

УДК 622.5:621.3.07

Ю.Т. Разумний, д-р техн. наук, проф.,
Н.Ю. Рухлова,
А.В. Рухлов, канд. техн. наук, доц.

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м.Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: 7169103@i.ua

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА РОБОТА ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Yu.T. Razumnyi, Dr. Sci. (Tech.),
N.Yu. Rukhlova,
A.V. Rukhlov, Cand. Sci. (Tech.)

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: 7169103@i.ua

ENERGY EFFICIENT WORK OF A COAL MINE DEWATERING PLANT

Мета. Підвищення енергоефективності роботи водовідливної установки шахти в режимі споживача-регулятора.

Методика. Для отримання наукових і практичних результатів використані методи імітаційного моделювання, дослідження операцій та аналізу технологічних процесів.

Результати. Обґрунтована актуальність використання шахтного водовідливу в якості ефективного споживача-регулятора. Удосконалена математична залежність визначення еквівалентного опору трубопровідної мережі для врахування зменшення її внутрішнього діаметру внаслідок обростання мінеральними відкладеннями. Уточнена залежність коефіцієнта корисної дії насоса від його робочих параметрів для корегування їх значень при погіршенні технічного стану насосного агрегату. Отримана залежності збільшення питомої витрати електроенергії на водовідлив від зміни технічного стану трубопровідної мережі та насосних агрегатів. Встановлено, що врахування робочих параметрів обладнання головної водовідливної установки вугільної шахти при регулюванні режимів електроспоживання забезпечує найбільш енергоекономічний режим функціонування водовідливу.

Наукова новизна. Зміна питомої витрати електроенергії на водовідлив визначається за модельними залежностями та порівнюється з фактичними значеннями, що дозволяє вибирати енергоефективний режим роботи насосів і трубопровідної мережі.

Практична значимість. Встановлено, що вибір режиму роботи водовідливу за критерієм мінімальної питомої витрати електроенергії та за умови мінімальної плати за споживану протягом доби електричну енергію за розробленим способом дозволяє зменшити на 20–25% грошові затрати на оплату споживаної шахтним водовідливом електроенергії та, відповідно, знизити її витрату, а також контролювати й своєчасно виявляти погіршення технічного стану основного обладнання головної водовідливної установки.

Ключові слова: *головна водовідливна установка, споживач-регулятор, регулювання режимів електроспоживання, енергоефективність, вугільна шахта, питома витрата електроенергії, трубопровід*

Вступ. Шахтний водовідлив, за своєю суттю, є класичним споживачем-регулятором (С-Р), проте ефективність його використання в цій якості не для всіх умов залишається достатньо високою. Участь головної водовідливної установки (ГВУ) в регулюванні режимів електроспоживання (РРЕ) повинна бути економічно вигідною як споживачу (шахті), так і виробнику (енергосистемі) за умови використання диференційованого за періодами доби тарифу на електроенергію. Виходячи з цього, економічний ефект від зміни режимів роботи водовідливу, відключення насосів у години пікових навантажень і інтенсивного відкачування води в години нічного провалу в енергосистемі повинен бути високим. Але проблема полягає в тому, що відомий спосіб використання головного водовідливу шахти (С-Р) не враховує змінення коефіцієнтів корисної дії (ККД) насосів та діаметру трубопровідної мережі внаслідок їх тривалої експлуатації. Такі явища впливають на зростання питомих витрат електроенергії при вклю-

ченні робочих та резервних насосів для відкачування води після проходження періоду пікових навантажень в енергосистемі. Унаслідок таких режимів збільшується загальна витрата електроенергії на виконання роботи з відкачування води.

Отже, для реалізації таких режимів роботи необхідно створити технологічні умови [1], за яких шахтна водовідливна установка працюватиме в зоні максимального ККД, а трубопровідна мережа виконана так, щоб відкачування води виконувалося з мінімальною питомою витратою електроенергії.

