

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"**

**РУХЛОВА Наталія Юріївна**

**УДК 622.5:621.3.072.8**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ  
ГОЛОВНОГО ВОДОВІДЛИВУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ  
В РЕЖИМІ СПОЖИВАЧА-РЕГУЛЯТОРА**

**Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2015**

**Дисертацією є рукопис.**

Роботу виконано на кафедрі систем електропостачання в Державному вищому навчальному закладі "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор

**Разумний Юрій Тимофійович,**

професор кафедри систем електропостачання Державного ВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Розен Віктор Петрович,**

завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України;

кандидат технічних наук, доцент

**Кольсун В'ячеслав Анатолійович,**

доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті Державного вищого навчального закладу "Криворізький національний університет" Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться 22 жовтня 2015 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному ВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, корпус 1, ауд. 102.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розіслано 21 вересня 2015 року.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради Д 08.080.07,

к. т. н., доцент

О.В. Остапчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Підвищення енергоефективності роботи головного водовідливу вугільної шахти пов'язано з необхідністю його використання в процесі реалізації загальнонаціональної задачі, направленої на зниження нерівномірності електроспоживання. Актуальність даної задачі підтверджується "Енергетичною стратегією України на період до 2030 р.", в якій передбачається розробка комплексної програми енергозбереження для зниження споживання електроенергії на вугільних шахтах, у тому числі, працюючих у режимі водовідливу. Внаслідок нестабільної ситуації на Сході України, де зосереджено більшість вугільних шахт, проблема ефективного енергоспоживання на таких підприємствах набуває ще більшої актуальності.

Режими нерівномірного навантаження дуже не вигідні як в енергетичному, так і в економічному плані. Такі режими збільшують витрату палива на теплових електростанціях (ТЕС), знижують ресурс їх надійної роботи, а також створюють нестійкий режим роботи атомних електричних станцій та збільшують втрати електроенергії в лініях електропередач.

Одним з етапів вирішення проблеми нерівномірності електроспоживання є використання енергоємних установок, таких як шахтний водовідлив, в режимі споживача-регулятора (С-Р). Подібне використання позитивно відобразиться на роботі не тільки енергосистеми, але й конкретного підприємства.

Функціонування головної водовідливної установки (ГВУ) вугільної шахти в режимі С-Р передбачає регулювання режимів електроспоживання (РЕ), спрямоване на визначення графіка роботи установки у позапіковий період. Виключення роботи насосів у періоди максимальних навантажень в енергосистемі супроводжується, як правило, додатковим використанням резервного устаткування (насосів і трубопроводів) для відкачування накопиченої води і поточного водоприпливу в інші періоди доби. Застосування диференційного тарифу плати за спожиту електроенергію призводить до очікуваного зниження її вартості, проте супроводжується збільшенням питомої витрати електроенергії при інтенсивному відкачуванні води.

Ефективність РЕ, а саме техніко-економічні показники роботи водовідливу, залежать від технічних і технологічних умов, таких як технічний стан основного устаткування (насосів, трубопроводів, водозбірників) і достатній для накопичення води в період максимальних навантажень об'єм водозбірника. Зниження робочих параметрів даного устаткування сприяє погіршенню техніко-економічних показників роботи водовідливу при РЕ.

Значний внесок у вирішення питань ефективної роботи шахтного водовідливу при регулюванні режимів електроспоживання внесли відомі вчені та фахівці в гірничодобувній галузі й у галузі електроенергетики, а саме: Антонов Е.І., Герасимович В.М., Гордєєв В.І., Грядущий Б.А., Данільчук Г.І., Дегтярев В.В., Заїка В.Т., Коптіков В.П., Мнухін А.Г., Мялковський В.І., Наннес Ю.В., Находов В.Ф., Недолужко В.М., Праховник А.В., Разумний Ю.Т., Розен В.П., Хронусов Г.С., Червоний Є.Н., Шевчук С.П., Яценко А.М. та інші.

Фундаментальний внесок у вивчення та вирішення проблем шахтного водовідливу зробили вчені НДІГМ ім. М.М. Федорова та МакНДІ.

Таким чином, **наукова задача** дисертаційної роботи полягає у комплексній оцінці впливу технічних і технологічних параметрів стану, що змінюються, та режимів роботи головної водовідливної установки на енергоефективність її функціонування в режимі споживача-регулятора. Поставлена задача є актуальною і потребує вирішення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертації виконано відповідно до планів науково-дослідних робіт Державного ВНЗ "Національний гірничий університет": "Розробка ресурсо- і енергозберігаючих технологій та устаткування підприємств гірничо-металургійного і паливно-енергетичного комплексу України" (держреєстраційний № 0109U002809), "Високоєфективне використання енергетичного потенціалу геотехнічних систем України: ресурси, енергозберігаючі технології, екобезпека" (держреєстраційний № 0109U005905), "Мероприяття по совершенствованию режимов работы систем электроснабжения шахт ПАО "ДТЭК Павлоградуголь" (на примере западного куста шахт)" (№ 0301108), а також відповідно до положень "Енергетичної стратегії України на період до 2030 р."

**Мета і задачі досліджень.** Основна мета досліджень полягає у зниженні питомої витрати електроенергії в режимі інтенсивного відкачування води для підвищення енергоефективності роботи головного водовідливу вугільної шахти.

Для досягнення мети поставлено наступні **завдання дослідження**:

- виконати аналіз технологічних параметрів водозбірників головної водовідливної установки для визначення доцільності її використання як споживача-регулятора та обґрунтувати необхідність зміни об'єму водозбірника для підвищення ефективності регулювання режимів електроспоживання;

- розробити спосіб визначення необхідного об'єму водозбірника з урахуванням його замулювання, кількості гілок і їх нерівності за місткістю, що дозволить забезпечити зниження електроспоживання в системі водовідливу шляхом повного відключення насосів у години максимуму навантаження в енергосистемі незалежно від графіка чищення гілок водозбірника;

- розробити алгоритм вибору кількості одночасно працюючих насосів у відповідні періоди доби при застосуванні диференційованого тарифу плати за електроенергію з урахуванням робочих параметрів насосних агрегатів для будь-яких технологічних умов функціонування головної водовідливної установки за узагальненими критеріями;

- визначити області енергоефективного використання головної водовідливної установки шахти в режимі споживача-регулятора.

**Об'єктом дослідження** є процеси електроспоживання головної водовідливної установки вугільної шахти.

**Предметом дослідження** є закономірності впливу технічних і технологічних параметрів стану головного водовідливу на енергоефективність його функціонування в режимі споживача-регулятора.

*Методи дослідження.* Для вирішення поставлених задач використано: метод машинного експерименту, заснований на імітаційному моделюванні режимів роботи головного водовідливу; математичне моделювання на основі формалізації технологічного процесу відкачування води і побудови частних математичних моделей; методи матричного числення для представлення і обробки сформованих масивів технологічних та енергетичних параметрів; математичні методи рішення кубічних рівнянь; варіаційне числення.

### **Основні наукові положення та результати, їх новизна**

#### *Наукові положення:*

1. Ефективність регулювання режимів електроспоживання головної водовідливної установки шахти забезпечується достатнім об'ємом водозбірника, який є нелінійною спадаючою функцією від кількості гілок та при її збільшенні асимптотично наближується до мінімального значення, що визначається добутком найбільшої тривалості періоду пікових електричних навантажень в енергосистемі, коефіцієнта замулювання гілок водозбірника і максимального годинного припливу води в шахту.

2. Середньодобова питома витрата електроенергії на відкачування води зростає при регулюванні режимів електроспоживання багатоагрегатної головної водовідливної установки шахти за критерієм мінімальних грошових витрат на оплату споживаної електроенергії і є поліноміальною функцією технічних та технологічних параметрів стану водовідливу.

#### *Наукова новизна результатів дослідження:*

1. Розроблено імітаційну модель, яка на відміну від відомих дозволяє визначити енергоефективний режим функціонування головної водовідливної установки шахти на основі формування множини варіантів роботи насосів для будь-яких технологічних параметрів водовідливу, включаючи погіршення технічного стану основного устаткування, та вибору режиму роботи за критерієм мінімальної питомої витрати електроенергії за умови мінімізації грошових витрат на її оплату.

