УДК 622.516.001.5 (622.539:621.649)

В.М. Яковлєв, канд. техн. наук, доц.,
В.Б. Малєєв, д-р техн. наук, проф.,
А.С. Холоша, асист.,
Донецький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОЕЛЕВАТОРНОЇ УСТАНОВКИ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ МІНІМАЛЬНІ ВИТРАТИ НА ВОДОВІДЛИВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПОХИЛИХ ВИРОБОК

Наведені результати порівняльного аналізу витрат на водовідлив гідроелеваторними установками, обладнаними перекачними відцентровими насосами й насосами об'ємного принципу дії. Запропонована методика визначення параметрів установки з перекачними об'ємними насосами, що забезпечують мінімальні затрати на водовідлив.

гідроелеватор, об'ємний насос, коефіцієнт корисної дії

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Декілька гідроелеваторних прохідницьких водовідливних установок, виконаних по схемі, розробленій в ДонНТУ, успішно експлуатувалися на шахтах Донбасу. У технічному відношенні установки повністю себе виправдали, забезпечуючи повне і постійне відкачування води із забою. Проте, установки дуже енергоємні, оскільки маючи достатньо низьке значення ККД (≈0,2), гідроелеватор споживав гідравлічну енергію, що виробляється відцентровим насосом, ККД якого ≈0,6. Збільшення витрат електроенергії ні відкачування води, особливо у початковий період проведення виробок, зумовлений також тим, що незалежно від положення напір перекачного насосу залишається практично незмінним.

Крім того, насосний агрегат разом з місткостями необхідно періодично переміщати у міру просування забою, що вимагає значних трудових витрат. Таким чином сумарні прямі витрати на відкачування води складаються з витрат на електроенергію і витрат на перенесення агрегату і місткостей. Очевидно, що кожний з видів витрат залежить від припливу води та параметрів виробки, що проводиться, перекачного насоса і гідроелеватора і існує таке їх поєднання, при якому прямі витрати на водовідлив мінімальні.

Аналіз досліджень та публікацій. В літературі немає жодних даних о дослідженнях ефективності роботи гідроелеваторних установок в умовах прохідницького водовідливу.

Постановка задачі. Основні задачі роботи – провести порівняльний аналіз витрат на відкачку води гідроелеваторними установким, обладнаними відцентровими та об'ємними насосами та розробити методику визначення параметрів установки, які забезпечують мінімальні витрати на потреби водовідливу.

Викладення матеріалу та результати. Гідравлічна схема пересувної водовідливної установки наведена на рис. 1. До її складу входять: перекачний відцентровий насос 6, гідроелеватор 3, трубопровід 4 для підведення робочої води до насадка, напірний трубопровід гідроелеватора 5, відстійник безперервної дії 12, перекачна місткість 13 і напірний трубопровід установки 11.

На гнучкому трубопроводі, що підводить, 1 гідроелеватора, перед його приймальною камерою, встановлюється зворотний клапан 2, запобігаючий надходженню води в забій з трубопроводів 4 і 5 після зупинки насоса. На напірному трубопроводі установки вмонтовуються: дросель 7, засувка 10, зворотний клапан 8 і зливний трубопровід 9 із засувкою.

Робота установки здійснюється таким чином. Частина подачі відцентрового насоса використовується як робоча вода для гідроелеватора, що відкачує воду із забою. Сумарна витрата робочої і відкачуваної води по напірному трубопроводу гідроелеватора поступає в відстійник, освітлюється в ньому і переливається в ємність. У місткості змонтований приймальний пристрій відцентрового насоса, друга частина подачі якого, рівна подачі гідроелеватора, по трубопроводу 11 відкачується на вище розміщений горизонт. За допомогою дроселя

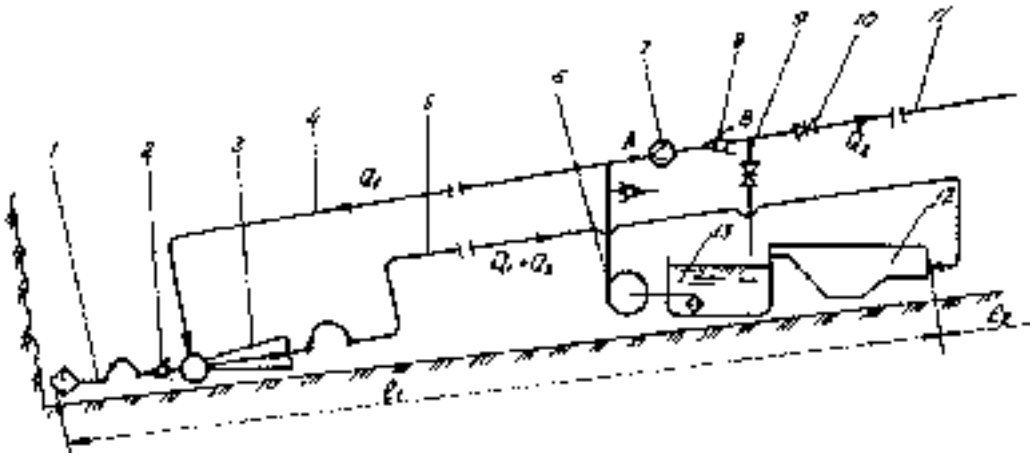

Рисунок 1 - Гідравлічна схема пересувної гідроелеваторної водовідливної установки