Режим відкачування води ГВУ визначають шахтним припливом, об'ємом водозбірників, параметрами насосів, що використовують, та, безпосередньо, керуванням цим режимом.

Мета роботи. Підвищення енергоефективності роботи водовідливної установки шахти в режимі споживача-регулятора.

Виклад основного матеріалу. В основу розробленого підходу до підвищення енергоефективності головного водовідливу, в якому забезпечується можливість

керування режимами електроспоживання незалежно від зміни технічного стану та умов експлуатації обладнання, вибір одночасно працюючих насосів на відповідний період доби при застосуванні диференційованого тарифу з використанням робочих параметрів насосів і відповідної схеми трубопровідної мережі, та можливість корегування цих параметрів, моделювання режиму роботи водовідливу з мінімальною питомою витратою електроенергії та мінімальною величиною оплати за споживану електроенергію й, за рахунок цього, отримати найбільш енергоекономічний режим функціонування головної водовідливної установки при зменшенні плати за споживану електричну енергію.

Відповідно до вимог Національної комісії регулювання електроенергетики, сумарна тривалість двох періодів максимальних (пікових) навантажень в енергосистемі не повинна перевищувати 6 годин на добовому інтервалі, а розподіл по годинах для ранкового та вечірнього максимумів, залежно від пори року, становить, відповідно, 3:3 або 2:4. З урахуванням цього встановлюють найбільшу тривалість одного періоду максимуму навантаження в енергосистемі $t_m = 4$ год. Тобто, можливість відключення насосних агрегатів у період максимальних навантажень дозволить зменшити величину оплати тільки за рахунок обраного режиму роботи насосів головної водовідливу на добовому інтервалі часу.

Керування режимами роботи ГВУ вугільної шахти з урахуванням дійсних параметрів її обладнання забезпечує можливість отримання найбільш енергоекономічного режиму функціонування водовідливу.

Розроблений підхід до режимів роботи головної водовідливної установки шахти, заснований на імітаційному моделюванні, реалізується наступним чином. Здаються вихідні дані та початкові умови. Визначають: нормальний приплив води; кількість і ємкість кожної гілки водозбірника; горизонт водовідливу (повна висота підйому води); кількість робочих, резервних напірних трубопровідних ставів, їх діаметр, а також коефіцієнт фактичного діаметра трубопроводу; діаметр всмоктуючих трубопроводів; кількість робочих, резервних насосів водовідливу, коефіцієнт корисної дії їх двигунів і коефіцієнт фактичного ККД насосів. Також ураховується ККД електричної мережі, що приймається рівним 0,97.

Вибираються періоди максимальних, мінімальних і середніх електричних навантажень в енергосистемі: початок і кінець ранкового періоду пікових навантажень відносно добового інтервалу часу; початок і кінець вечірнього періоду пікових навантажень відносно добового інтервалу; початок і кінець ранкового періоду напірних навантажень відносно добового інтервалу; початок і кінець денного періоду напірних навантажень відносно добового інтервалу; початок і кінець вечірнього періоду напірних навантажень відносно добового інтервалу; тарифні коефіцієнти для кожного періоду добових навантажень і тариф на електроенергію.

Відповідно до вимог Національної комісії з регулювання електроенергетики, при використанні диферен-

ційованого за періодами доби тарифу на електроенергію в періоди мінімальних (нічний провал), середніх (напірних) і максимальних (пік) навантажень плата за спожиту електроенергію здійснюється з тарифним коефіцієнтом – 0,35; 1,02; 1,68 відповідно. Тобто, для зниження плати за спожиту електроенергію необхідно максимально використовувати роботу насосів у період мінімальних навантажень і виключити їх застосування в періоди максимальних навантажень в енергосистемі.

Визначаються режими роботи ГВУ в періоди мінімальних і середніх електричних навантажень в енергосистемі. Виконується формування та відтворення режимів роботи ГВУ з урахуванням технологічних умов для конкретного об'єкта, а також з урахуванням насосів та трубопроводів, що працюють, кількість яких може змінюватися в кожному поточному режимі.