2. Отримано невідомі раніше поліноміальні функціональні залежності третього і четвертого порядку між середньодобовою питомою витратою електроенергії на відкачування води та технічними параметрами стану насосів і нагнітальних трубопроводів відповідно, які дозволяють використовувати їх у системі моніторингу технічного стану основного устаткування водовідливу.

3. Виявлено поліноміальну залежність середньодобової питомої витрати електроенергії на відкачування води від сумарної продуктивності одночасно працюючих насосів головного водовідливу шахти при регулюванні режимів електроспоживання, що надає можливість визначення областей ефективної паралельної роботи системи "насос-трубопровід".

4. Встановлено, що середньодобова питома витрата електроенергії на відкачування води при регулюванні режимів електроспоживання головної водовідливної установки не збільшується за умови використання резервного трубопроводу і годинного водопрпливу, який не перевищує робочої продуктивності одного насоса.

**Обґрунтованість та достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій, запропонованих у роботі, підтверджується: коректністю застосованої методики і прийнятих допущень, які використовуються при розробці математичних моделей для визначення робочих параметрів насосів; застосуванням перевірених положень теорії електричних навантажень щодо методу технологічного графіка, як одного з найточніших при визначенні загальної і питомої витрат електроенергії; коректністю прийнятих допущень і початкових даних при імітаційному моделюванні режимів роботи ГВУ; результатами зіставлення розрахункових та фактичних параметрів роботи насосів; позитивним досвідом впровадження отриманих результатів.

*Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:*

1. Розроблено спосіб визначення достатнього для ефективного регулювання електроспоживання об'єму водозбірника, який відрізняється урахуванням кількості та нерівності його гілок за місткістю і найбільшої тривалості періоду пікових електричних навантажень в енергосистемі, що дозволяє зменшити загальний об'єм водозбірника до 15 %.

2. Запропоновано спосіб моніторингу параметрів головної водовідливної установки вугільної шахти, який полягає у контролі питомої витрати електроенергії на відкачування води для своєчасного визначення зміни технічного стану основного устаткування водовідливу.

3. Технічно обґрунтовано використання резервного трубопроводу при ефективному регулюванні режимів електроспоживання головного водовідливу, що дозволяє зменшити приріст середньодобової питомої витрати електроенергії на відкачування води до 7 % порівняно з використанням тільки робочих трубопроводів залежно від водоприпливу.

Отримані в дисертаційній роботі результати впроваджені в НПЦ "ДТЕК" при проектуванні та реконструкції головних водовідливних установок; на шахті "Благодатна" ПАТ "ДТЕК Павлоградвугілля" при регулюванні режимів електроспоживання головного водовідливу та використовуються в навчальному процесі ДВНЗ "НГУ" при підготовці фахівців за напрямками "Електротехніка і електротехнології" та "Електромеханіка".

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети і основних завдань дослідження, зборі, обробці та аналізі інформації щодо режимів роботи й електроспоживання ГВУ, розробці способу визначення об'єму водозбірника та місткостей його гілок, розробці алгоритму формування можливих режимів роботи водовідливу з урахуванням впливу технічного стану насосів і трубопроводів, що, в цілому, дозволило вирішити науково-практичну задачу підвищення ефективності використання головного водовідливу вугільної шахти в режимі споживача-регулятора.

**Апробація результатів дисертації.** Основні матеріали і результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція "Форум гірників" (м. Дніпропетровськ, 2013 р., 2014 р.); I Міжнародна науково-технічна

конференція викладачів, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів" (м. Донецьк, 2013 р.).

**Публікації.** Основні положення і результати роботи опубліковані у 12 друкованих працях (з них 5 – самостійні), з них: 5 – статті у фахових виданнях (з них 2 – у виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Scopus), 1 – у міжнародному виданні, 3 – матеріали наукових конференцій, 3 – патенти України на корисну модель.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з: вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел з 85 найменувань на 10 сторінках, 2 додатків на 3 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 146 сторінок, з яких: основний текст – 132 стор., рисунків – 26, таблиць – 9.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, основні наукові та практичні завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження. Викладено наукові положення, що виносяться на захист, сформульовано наукові результати та практичну цінність роботи. Показано рівень апробації результатів роботи, кількість публікацій за темою й особистий внесок автора.

**У першому розділі** проаналізовано проблему нерівномірності добового графіку електроспоживання в умовах енергосистеми України. Виконано оцінку можливості використання вугільних шахт як потужних підприємств в режимі споживачів-регуляторів активного навантаження. Розглянуто необхідні технологічні передумови для ефективного використання ГВУ шахт у регулюванні режимів електроспоживання для часткового вирішення проблеми нерівномірності графіка електричних навантажень (ГЕН). Проаналізовано параметри існуючих ГВУ шахт з точки зору відповідності таким передумовам.

Нерівномірність ГЕН енергосистеми України призводить до необхідності використання маневрених генеруючих потужностей для покриття пікових електричних навантажень. Застосування ТЕС у такому режимі є неекономічним та призводить до додаткового збільшення витрати палива, що негативно відображається на зростанні вартості електроенергії, яка виробляється, і, як наслідок, сприяє зниженню технічного ресурсу енергоблоків ТЕС та збільшенню негативного впливу на екологічну ситуацію в країні.

Зменшення нерівномірності ГЕН енергосистеми шляхом зниження рівня споживання електричної енергії в години максимуму навантажень частково досягається за рахунок роботи енергоємних споживачів підприємств у режимі С-Р. Такі заходи обумовлюють регулювання режимів електроспоживання, при цьому рівень їх ефективності залишається невисоким внаслідок необхідності виконання для кожної технологічної установки певних умов, у тому числі для головного водовідливу шахти.

Застосування ефективного регулювання режимів електроспоживання за допомогою С-Р, на прикладі шахтного водовідливу, сприяє максимальному зниженню оплати споживаної електроенергії при мінімальній її витраті.

Мінімальна питома витрата електроенергії, як критерій енергоефективної роботи головного водовідливу в режимі С-Р, досягається за рахунок створення відповідних технічних і технологічних умов для ефективного РРЕ.

Встановлено, що існуючий об'єм водозбірників ГВУ більшості шахт ПАТ "ДТЕК Павлоградвугілля" не відповідає діючим Правилам безпеки і Правилам технічної експлуатації вугільних шахт для можливості здійснення ефективного регулювання режимів електроспоживання і, відповідно, не дозволяє повною мірою використовувати шахтний водовідлив у режимі С-Р.

Для усунення вказаних недоліків існує необхідність у проведенні комплексного дослідження технічних і технологічних параметрів стану головного водовідливу з метою обґрунтування заходів щодо підвищення енергоефективності його роботи при регулюванні режимів електроспоживання.

У другому розділі проаналізовано робочі параметри основних технологічних елементів системи головного водовідливу шахти, а саме – водозбірника, насосів і нагнітальних трубопроводів. Розроблено спосіб визначення об'єму водозбірника ГВУ, що підвищує ефективність режимів її електроспоживання. Виконано оцінку впливу технічного стану насосів і трубопроводів на параметри режиму роботи водовідливу.

Відповідно до Правил безпеки, водозбірник ГВУ повинен складатися з двох і більше гілок для можливості їх регулярного чищення. Причому місткість гілок і відповідно їх рівність між собою нормативними документами не регламентується. На практиці ці параметри приймають, виходячи з конструктивних умов улаштування водозбірника відповідної шахти, а саме: технічних можливостей і гірничогеологічних умов будівництва, відповідності технологічної схеми водозбірника плану білястовбурного двору, виробничої необхідності, економічної доцільності тощо.

