, 180с.
4. Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок. Учебное пособие.

- Київ, УМК ВО, 1990, 104 с.

5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. □ 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

6.Н.В. Замятин, Е.О. Иванов Нечеткая советующая система контроля артезианских Скважин. Доклады ТУСУРа, № 4 (38), декабрь 2015

7.Fuzzylite: библиотека для управления с помощью нечеткой логики [Электронный ресурс].URL: <http://www.fuzzylite.com/>

**СЕКЦІЯ 4.
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ
ВИРОБНИЦТВ**