Наведений спосіб дозволяє встановлювати будь-який інтервал зміни режиму роботи насосів ГВУ протягом доби. Це дозволить з отриманої множини обрати режим роботи, за якого в період проходження максимальних навантажень в енергосистемі насоси будуть відключені, а добові грошові витрати на оплату споживаної електроенергії будуть мінімальними. Крім того, спосіб дозволяє обмежити загальну кількість вмикань насосів протягом доби, що дозволить подовжити термін експлуатації самих насосів та їх приводних двигунів.

Для кожного поточного режиму, згідно з методикою розрахунку режимів паралельної роботи насосів водовідливу шахт, визначається еквівалентний опір трубопровідної мережі з можливістю врахування заростання трубопроводу внаслідок мінеральних відкладень, $\text{год}^2/\text{м}^5$

$$R_{\text{ек}} = \frac{8\xi}{3600^2 \pi^2 g K_d D_{\text{мп}}^2},$$

де g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору зовнішньої мережі установки; K_d – коефіцієнт фактичного діаметра трубопроводу; $D_{\text{мп}}$ – діаметр напірного трубопроводу, мм.

Введений коефіцієнт фактичного діаметра трубопроводу K_d , що характеризує його дійсний внутрішній діаметр, який змінюється у процесі експлуатації трубопровідної мережі, дозволяє визначити вплив об'єму мінеральних відкладень на стінках трубопроводу на величину питомої витрати електроенергії:

- при $K_d = 1$ – об'єм мінеральних відкладень приймається рівним нулю;

- при $K_d < 1$ (тобто $K_d = 0,99..i$) – фактичний (дійсний) діаметр трубопроводу $D_{\text{ф.мп}}$ з урахуванням будь-якого об'єму мінеральних відкладень, може задаватись індивідуально для будь-яких умов (0–99%)

$$D_{\text{ф.мп}} = K_d D_{\text{мп}}.$$

Зміна (зменшення) діаметра трубопроводів ($K_d < 1$) призводить до збільшення опору трубопровідної мережі й, як наслідок, відбувається зміщення робочої точки та зміна робочих параметрів насосів.

Подібні зміни відображаються на техніко-економічних показниках роботи ГВУ, що доведено експери-

ментально отриманими результатами, тобто при збільшенні об'єму мінеральних відкладень на стінках трубопроводу також збільшується питома витрата електроенергії (рис. 1).

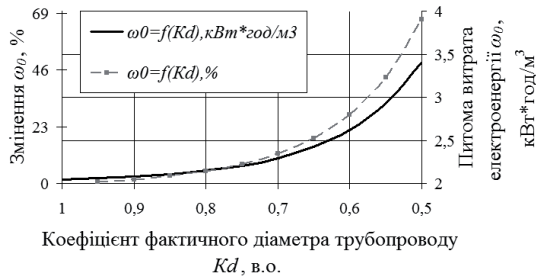


Рис. 1. Залежність питомої витрати електроенергії від зменшення внутрішнього діаметра трубопроводу

Згідно з Правилами безпеки у вугільних шахтах, необхідна мінімальна кількість напірних трубопроводів дорівнює двом, а на шахтах з великим припливом води та багатоагрегатним водовідливом кількість трубопроводів збільшується. У більшості випадків найбільш енергоекономічний режим роботи насосного агрегату відповідає його роботі на один трубопровід, два насоси працюють на два трубопроводи й т. д. Однак на багатоагрегатних ГВУ подібні умови не реалізуються, оскільки, наприклад, при наявності п'яти робочих та п'яти резервних насосів встановлюються три або чотири трубопроводи. Це призводить до зниження продуктивності насосів при їх паралельній роботі на один трубопровід і, відповідно, до збільшення питомої витрати електроенергії.