Для виконання водовідливом функцій С-Р необхідно створити технологічні умови, при яких об'єм однієї або декількох гілок, за вирахуванням місткості гілки, що знаходиться в чищенні, був би достатнім  $V_{\partial}$  для 4-годинного максимального припливу води:

$$V_{\partial} = K_3 t_m Q_{\max} = 4,6 Q_{\max}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

де  $K_3 = 1,15$  – коефіцієнт, що враховує середнє значення замулювання водозбірника у 15 % від максимально допустимого, що дорівнює 30 %;  $t_m = 4$  год – найбільша тривалість одного періоду проходження максимуму навантаження в енергосистемі;  $Q_{\max}$  – максимальне значення шахтного годинного припливу води,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

За умови, коли місткості гілок рівні, вираз (1) набуває вигляду, що дозволяє визначити об'єм усього водозбірника:

$$V_{\text{вод}} = \frac{n_2}{n_2 - n_4} K_3 t_m Q_{\max} = \frac{n_2}{n_2 - n_4} 4,6 Q_{\max}, \quad (2)$$

де  $n_2$  – кількість гілок водозбірника;  $n_4$  – кількість гілок водозбірника, що знаходиться в чищенні (як правило  $n_4 = 1$ ).



При сучасному конструктивному улаштуванні водозбірника з урахуванням виконання умов сполучення гірничих виробок, його гілки за місткістю рідко бувають однаковими, ця обставина створює певні особливості при мінімізації необхідного для РРЕ об'єму водозбірника за умови використання водовідливу як ефективного С-Р. У цьому випадку місткості гілок водозбірника  $V_{zi}$  описуються нерівністю:

$$V_{z1} > V_{z2} > \dots > V_{zi}. \quad (3)$$

Якщо найбільша за місткістю гілка  $V_{z1}$  знаходиться в чищенні, то сумарний об'єм інших гілок, які залишилися в роботі з акумуляції води, повинен відповідати умові:

$$V_{z2} + V_{z3} + \dots + V_{zi} = \sum_{i=2}^{n_2} V_i \geq 4,6Q_{\max}. \quad (4)$$

Аналіз місткостей гілок діючих ГВУ шахт, а також вивчення планів багатьох гірничих виробок, які відносяться до водовідливу, показали, що об'єм кожної наступної гілки водозбірника збільшується в середньому на 25–35 %, за рідкісним виключенням – на 40 % і більше. Різний об'єм гілок більшості існуючих водозбірників вугільних шахт є причиною або неможливості використання водовідливу в режимі С-Р (при виведенні в чищення більшої за місткістю гілки і недостатньому регульовальному об'ємі), або надмірного регульовального об'єму (при виведенні в чищення меншої за місткістю гілки), а відповідно – і зайвого обсягу будівельних робіт на спорудження водозбірника.

Отже, за існуючого конструктивного улаштування водозбірника його гілки рідко бувають однаковими за об'ємом, а їх кількість за Правилами безпеки не може бути менше двох (найпоширеніші значення 2 і 3). Виходячи з виразу (2), з урахуванням нерівності (3) і умови (4), отримані питомі значення (на 1 м<sup>3</sup> припливу води за годину) об'ємів водозбірника  $v_{вод}$  і його гілок  $v_z$ , однакових та різних, залежно від їх кількості  $n_2$  (див. табл. 1).

Розроблений спосіб визначення об'єму водозбірника ГВУ вугільних шахт і його гілок забезпечує можливість РРЕ шляхом повного виключення роботи насосів у години максимуму навантаження енергосистеми протягом усього року незалежно від графіка чищення гілок водозбірника, що створює технологічні умови підвищення ефективності роботи водовідливу в режимі С-Р.

Застосування однакових за місткістю гілок водозбірника та збільшення їх кількості дозволяє знизити необхідний для ефективного РРЕ об'єм водозбірника і, відповідно, зменшити об'єм гірничо-будівельних робіт до 15 %. При цьому залежність питомого об'єму водозбірника описується нелінійною функціональною залежністю, яка зі збільшенням кількості його гілок асимптотично наближається до мінімального значення, обчислюваного за формулою (1) (рис. 1). Практична цінність полягає в тому, що при однакових за місткістю гілках водозбірника його необхідний об'єм менше на величину від 1,15 до 0,93 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup>/год припливу води порівняно з різними.

Погіршення технічного стану насосів і трубопровідної мережі призводить до зміни їх робочих параметрів. При цьому збільшується тривалість роботи, яка

виконується і, як наслідок, зростає витрата електроенергії на її виконання, що обмежує можливість ефективного використання водовідливу в режимі С-Р.

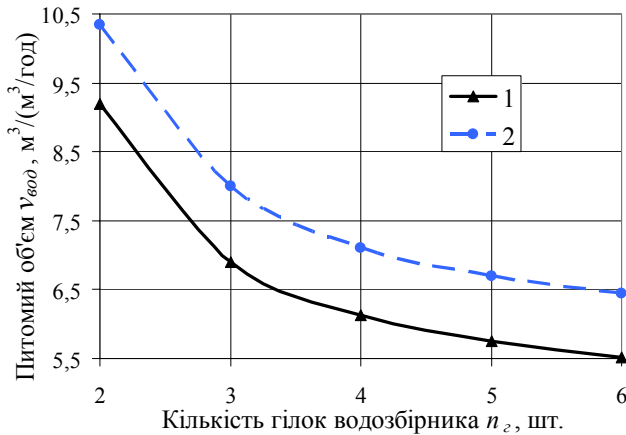


Рис. 1. Залежність  $v_{вод} = f(n_2)$  при рівних (крива 1) і нерівних (крива 2) за місткістю гілках

Таблиця 1 – Питомий об'єм водозбірника  $v_{вод}$  (м³/(м³/год)) залежно від кількості його гілок  $n_2$

$n_2$ , шт.	Рівні за місткістю гілки		Нерівні за місткістю гілки		$\Delta v_{вод}$ , м³/(м³/год)
	$v_{вод}$	$v_2$	$v_{вод}$	$v_2$	
2	9,2	2×4,6	10,35	5,75; 4,6	1,15
3	6,9	3×2,3	8,0	3,4; 2,6; 2,0	1,10
4	6,13	4×1,53	7,2	2,6; 2,0; 1,5; 1,1	1,07
5	5,75	5×1,15	6,7	2,1; 1,6; 1,3; 0,95; 0,75	0,95
6	5,52	6×0,92	6,45	1,85; 1,5; 1,1; 0,85; 0,65; 0,5	0,93

Аналіз режимів роботи насосів спільно з гідравлічною мережею показує взаємозв'язок параметрів що змінюються, які характеризують основні властивості технологічного процесу відкачування води, ці параметри слід віднести до розподілених у часі. Створена множина таких властивостей є основою для подальшого проведення досліджень в області оптимізації режимів роботи насосів ГВУ за критерієм мінімальної питомої витрати електроенергії. Подібні дослідження є складними і вимагають застосування варіаційного числення та моделювання.

У третьому розділі розроблено імітаційну модель режимів роботи головної водовідливної установки для будь-яких її технологічних параметрів та запропоновано спосіб моніторингу технічного стану її основного устаткування (насосних агрегатів і трубопроводів) за питомою витратою електроенергії.

Аналіз роботи головної водовідливної установки свідчить про залежність енергоефективності її режимів від технологічних і технічних параметрів стану елементів системи шахтного водовідливу. Отже, енергоефективність функціонування водовідливу  $E$  представлена функціоналом  $J$ , що представляє залежність від обмеженої множини функцій і реалізується методом варіаційного числення за допомогою розробленої імітаційної моделі шляхом вибору екстремального (мінімального) значення шуканої величини (питомої витрати електроенергії):

$$E = J(Q_{np}, H_w, V_{вод}, Q_p, H_p, N_n, \eta_n, N_m, R_{ек}, w_0, C_w),$$

де  $Q_{np}$  – приплив води, м³/год;  $H_w$  – горизонт водовідливу, м;

$V_{вод} = f(Q_{np}, K_3, t_m)$  – об'єм водозбірника, м³, який визначається виразом (2);

$Q_p = f(H_w, R_{ек}, N_n, N_m, Z_k)$  – робоча продуктивність насоса, м³/год;

$H_p = f(Q_p, Z_k)$  – робочий напір насоса, м;  $R_{ек} = f(\xi, D_{mp})$  – еквівалентний опір зовнішньої трубопровідної мережі,  $\text{ч}^2/\text{м}^5$ ;  $\eta_n = f(Q_p)$  – коефіцієнт корисної дії насосів;  $w_0 = f(Q_p, P_n, N_n)$  – питома витрата електроенергії,  $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$ ;  $C_w = f(P_n, N_n, C_0)$  – оплата електроспоживання, грн.