Виходячи з отриманих експериментальних даних, встановлено (рис. 1), що при зменшенні внутрішнього діаметру трубопроводів унаслідок їх заростання наведені показники погіршуються та навіть досягають критичних значень, тобто пропускання здатність трубопроводів не дозволяє повністю використовувати можливість насосів для відкачування води. Це призводить до необхідності вмикання максимальної кількості насосів і, як наслідок, збільшення питомої витрати електроенергії. Вирішити цю проблему можливо шляхом контролю стану, своєчасного чищення трубопроводів від мінеральних відкладень або встановленням додаткових трубопроводних ставів, якщо це дозволяють технологічні умови.

Далі, для поточного режиму, визначаються робочі параметри насосних установок (продуктивність Q_p , напор H_p , ККД η_n , коефіцієнт використання $K_{e,n}$), тобто при певній комбінації спільної роботи насосів і трубопроводних ставів [2]

$$Q_p(N_n, N_m) = \frac{Z_k A + \sqrt{Z_k A^2 + 4 \left(R_{ex} \frac{N_n^2}{N_m^2} + Z_k B \right) (Z_k H_{0k} - H_w)}}{2 \left(R_{ex} \frac{N_n^2}{N_m^2} + Z_k B \right)} ;$$

$$H_p(N_n, N_m) = Z_k \left(H_{0k} + A Q_p(N_n, N_m) - B (Q_p(N_n, N_m))^2 \right) ;$$

$$\eta_n(N_n, N_m) = a Q_p(N_n, N_m) - b (Q_p(N_n, N_m))^2 + c (Q_p(N_n, N_m))^3 ;$$

$$K_{e,n}(N_n, N_m) = \frac{Q_p(N_n, N_m)}{Q_{ном}} ,$$

де N_n та N_m – кількості працюючих насосів та трубопроводів; Z_k – кількість секцій (коліс) насоса; A, B – постійні коефіцієнти рівняння напірної характеристики насосного агрегату; H_{0k} – напір насоса при нульовій подачі на одне колесо, м; H_w – горизонтт водовідливу (повна висота підйому води), м; a, b, c – постійні коефіцієнти рівняння кривої ККД насоса.

Основним показником якісної роботи насосної установки є його ККД, що залежить від рівня технічного стану обладнання, від величини якого залежать значення робочих параметрів насоса [3]. У процесі тривалої експлуатації насоса відбувається погіршення його технічного стану, а, відповідно, й зниження його ККД, тобто треба виконувати перерахунок робочих параметрів насосів з урахуванням їх технічного стану.

$$\eta_n(N_n, N_m) = (a Q_p(N_n, N_m) - b (Q_p(N_n, N_m))^2 + c (Q_p(N_n, N_m))^3) K_\eta ;$$

$$\eta_{n,\phi} = K_\eta \eta_n(N_n, N_m) , \tag{1}$$

де K_η – коефіцієнт фактичного ККД насосів; $\eta_{n,\phi}$ – фактичний ККД насосів.

Введена величина K_η , що визначає зниження ККД насоса відносно робочого значення, дозволяє визначити вплив погіршення технічного стану насосів на величину питомої витрати електроенергії:

- при $K_\eta = 1$ – ступінь погіршення технічного стану насосів приймається рівною нулю, тобто їх ККД відповідає робочим значенням;

- при $K_\eta < 1$ (тобто $K_\eta = 0,99..i$) – фактичний (дійсний) ККД насосів (1), з урахуванням будь-якого ступеня погіршення його технічного стану, може задаватися індивідуально для будь-яких умов (0–99%).

При цьому підході уточнюється фактичне для яких-небудь конкретних умов значення ККД насосів, але для коректного визначення величини питомої витрати електроенергії необхідно вирішити обернену задачу, тобто перерахувати робочі параметри насосів, котрі мають знижений (корегований) ККД.

Представимо (1) у вигляді кубічного рівняння, що вирішується методом Вієта-Кардано

$$d = ax - bx^2 + cx^3 ;$$

$$cx^3 - bx^2 + ax - d = 0 ,$$

де $x = Q_p(N_n, N_m)$ – корні кубічного рівняння; $d = \eta_{n,\phi}(N_n, N_m)$ – фактичний ККД насосів.

Рішення кубічного рівняння дозволяє відкоригувати робочі параметри насосних установок при погіршенні їх технічного стану та, відповідно, більш точно розрахувати питому витрату електроенергії, значення якої залежить також від даних умов (рис. 2).

Робота ГВУ в режимі інтенсивного відкачування води також впливає на зниження ККД насосних установок, оскільки при паралельній роботі насосів продуктивність кожного погіршується.

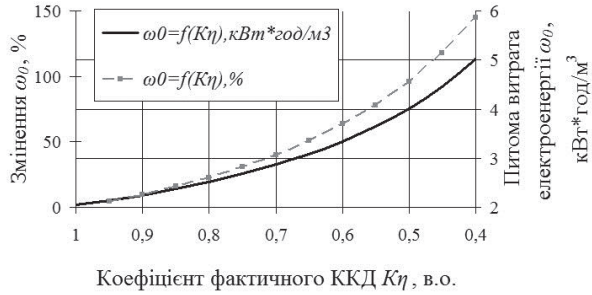


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії від ступеня погіршення технічного стану насосних установок

Далі задається цикл за часом для розрахунку можливих перемикань насосів. Визначається кількість насосів, що працюють за цикл відповідно до зазначених періодів доби, тобто в періоди пікових (максимальних), напівпікових (середніх) та нічних (мінімальних) навантажень.

Виконується формування та відтворення режимів роботи ГВУ з урахуванням технологічних умов для конкретного об'єкта, а також з урахуванням насосів та трубопроводів, що працюють, кількість яких змінюється.

На рис. 3 наведена схема можливих режимів роботи ГВУ, що наглядно демонструє принципи моделювання у вигляді безліччя режимів роботи головного водовідливу при однакових вихідних даних і умовах, де пропонуються три варіанти роботи насосів: 0 – не працює жоден насос; 1 – працює один; 2 – працюють два насоси, а також можлива зміна режиму роботи насосних агрегатів кожну годину. При цьому моделювання режимів роботи насосних агрегатів виконується в певних межах параметрів водозбірника та із заданими вимогами щодо відключення насосів у періоди максимального навантаження енергосистеми (у пікову зону П) [1].

Жирними ламаними лініями виділений один з можливих режимів функціонування водовідливної установки на добовому інтервалі. За якого в нічний період Н з 00⁰⁰ до 06⁰⁰ год і з 23⁰⁰ до 24⁰⁰ год – працюють два насоси; у період напівпікових навантажень НП з 06⁰⁰ до 08⁰⁰ год і з 10⁰⁰ до 13⁰⁰ год – працює один насос, а з 13⁰⁰ до 18⁰⁰ год і з 22⁰⁰ до 23⁰⁰ год – працюють два насоси; у період максимальних (пікових) навантажень П з 08⁰⁰ до 10⁰⁰ год і з 18⁰⁰ до 22⁰⁰ год – насоси не працюють.

На рис. 4 наведений приклад режиму роботи двох насосів головного водовідливу на добовому інтервалі: графік наповнення-спустошення водозбірника та відповідний йому графік споживаної насосами потужності, де 0, 1 і 2 – кількість одночасно працюючих насосів; Н, НП і П – відповідно, нічна, напівпікова та пікова зони доби.

Для кожного поточного режиму визначається величина питомої витрати електроенергії, загальна витрата електроенергії за добу, оплата за споживану електроенергію протягом доби, загальний об'єм води, що була відкачана протягом доби та ін.