Розробка режимів роботи шахтного водовідливу здійснюється за допомогою імітаційного моделювання, для чого запропоновано алгоритм моделювання режимів функціонування ГВУ в режимі С-Р, блок-схема якого наведена на рис. 2.

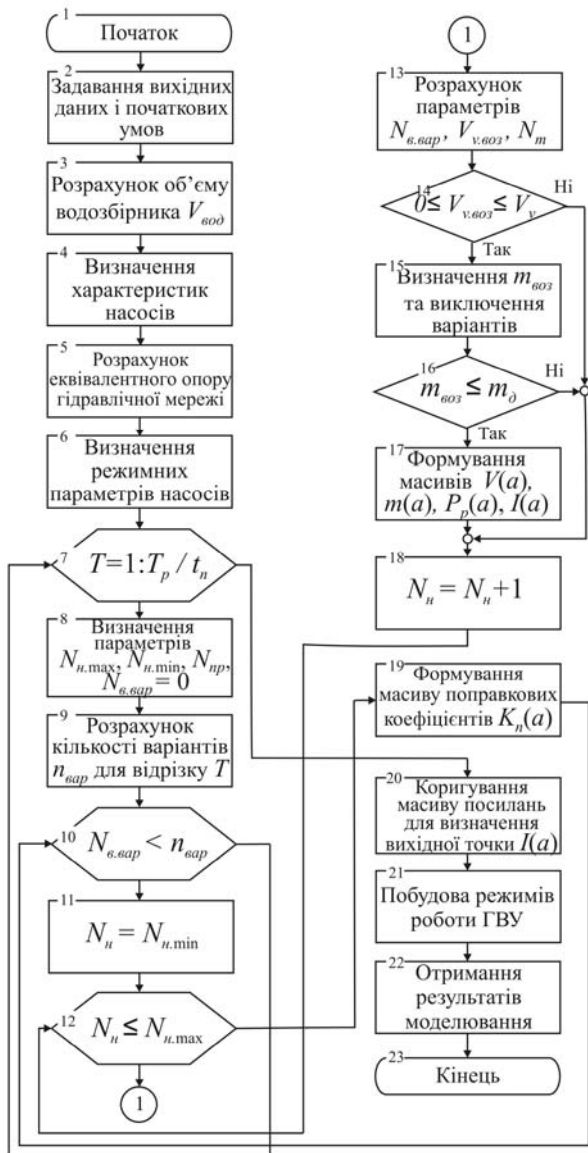


Рис. 2. Алгоритм моделювання режимів роботи ГВУ

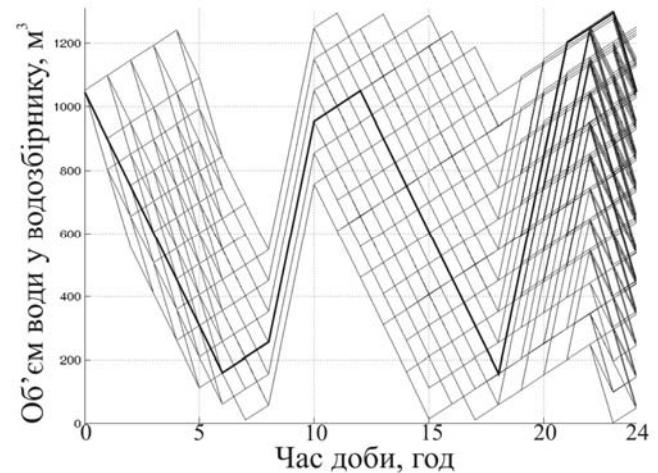


Рис. 3. Схема можливих режимів функціонування ГВУ (при роботі трьох насосів)

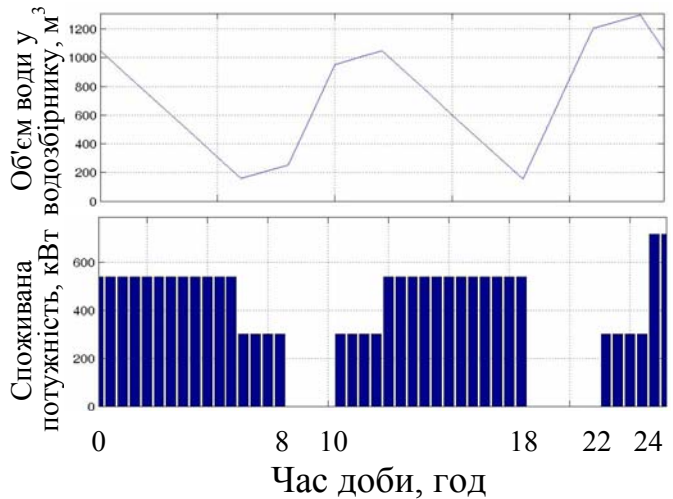


Рис. 4. Графік наповнення водозбірника та графік електричних навантажень ГВУ (при роботі трьох насосів)

Алгоритм дозволяє отримати множину можливих режимів роботи ГВУ для будь-яких її технологічних і технічних параметрів. За допомогою варіаційного числення визначається енергоефективний режим, який характеризується

мінімальною питомою витратою електроенергії на відкачування води при мінімізації оплати електроспоживання.

На рис. 3 і 4 наведено результати моделювання у вигляді схеми усіх можливих варіантів функціонування ГВУ для конкретних умов і вибраного енергоефективного циклічного режиму роботи насосів на добовому інтервалі.

Для ГВУ шахт Західного Донбасу отримано функціональні залежності впливу ступеня погіршення технічного стану трубопровідної мережі та насосних агрегатів на питому витрату електроенергії, які дозволяють прогнозувати такі зміни технічного стану при збільшенні питомої витрати (рис. 5). Моніторинг показників питомих енерговитрат і характеру напору, створюваного насосами, згідно розробленого способу, дозволяє своєчасно визначати причини їх зміни, які, як правило, пов'язані з технічним станом устаткування (рис. 6).

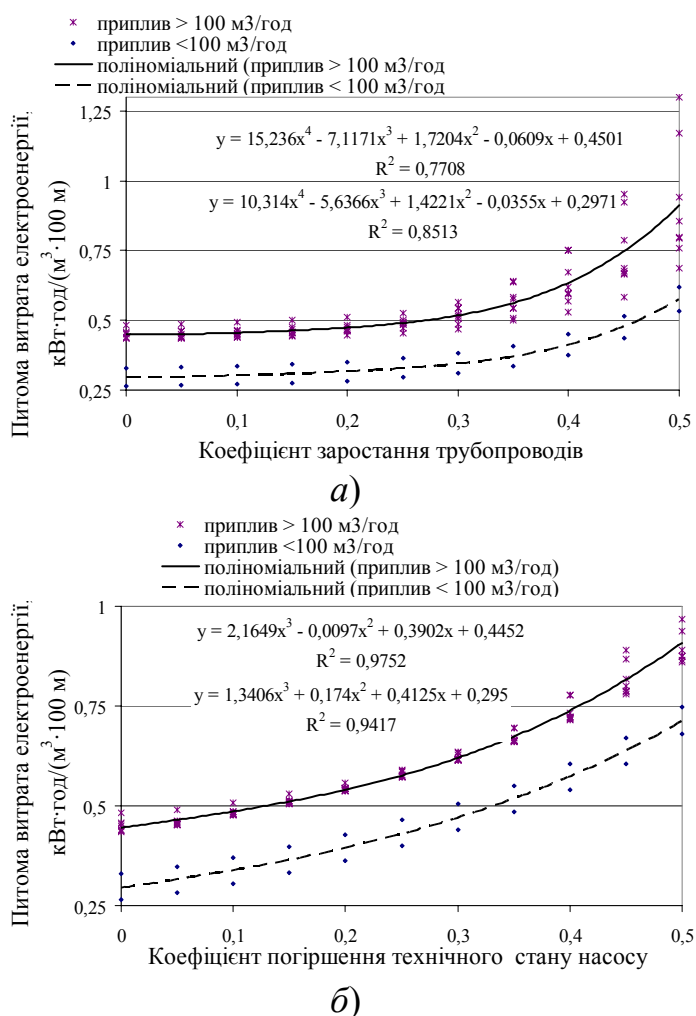


Рис. 5. Узагальнені залежності питомої витрати електроенергії від ступеня заростання трубопроводів (а) та погіршення технічного стану насосів (б)