Серед отриманої кількості циклічних графіків обирається режим роботи водовідливу, що відповідає двом

основним критеріям: мінімальна питома витрата електроенергії та мінімальна величина оплати за спожиту електроенергію. Також є можливість відтворення графіків роботи водовідливу, значення даних критеріїв, в яких відрізняються від мінімального значення на деякий відсоток (діапазон), величина якого задається на розсуд відповідального персоналу. Оскільки значення критерію мінімальної плати за спожиту електроенергію не завжди відповідає мінімальному значенню питомої витрати електроенергії, даний підхід розширює можливість вибору підходящого режиму для конкретних умов. Для обраного режиму визначається плата за спожиту електроенергію за добу; загальна витрата електроенергії за добу; питома витрата електроенергії за графіком і середньозважена витрата електроенергії за характеристиками насосів. Ця інформація прямує до відповідального персоналу, який реалізує обраний режим роботи вручну, або даний режим реалізується автоматично, при наявності відповідної системи керування.

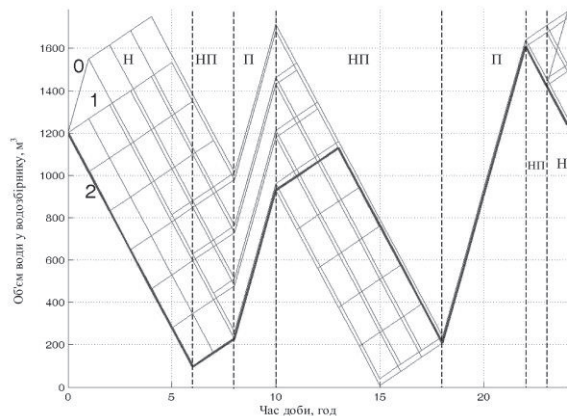


Рис. 3. Схема можливих режимів роботи ГВУ з двома насосами: 0, 1 і 2 – кількість одночасно працюючих насосів; Н, НП і П – відповідно, нічна, напівпікова та пікова зона доби

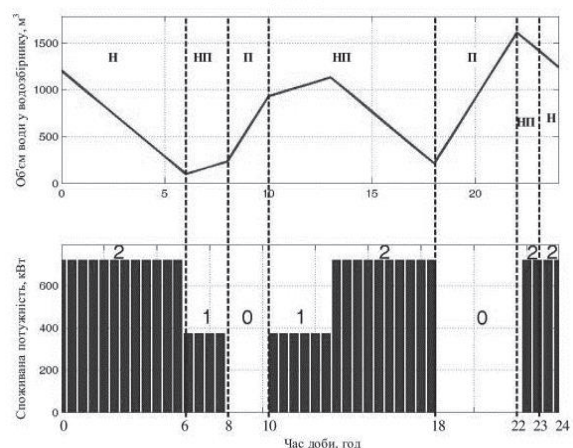


Рис. 4. Режим роботи двох насосів головного водовідливу: умовні позначення див. рис. 3

Крім того, при контролі за чисельним значенням питомої витрати електроенергії та порівнянні його з попереднім, виникає можливість зробити висновки щодо причин зміни цього параметру, наприклад:

- збільшення питомої витрати електроенергії на 1,69, 4,99 або 12,01% і т.д. (рис. 1, пунктирна лінія) може свідчити про заростання трубопроводів унаслідок мінеральних відкладень на 10, 20 або 30% відповідно, тобто фактичний внутрішній діаметр трубопроводу для відповідних значень коефіцієнту K_d складатиме $0,9D_{mp}$, $0,8D_{mp}$ або $0,7D_{mp}$ відповідно;

- несвоєчасне обслуговування насосних агрегатів також призводить до збільшення питомої витрати електроенергії на 9,44, 22,83 або 40,21% і т.д. (рис. 2, пунктирна лінія) при погіршенні технічного стану насосів на 10, 20 або 30% відповідно, тобто фактичний ККД насосів для відповідних значень коефіцієнту K_n складає $0,9\eta_n$, $0,8\eta_n$ або $0,7\eta_n$ відповідно.

Крім того, моніторинг зміни напору при цьому дозволить зробити коректні висновки щодо причин збільшення питомої витрати електроенергії. Тобто збільшення напору відносно попередніх значень свідчить про зміну характеристики трубопровідної мережі, що характерно при зміні внутрішнього діаметру трубопроводу. Незмінне значення або зниження напору свідчить про погіршення робочих параметрів насосного агрегату, тобто зниження його ККД.