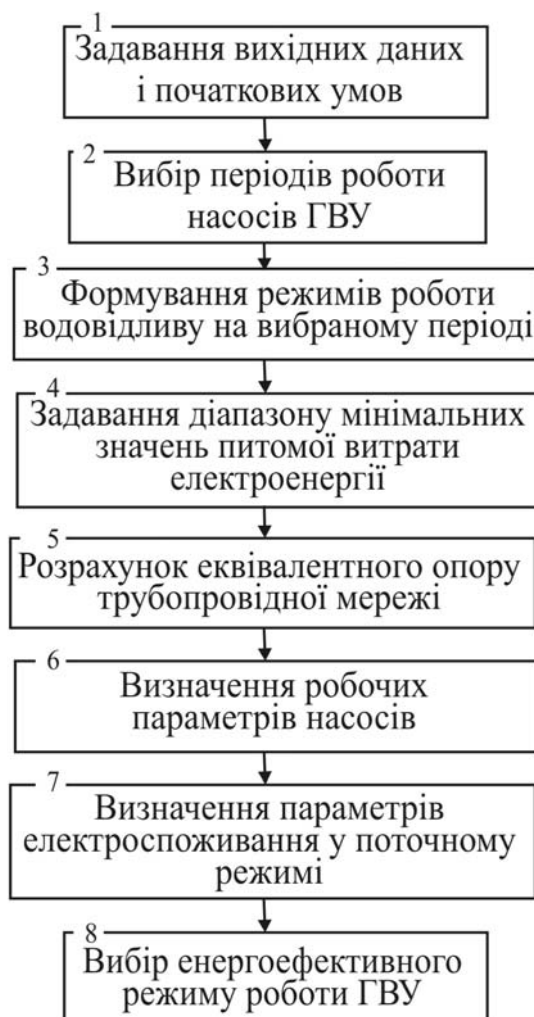


Рис. 6. Структурна схема моніторингу параметрів ГВУ вугільної шахти

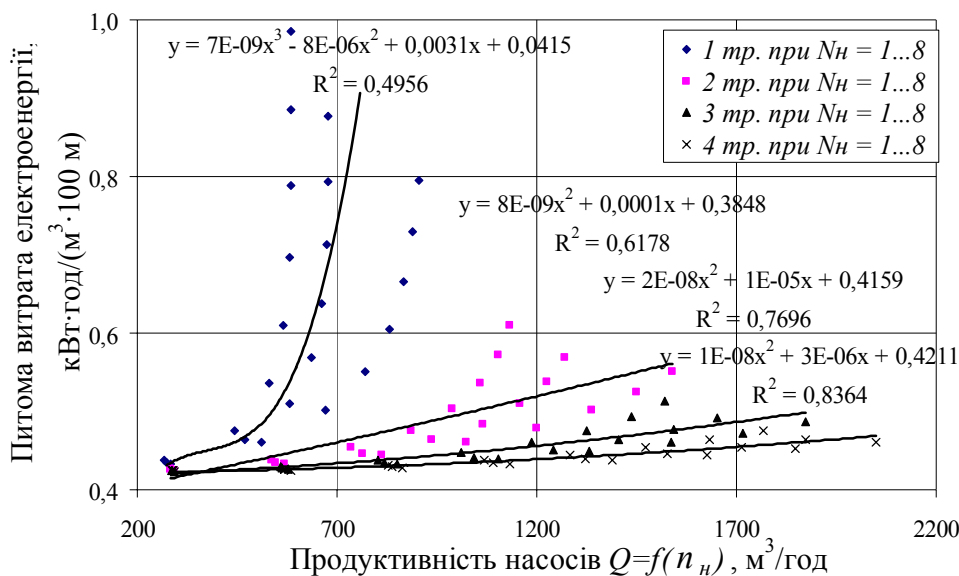


Рис. 7. Залежність питомої витрати електроенергії від кількості робочих трубопроводів

Аналіз паралельної роботи насосів дозволив визначити функціональну залежність питомої витрати електроенергії від сумарної продуктивності одночасно працюючих насосів при відповідній кількості трубопроводів, задіяних в роботі. Отже, режим роботи трьох і більше насосів на один трубопровід є неефективним, враховуючи різке збільшення питомих енерговитрат на відкачування води. При цьому, збільшення кількості трубопроводів ГВУ, що задіяні в процесі відкачування води, мінімізує залежність питомої витрати електроенергії від висоти підйому рідини (рис. 7).

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню областей енергоефективного використання головного водовідливу в режимі С-Р і визначенню меж можливості РРЕ та заходів щодо підвищення його ефективності.

Аналіз системи шахтного водовідливу як сукупності взаємодіючих елементів надає можливість її опису теорією множин. При цьому прийнята дискретна зміна параметрів за рахунок застосування коефіцієнтів.

В процесі функціонування ГВУ множина її елементів може мати множину станів. Наприклад, множина станів трубопроводу  $A$ , елементами якого є різний ступінь заростання внутрішнього діаметра трубопровідної мережі, має вигляд:

$$K_{zm} \in A,$$

$$A = \{K_{zm(0)}, K_{zm(0,1)}, K_{zm(0,2)}, K_{zm(0,3)}, K_{zm(0,4)}, K_{zm(0,5)}, \dots, K_{zm(i)}\},$$

де  $K_{zm(0)}$ ,  $K_{zm(0,5)}$ ,  $K_{zm(i)}$  – коефіцієнт заростання трубопроводу на 0, 10, 20, 30, 40, 50 %, ...,  $i$  % відповідно, в.о.

Подібні множини станів мають також насосний агрегат  $K_{nn} \in B$  та водозбірник  $K_{zb} \in C$ , де  $K_{nn}$  – коефіцієнт погіршення технічного стану насосів на 0 ...  $j$  % та  $K_{zb}$  – коефіцієнт зменшення робочого (регульовального) об'єму водозбірника (внаслідок його замулювання або чищення) на 0 ...  $n$  %.

При цьому множини  $A$ ,  $B$ ,  $C$  є кінцевими, оскільки мають кінцеве число елементів  $i$ ,  $j$ ,  $n$ , максимальні величини яких відповідають граничним параметрам об'єкту, що дозволяють виконувати його функції при PPE.

Реалізація та обробка отриманих множин виконується за допомогою розробленого алгоритму (рис. 2), що дозволяє визначити ефективність роботи ГВУ при взаємодії її елементів з урахуванням технічних і технологічних параметрів їх стану.

На рис. 8 наведено приклад визначення областей застосування PPE водовідливу в контексті зміни питомої витрати електроенергії  $w_0$  від ступеня зменшення внутрішнього діаметра трубопроводу в результаті його заростання ( $K_{zm}$ ) для різного технічного стану насосів ( $K_{nn}$ ). Такі області отримані для різних припливів води з подальшим узагальненням, включаючи економічну ефективність в частині зниження оплати за спожиту електроенергію.

В результаті узагальнення отриманих областей ефективності PPE головного водовідливу за двома критеріями, визначено область енергоефективної роботи ГВУ в режимі С-Р з урахуванням погіршення технічного стану насосів і трубопроводів (див. рис. 9).

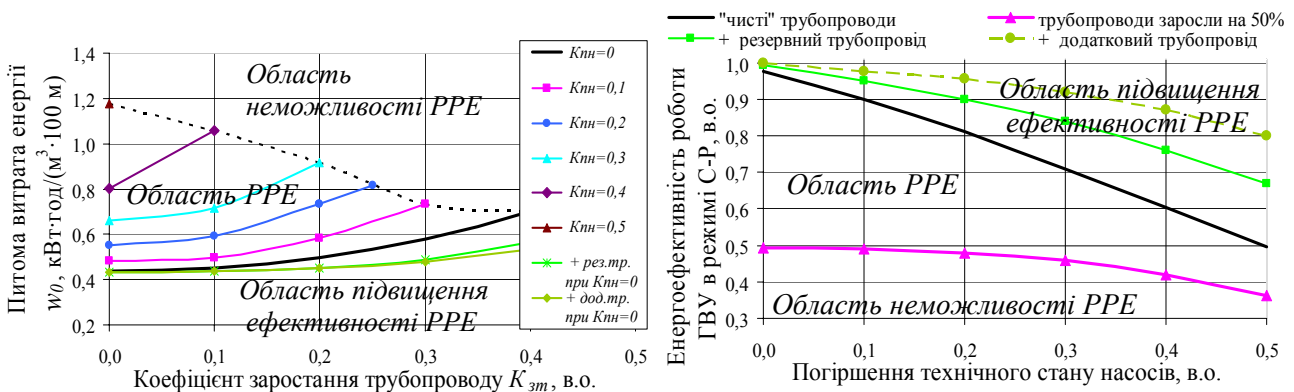


Рис. 8. Приклад визначення областей застосування PPE при зміні параметрів трубопроводів і насосів

Рис. 9. Узагальнені області енергоефективної роботи ГВУ в режимі С-Р при зміні технічного стану насосів і трубопроводів

Ефективність PPE або навіть його можливість залежить від тривалості зменшення робочого об'єму водозбірника. Процес чищення водозбірника є трудомістким і здійснюється, як правило, вручну робочим персоналом, тому даний захід може тривати до декількох місяців, залежно від обсягу роботи. Це призводить до того, що після закінчення чищення однієї гілки водозбірника з'являється необхідність у чищення іншої, при цьому значну частину часу протягом року робочий об'єм водозбірника відповідає місткості однієї гілки (для водозбірника, що складається з двох гілок).

На рис. 10 наведено приклад отриманих залежностей питомих технічних ( $a$ ) і економічних ( $b$ ) показників роботи ГВУ на період обмеження робочого об'єму водозбірника від його тривалості.

Аналіз визначених областей ефективності РРЕ головного водовідливу (рис. 8, 9) показав, що можливість такого регулювання обмежується технічними параметрами робочого стану насосних агрегатів і трубопровідної мережі, погіршення яких знижує ефективність РРЕ. Як наслідок, енергоефективність роботи ГВУ в режимі С-Р фактично прямо пропорційно залежить від технічного стану насосів, погіршення якого на 50 % призводить до зниження енергоефективності вдвічі.

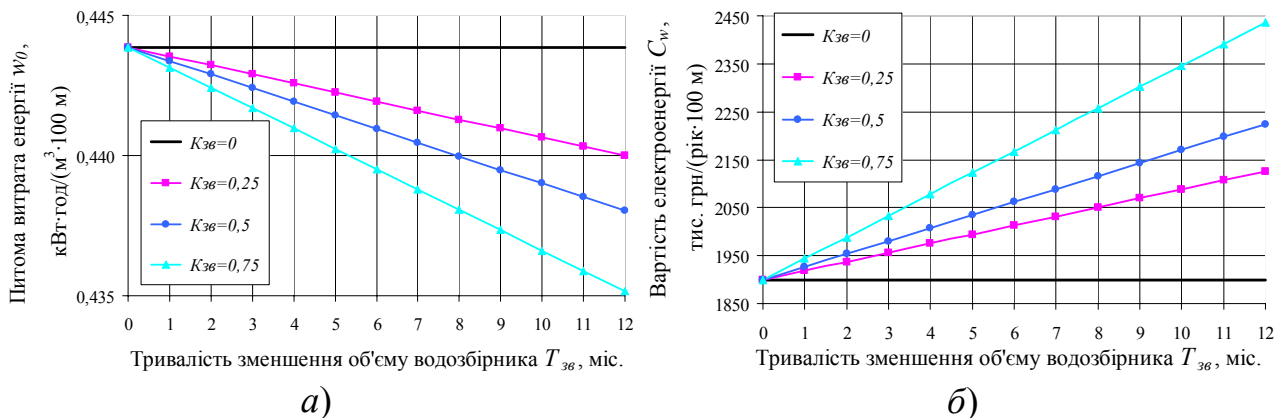


Рис. 10. Приклад залежностей питомих технічних (а) та економічних (б) показників роботи ГВУ від робочого об'єму водозбірника

Регулювання режимів електроспоживання ГВУ призводить до збільшення питомої витрати електроенергії до 9 % за рахунок інтенсифікації процесу відкачування води у позапікові періоди доби, проте використання резервного трубопроводу дозволяє знизити приріст питомих енерговитрат порівняно з режимом застосування тільки робочих трубопроводів на 7 %, а також сприяє додатковому зниженню оплати спожитої ГВУ електроенергії до 5 % залежно від водоприпливу та технічного стану устаткування.

Зменшення робочого об'єму водозбірника ГВУ вугільної шахти призводить до відсутності технологічної можливості для накопичення води в період максимальних навантажень в енергосистемі і, як наслідок, – до зниження ефективності регулювання або навіть його неможливості. Отже, необхідність інтенсивної роботи насосів у цьому випадку відсутня, тому в роботі задіяна мінімальна кількість насосів і, відповідно, питома витрата електроенергії не змінюється або навіть зменшується (рис. 10, а). Для великих припливів води питома витрата електроенергії на її відкачування при РРЕ прямо пропорційна об'єму водозбірника. При цьому обмеження його робочого об'єму до 75 % протягом року, незалежно від водоприпливу, призводить до збільшення оплати спожитої електроенергії до 28 %.

У розділі 5 виконано економічну оцінку отриманих результатів щодо доцільності використання ГВУ для ефективного регулювання режимів електроспоживання за двома складовими: зниження оплати підприємством спожитої електроенергії за рахунок виключення роботи насосів у періоди пікових навантажень та зменшення витрати палива (вугілля) на ТЕС для

виробництва електроенергії у ці періоди. Обґрунтовано достовірність результатів моделювання режимів роботи насосів головного водовідливу.

Порівняння параметрів роботи насосів (подача, напір, ККД, питома витрата електроенергії), визначених за допомогою імітаційної моделі, з фактичними даними, отриманими експериментальним шляхом, дозволяє стверджувати про похибку отриманих результатів, що не перевищує 9 %. Похибка результатів моделювання порівняно з даними, розрахованими за аналітичними залежностями, не перевищує 2 %.

Розроблені та запропоновані до реалізації технологічні заходи для функціонування водовідливу дозволять здійснювати ефективне регулювання режимів електроспоживання. Збільшення об'єму водозбірника відповідно до розробленого способу (табл. 1) дозволить зменшити оплату за споживання електроенергії до 20 %, проте витрата електроенергії в результаті інтенсивної роботи насосів у позапікові періоди збільшиться до 9 %. Використання резервного трубопроводу для відкачування води дозволить додатково знизити оплату за електроспоживання, а також зменшити витрату електричної енергії.

Підвищення ефективності РРЕ дозволяє повністю виключити роботу насосів головного водовідливу в періоди максимальних навантажень в енергосистемі і, як наслідок, сприяє зменшенню нерівномірності ГЕН енергосистеми. Зниження потужності, необхідної для покриття нерівномірної частини ГЕН, сприяє зменшенню витрати палива (вугілля) на ТЕС, що є важливим і необхідним, зважаючи на дефіцит палива. За приблизними розрахунками при ефективному РРЕ лише головних водовідливних установок шахт Західного Донбасу величина такого зменшення складе приблизно 600 т вугілля на рік.

## ВИСНОВКИ

У дисертації, яка є завершеною науковою роботою, розв'язано науково-прикладну задачу, що полягає у комплексній оцінці впливу технічних і технологічних параметрів стану, що змінюються, та режимів роботи головної водовідливної установки на енергоефективність її функціонування в режимі споживача-регулятора, що зумовило необхідність розробки імітаційної моделі для реалізації алгоритму моделювання можливих і вибору відповідних критерію мінімальної питомої витрати електроенергії режимів роботи водовідливу.