Висновки та рішення щодо подальших дій приймає обслуговуючий технічний персонал.

Висновки. Запропонований підхід до режимів роботи ГВУ дозволяє вибирати найбільш енергоекономічний режим роботи водовідливу на заданому інтервалі часу за критерієм мінімальної питомої витрати електроенергії та за умови мінімальної плати за споживану протягом доби електричну енергію. Це дозволить зменшити на 20–25% грошові затрати на оплату споживаної ГВУ електроенергії, відповідно, знизити її витрату, а також контролювати й своєчасно виявляти погіршення технічного стану основного обладнання водовідливної установки.

Список літератури / References

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

Razumnyi, Yu.T., Rukhlova, N.Yu. and Rukhlov, A.V. (2013), "Improvement of energy efficiency of the main dewatering plant of a coal mine", Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, no. 5, pp. 67–72.

2. Патент на корисну модель № 86645 Україна, 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“ – № u201307312; заявл. 10.06.13.; опубл. 10.01.14., Бюл. № 1.

Razumnyi, Yu.T., Rukhlova, N.Yu. and Rukhlov, A.V. Patent na korysnu model No. 86645 Ukraine, MPK F 15 B 1/00, MPK F 04 D 27/00. "The control method of main dewatering plant of a coal mine", patent holder: State Higher Educational Institution "National Mining University", No. u 2013 07312; applied on June 10, 2013; published on January 10, 2014, Bulletin no.1.

3. Сотник Н.И. Энергоэффективность электродвигателя как критерий выбора диапазона работы электромеханических агрегатов / Н.И. Сотник, В.С. Бойко // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 6. – С.144–161.

Sotnik, N.I. and Boiko, V.S. (2013), "Energy efficiency of the electric motor as a criterion for electromechanical aggregates working range selection", Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, no. 6, pp. 144–161.

Цель. Повышение энергоэффективности работы водоотливной установки шахты в режиме потребителя-регулятора.

Методика. Для получения научных и практических результатов использованы методы имитационного моделирования, исследования операций и анализа технологических процессов.

Результаты. Обоснована актуальность использования шахтного водоотлива в режиме эффективного потребителя-регулятора. Усовершенствована зависимость определения эквивалентного сопротивления трубопроводной сети для учета уменьшения ее внутреннего диаметра в результате обрастания минеральными отложениями. Уточнена зависимость коэффициента полезного действия насоса от его рабочих параметров для корректирования их значений при ухудшении технического состояния насосного агрегата. Получены зависимости увеличения удельного расхода электроэнергии на водоотлив от изменения технического состояния трубопроводной сети и насосных агрегатов. Установлено, что учет рабочих параметров оборудования главной водоотливной установки угольной шахты при регулировании режимов электропотребления обеспечивает наиболее энергоэкономичный режим функционирования водоотлива.

Научная новизна. Изменение удельного расхода электроэнергии на водоотлив определяется по модельным зависимостям и сравнивается с фактическими значениями, что позволяет выбирать энергоэффективный режим работы насосов и трубопроводной сети.

Практическая значимость. Установлено, что выбор режима работы водоотлива по критерию минимального удельного расхода электроэнергии и при условии минимальной платы за потребляемую на протяжении суток электрическую энергию по разработанному способу позволяет уменьшить на 20–25% денежные затраты на оплату потребляемой шахтным водоотливом электроэнергией и, соответственно, снизить ее расход, а также контролировать и своевременно выявлять ухудшение технического состояния основного оборудования главной водоотливной установки.

Ключевые слова: *главная водоотливная установка, потребитель-регулятор, регулирование режимов электропотребления, энергоэффективность, угольная шахта, удельный расход электроэнергии, трубопровод*

Purpose. To improve the energy efficiency of a mine dewatering plant operating in the mode of controlled load consumer.