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

1. Встановлено, що існуючий об'єм водозбірників ГВУ більшості шахт Західного Донбасу не відповідає діючим Правилам безпеки і Правилам технічної експлуатації вугільних шахт для можливості здійснення ефективного регулювання режимів електроспоживання і, відповідно, не дозволяє повною мірою використовувати шахтний водовідлив у режимі С-Р.

2. Розроблений спосіб визначення об'єму водозбірника ГВУ вугільних шахт, який враховує нерівність об'ємів його гілок, дозволить підвищити ефективність роботи водовідливу в режимі С-Р за допомогою повного виключення роботи насосів в години максимуму навантаження в енергосистемі



протягом усього року незалежно від графіку чищення гілок водозбірника. Зміна питомої витрати електроенергії при РРЕ прямо пропорційна зміні місткості водозбірника, при цьому обмеження його робочого об'єму до 75 % протягом року, незалежно від величини водоприпливу, призводить до збільшення оплати за споживання електроенергії до 28 %.

3. Доведено, що неоднаковість об'ємів гілок більшості існуючих водозбірників вугільних шахт спричиняє або неможливість використання водовідливу в режимі С-Р (при виведенні в чищення більшої за місткістю гілки і недостатньому об'ємі залишеної в роботі), або надмірний об'єм (при виведенні в чищення меншої за місткістю гілки), а відповідно і зайвий обсяг підземних гірничо-будівельних робіт на спорудження водозбірника. Спорудження однакових за місткістю гілок водозбірника та збільшення їх кількості дозволить зменшити необхідний для ефективного РРЕ об'єм водозбірника до 15 %, що відобразиться на зниженні обсягу підземних гірничо-будівельних робіт.

4. Встановлено, що паралельна робота насосів на обмежену кількість трубопроводів призводить до зниження їх індивідуальної продуктивності і, відповідно, сумарної, що викликає необхідність збільшення кількості увімкнених насосів і, як наслідок, призводить до зростання питомої витрати електроенергії. При цьому режим роботи насосів у кількості більше двох на один трубопровід є неефективним, зважаючи на різке збільшення питомої витрати електроенергії.

5. Доведено, що використання резервного трубопроводу при РРЕ шахтного водовідливу дозволяє знизити приріст питомої витрати електроенергії на відкачування води порівняно з режимом використання тільки робочих трубопроводів до 7 %, а також сприяє додатковому зниженню оплати спожитої ГВУ електроенергії до 5 % залежно від водоприпливу і технічного стану устаткування. При цьому збільшення об'єму водозбірника відповідно до розробленого способу спільно з використанням резервного трубопроводу в процесі відкачування води при РРЕ дозволить зменшити річну витрату електроенергії та плату за її споживання до 4 % і 23 % відповідно залежно від водоприпливу. Крім того, встановлено, що оплата спожитої головним водовідливом електроенергії протягом доби при РРЕ залежить від початкового рівня води у водозбірнику та може бути зменшена до 10 % при рівні води на початку доби, близькому до максимального.

6. Встановлено, що енергоефективність функціонування ГВУ залежить від множини умов і станів системи водовідливу, що дозволяє представити її у вигляді функціонала, залежного від декількох функцій. Розроблений алгоритм моделювання режимів роботи ГВУ дозволяє з множини сформованих режимів її функціонування для будь-яких технологічних характеристик водовідливу та технічних параметрів насосів і трубопровідної мережі вибрати енергоефективний режим роботи за допомогою варіаційного числення.

7. Реалізація розробленого алгоритму здійснюється за допомогою розробленої імітаційної моделі визначення режиму функціонування насосів ГВУ з урахуванням їх робочих параметрів, яка дозволяє моделювати схеми всіх можливих варіантів функціонування водовідливної установки для заданих умов, а також визначати з них варіанти з циклічним режимом роботи насосів

водовідливу протягом розрахункового періоду часу. При цьому, формується будь-який з можливих графіків наповнення водозбірника і відповідний йому графік електричних навантажень ГВУ, а також визначається режим з мінімальною питомою витратою електроенергії при мінімізації плати за її споживання. Для вибраного (поточного) режиму визначається оплата спожитої електроенергії і загальна її витрата за добу, а також питома витрата електроенергії на відкачування води. Як наслідок, отримана можливість вибору режиму роботи ГВУ з мінімальними енергетичними затратами за умови досягнення максимального зниження оплати споживаної електроенергії при РРЕ водовідливу.

8. Отримані функціональні залежності впливу ступеня погіршення технічного стану трубопроводної мережі та насосних агрегатів на питому витрату електроенергії дозволяють прогнозувати такі зміни стану обладнання при відповідному збільшенні питомої витрати електроенергії, моніторинг значення якої дозволить своєчасно визначати причини такого зростання. Погіршення технічного стану насосів і трубопроводів призводить до зміни їх робочих параметрів, при цьому збільшується тривалість виконання ними роботи з відкачування води і, як наслідок, зростає витрата електроенергії на реалізацію того ж обсягу роботи. Таким чином, можливість РРЕ обмежується технічним станом елементів системи водовідливу, які знижують його ефективність в два-три рази залежно від водоприпливу.

**Основні наукові положення та результати опубліковані в наступних роботах:**

*Публікації у закордонних виданнях:*

1. Rukhlova N. Simulation of the energy-effective operating modes of the mine main pumping / N. Rukhlova // Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems: Taylor & Francis Group, London, 2015 annual publication. – P. 121-125.

*Публікації у фахових виданнях:*

2. Рухлова Н.Ю. О проблеме эффективного электропотребления главным водоотливом шахты / Н.Ю. Рухлова // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 89. – С. 143-145.

3. Разумный Ю.Т. Повышение энергоэффективности главной водоотливной установки угольной шахты / Ю.Т. Разумный, Н.Ю. Рухлова, А.В. Рухлов // Науковий вісник НГУ: Наук.-техн. зб. – 2013, № 5.–С. 67-72.

4. Рухлова Н.Ю. Оценка энергоэффективности работы главного водоотлива шахты в режиме потребителя-регулятора / Н.Ю. Рухлова. – Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2013. – Вип. 90. – С. 137-139.

5. Рухлов А.В. Технологические условия работы главного водоотлива в режиме эффективного потребителя-регулятора / А.В. Рухлов, Н.Ю. Рухлова // Уголь Украины – 2014. – № 12. – С. 34-37.

6. Разумный Ю.Т. Энергоэффективная работа водоводливной установки вугільної шахти / Ю.Т. Разумный, Н.Ю. Рухлова, А.В. Рухлов // Науковий вісник НГУ: Наук.-техн. зб. – 2015. – № 2 (146). – С. 74-79.

*Додаткові матеріали:*

7. Патент на корисну модель № 82512 України, МПК Е 02 D 19/00. Спосіб визначення об'єму водозбірника головної водовідливної установки шахти / Разумний Ю.Т., Рухлов А.В., Рухлова Н.Ю.; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет". – № u 2013 00039 ; заявл. 02.01.13 ; опубл. 12.08.13, Бюл. № 15.

8. Патент на корисну модель № 86645 України, МПК F 15 B 1/00, МПК F 04 D 27/00. Спосіб керування головною водовідливною установкою вугільної шахти / Разумний Ю.Т., Рухлов А.В., Рухлова Н.Ю.; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет". – № u 2013 07312 ; заявл. 10.06.13 ; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1.

9. Патент на корисну модель № 93990 України, МПК F 15 B 1/00, МПК F 04 D 27/00. Спосіб керування головною водовідливною установкою вугільної шахти / Разумний Ю.Т., Рухлов А.В., Рухлова Н.Ю.; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет". – № u 2014 04663 ; заявл. 30.04.14 ; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20.

*Матеріали конференцій:*

10. Рухлова Н.Ю. Влияние технологических условий работы главного водоотлива угольной шахты на повышение энергоэффективности его использования: Матеріали міжнародної конф. "Форум гірників – 2013", 2-5 жовтня 2013 р., м. Дніпропетровськ / Дніпропетровськ: ДВНЗ "НГУ", Т. 4. – 2013. – С. 168-172.

11. Рухлова Н.Ю. Моделирование энергоэффективных режимов работы шахтного водоотлива: Збірник наукових праць I Міжнародної наук.-техн. конф. викладачів, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів", 17-18 жовтня 2013 р., м. Донецьк. – Донецьк: ДВНЗ "ДонНТУ", 2013. – С. 56-57.

12. Рухлова Н.Ю. Моделирование энергоэффективных режимов работы шахтного водоотлива: Матеріали міжнародної конф. "Форум гірників – 2014", 1-4 жовтня 2014 р., м. Дніпропетровськ / Дніпропетровськ: ТОВ "ЛізуновПрес", Т. 3. – 2014. – С. 160-163.

У роботах, написаних у співавторстві, особистий внесок полягає в наступному: виконаний аналіз технологічних параметрів водозбірників існуючих шахт, отримана залежність відносного об'єму гілок ГВУ від їх кількості – [2, 10]; виконана оцінка невідповідності технологічних параметрів водозбірників шахт існуючим нормам і обґрунтовано доцільність вирівнювання об'ємів гілок для ефективного регулювання режимів електроспоживання – [4]; запропонований алгоритм визначення кількості одночасно працюючих насосів у позапіковий період за умови їх відключення в період максимальних навантажень енергосистеми, з урахуванням робочих параметрів паралельно працюючих агрегатів – [11]; запропонований алгоритм формування можливих режимів роботи водовідливу з урахуванням впливу технічного стану насосів і трубопроводів, визначення режиму з мінімальною питомою витратою електроенергії за умови мінімізації оплати за її споживання, а також здійснення функцій керування насосами – [6, 12].

## АНОТАЦІЯ

Рухлова Н.Ю. Підвищення енергоефективності роботи головного водовідливу вугільної шахти в режимі споживача-регулятора. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи. – Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», – Дніпропетровськ. – 2015.

У дисертаційній роботі вирішено важливу наукову задачу, яка полягає у комплексній оцінці впливу технічних і технологічних параметрів стану, що змінюються, і режимів роботи головної водовідливної установки на енергоефективність її функціонування в режимі споживача-регулятора, що зумовило необхідність моделювання можливих режимів роботи насосів водовідливу.

Розроблено спосіб визначення об'єму водозбірника, який враховує кількість і неоднаковість місткостей його гілок та повністю виключає роботу насосів у періоди максимальних навантажень в енергосистемі.

Запропоновано імітаційну модель режимів роботи головної водовідливної установки шахти, яка дозволяє формувати множину варіантів її функціонування і вибрати найефективніший для будь-яких технологічних параметрів, включаючи погіршення технічного стану основного устаткування водовідливу.

Встановлено функціональні залежності впливу ступеня погіршення технічного стану трубопровідної мережі та насосних агрегатів на питому витрату електроенергії, що дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану устаткування за відповідними змінами питомих витрат.

Доведено економічну доцільність ефективного регулювання режимів електроспоживання головного водовідливу (у тому числі при використанні резервного трубопроводу) в частині зниження оплати за спожиту насосами електроенергію до 30 %.

*Ключові слова:* головна водовідливна установка, енергоефективність, вугільна шахта, питома витрата електроенергії, регулювання режимів електроспоживання.

## АННОТАЦИЯ

Рухлова Н.Ю. Повышение энергоэффективности работы главного водоотлива угольной шахты в режиме потребителя-регулятора. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. – Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», – Днепропетровск. – 2015.

В диссертационной работе решена важная научная задача, которая заключается в комплексной оценке влияния изменяющихся технических и технологических параметров состояния и режимов работы главной

водоотливной установки на энергоэффективность ее функционирования в режиме потребителя-регулятора, что обусловило необходимость разработки имитационной модели для реализации алгоритма моделирования возможных режимов работы насосов водоотлива и выбора варианта соответствующего критерию минимального удельного расхода электроэнергии на откачку воды.

Установлено, что существующий объем водосборников ГВУ большинства шахт Западного Донбасса не соответствует требованиям действующих нормативных документов в части возможности эффективного регулирования режимов электропотребления и, соответственно, не позволяет в полной мере использовать шахтный водоотлив в режиме П-Р.

Доказано, что неравномерность объемов ветвей большинства существующих водосборников угольных шахт является причиной либо невозможности использования водоотлива в режиме П-Р, либо избыточного регулировочного объема, а соответственно – излишнего объема подземных горно-строительных работ на сооружение водосборника. Сооружение равных по вместимости ветвей водосборника и увеличение их количества позволит снизить необходимый для эффективного РРЭ объем водосборника до 15 %.

Разработан способ определения объема водосборника ГВУ угольных шахт, который учитывает неравномерность объемов его ветвей и позволяет повысить эффективность работы водоотлива в режиме П-Р с помощью полного исключения работы насосов в часы максимума нагрузки в энергосистеме на протяжении всего года независимо от режима чистки ветвей водосборника.

Обосновано, что энергоэффективность функционирования ГВУ зависит от множества условий и состояний системы водоотлива и может быть представлена в виде функционала, зависящего от нескольких функций. Разработанный алгоритм моделирования режимов работы ГВУ позволяет из множества сформированных режимов ее функционирования для любых технологических характеристик устройства водоотлива, технических параметров насосов и трубопроводной сети выбрать энергоэффективный режим функционирования.

Предложена имитационная модель определения режима работы насосов ГВУ с учетом их рабочих параметров, которая позволяет моделировать все возможные варианты функционирования водоотливной установки для заданных условий, а также выбирать из них варианты с циклическим режимом работы насосов водоотлива и минимальным удельным расходом электроэнергии при минимизации оплаты за ее потребление.

Получены функциональные зависимости влияния степени ухудшения технического состояния трубопроводной сети и насосных агрегатов на удельный расход электроэнергии, которые позволяют прогнозировать изменения их технического состояния при соответствующем изменении удельного расхода, мониторинг которого позволит своевременно определять причины такого изменения.

Обоснована экономическая целесообразность эффективного регулирования режимов электропотребления главного водоотлива (в том числе

при использовании резервного трубопровода) в части снижения оплаты за потребляемую насосами электроэнергию до 30 %.

*Ключевые слова:* главная водоотливная установка, энергоэффективность, угольная шахта, удельный расход электроэнергии, регулирование режимов электропотребления.

## SUMMARY

**Rukhlova N.Yu. Increase of the work energy efficiency of coal mine main pumping at controllable load mode.** – Manuscript.

The thesis for getting a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on specialty 05.09.03 – Electrotechnical complexes and systems. – State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnipropetrovsk, Ukraine, 2015.

The dissertation is devoted to the research of the major scientific challenge to establishing patterns of the complex influence of variable technical and technological state parameters and operating modes of main dewatering plant on its functioning energy efficiency at controllable load mode. That stipulated for the modeling necessity of pumps possible operating modes.

The determination method of lodgement volume is developed. The method takes into account quantity and capacity inequality of its branches and fully eliminates the pumps functioning in periods of maximal loading in power grid.

The simulation model of operating modes of mine main dewatering plant is offered. The model allows to form a quantity of its functioning variants and to choose most effective one for any technological parameters, including the technical condition worsening of pumping basic equipment.

The functional dependences of degree worsening influence of technical condition of piping system and pumping unit on specific energy consumption are determined. That allows to realize the monitoring of equipment technical condition by the corresponding changes of specific charges.

The economic feasibility of the effective regulation of electro-consumption modes of main pumping is established (including of reserve pipeline use) in context of payment decrease for used by pumps electric power on value about 30 %.

**Keywords:** main dewatering plant, energy efficiency, coal mine, specific energy consumption, regulation of electro-consumption modes.

РУХЛОВА Наталія Юріївна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ  
ГОЛОВНОГО ВОДОВІДЛИВУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ  
В РЕЖИМІ СПОЖИВАЧА-РЕГУЛЯТОРА**

(Автореферат)

Підписано до друку 07.09.2015. Формат 60x90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № .

Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.