Methodology. The methods of simulation and operations research, and analysis of technological processes were used.

Findings. The research proved the expediency of the effective controlled load consumer operation mode for mine dewatering plants. The formula for determination of equivalent resistance of piping system considering the reduction of inside diameter caused by the mineral sediments was improved. The dependence of the efficiency of pump on its operating parameters was specified with the purpose of its adjustment in case of the pumping unit technical state deterioration. The dependence of the increase of specific energy consumption for pumping on the change of technical state of piping system and pumping unit was obtained. The research proved that the most energy saving mode of pumping in a coal mine can be achieved by taking into consideration the operating parameters of equipment of the main dewatering plant during the energy modes adjustment.

Originality. The change of specific energy consumption for pumping is determined through the model dependences

E. Nolle¹, Prof. Dr.-Ing., Dr. h. c. (NBU),
M.V. Kuvaev²

and is compared with the actual values. This allows selecting the energy efficient operating mode for pumps and piping system.

Practical value. It was proved that the developed method of selection of the pumping modes by minimum specific energy consumption, provided that the payment for the consumed energy is done according to minimum time-of-day electricity tariff, allows reducing power consumption and cutting expenses on the power consumed by pumping by 20–25%. It also allows us to control and detect timely the main dewatering plant equipment technical state deterioration.

Keywords: *main dewatering plant, controlled load consumer, regulation of power consumption modes, energy efficiency, coal mine, specific energy consumption, piping*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
В.Т. Заїкою. Дата надходження рукопису 18.03.14.*

1 – Hochschule Esslingen (University of Applied Sciences), Goeppingen, Germany, e-mail: Eugen.Nolle@hs-esslingen.de
2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: kuvaevnv@ukr.net

LINEAR 3-PHASE TRANSVERSE FLUX MACHINE WITH FLUX CONCENTRATION

О. Нолле¹, д-р інженер, проф.,
М.В. Куваєв²

1 – Есслінгенський університет прикладних наук, м. Гьоплінген, ФРН, e-mail: Eugen.Nolle@hs-esslingen.de
2 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: kuvaevnv@ukr.net

ЛІНІЙНА 3-ФАЗНА МАШИНА З ПОПЕРЕЧНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ ТА З КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ПОТОКУ

Purpose. To justify the research method for the transverse flux machines (TFM) through the application of the special 3D FEM simulation. To present a new concept of the linear transverse flux machine (LTFM) with flux concentration, which has high force and power density and allows mass production with commercially attractive components.

Methodology. Due to the complicated 3-dimensional field distribution in the LTFM, the calculation of this LTFM was carried out by the 3D FEM simulation of the electromagnetic process inside the machine. The 3D FEM simulation values were compared with the measured values.

Findings. A new concept of the linear transverse flux machine with flux concentration is presented. The electromechanical parameters of the linear transverse flux machine have been obtained. It has been confirmed that the 3D FEM simulation measures and the measured values of the linear transverse flux machine are in good agreement.

Originality. The present research method of the linear transverse flux machine through the 3D FEM simulation gives an opportunity to perform highly accurate and qualitative characterization of the electromechanical parameters of the linear transverse flux machines, as well as to analyze internal electromagnetic fields without the experimental research of the real electromagnetic processes inside the linear transverse flux machine.

Practical value. The developed linear transverse flux machine with flux concentration has high force and power density, and its structure allows mass production of electric machines of this type with commercially available components. The presented research method for linear transverse flux machines can be used for the design and optimization of a linear transverse flux machine. This research method reduces costs and time for the development of a linear transverse flux machine.

Keywords: *transverse flux machine, LTFM, flux concentration, 3D FEM simulation*

Statement of the problem. Since the 1980s, transverse flux machines (TFM) have been investigated due to their high force and power density conditioned by the special

structure and functionality. In fact, these values can be tested on suitable laboratory samples which are difficult to construct because of the 3-dimensional field guide. In particular, the lack of a batch production concept for the TFM has led to the fact that this machine has found little practical application so far.