і засувки настроюється робочий режим насоса. Настройка виробляється при працюючій установці по рівню води в перекачной місткості, яка виконує функції регулювальною. Зливний трубопровід служить для регулювання подачі установки при відкачуванні забою «досуха». При цьому унаслідок можливих підсосів повітря знижується подача гідроелеватора і знижується рівень води в регулювальній місткості. Відкриття засувки на зливному трубопроводі знижує подачу установки на вище розміщений горизонт.

Переміщення і взаємне розташування гідроелеватора і відцентрового насоса визначається умовами проведення виробки. Якщо у виробленні є вільний рейковий шлях, насосний агрегат і місткість доцільно розміщувати на ньому і переміщати у міру його укладання. При цьому, відстань між гідроелеватором і насосом змінюється в нешироких межах і може підтримуватися мінімальним, що підвищує ефективність установки. На практиці такий варіант розміщення устаткування може бути здійснений в окремих випадках, наприклад, при проведенні двох путнього вироблення. При розміщенні насосного агрегату і місткості на ґрунті виробки зростає трудомісткість їх монтажу і демонтажу і переміщення. В цьому випадку доцільно, щоб крок їх перенесення був можливо великим.

Спочатку гідроелеватор розташовується на відстані 5…7 метрів від забою. При вибуху забою його необхідно захистити від можливих механічних пошкоджень. У міру просування забою нарощується трубопровід, що підводить, а потім ближче до забою переміщається і гідроелеватор. При його перенесенні вода з трубопроводів 4 і 5, розташованих нижче за насос, зливається в забій. Щоб запобігти зливу води з місткості через насос по трубопроводу 4, на напірному трубопроводі насоса, перед його розгалуженням, необхідно встановлювати клапан або кран для зриву вакууму. Для подальшого пуску установки в перекачной місткості необхідно мати достатній для цього об'єм води. При необхідності, він може бути поповнений з напірного трубопроводу через зливний або з протипожежного трубопроводу. Перекачна місткість виконує, таким чином, функції акумулюючої, і є регулювально-акумулюючою.

Коефіцієнт корисної дії установки визначається наступним чином:

$$\eta_y = \frac{N_n}{N_з} = \frac{H_г}{H_н} \cdot \frac{\beta}{1+\beta} \eta_н \eta_{дв} \eta_е \qquad (1)$$

де N_n, $N_з$ – відповідно корисна та витрачена на водовідлив потужність;

$H_г$ – геометрична висота відкачки води;

$H_н$ –напір насосу;

β - коефіцієнт подачі гідроелеватора

$\eta_н, \eta_{дв}, \eta_е$ - відповідно ККД перекачного насоса, електродвигуна та електромережі.

При інших рівних умовах ККД установки збільшується за рахунок переміщення насосного агрегату разом з пересуванням вибою (збільшується $H_г$).

Мінімально необхідний напір перекачного насоса повинен бути

$$H'_н = L(sin\,\alpha + i) \qquad (2)$$

де L – довжина виробки;

α – кут нахилу виробки;

i – гідравлічний ухил напірного трубопроводу установки.

Значний вплив на ККД має значення коефіцієнту подачі гідроелеватора. Використання гідроелеватора з великими значеннями ($\beta = 3...4$) суттєво підвищує ККД установки. Однак, і зростанням значення коефіцієнту подачі знижується коефіцієнт напору гідроелеватора та відповідно висота, на яку він забезпечує відкачку води. Це потребує більш частого пересування насосного агрегату та ємкості, відповідно додаткових витрат. Тому, оцінку ефективності використання водовідливної установки слід проводити не за її ККД, а за вартістю електроенергії, яка витрачається на відкачку води, та вартістю пересування обладнання. Амортизаційні та нормативні відрахування, а також вартість обслуговування обладнання вважаємо приблизно однаковими для установок обладнаних як відцентровими насосами, так і об'ємного принципу дії.

Вартість електроенергії, яка витрачається на відкачку води за терміни проведення виробки установкою з перекачним відцентровим насосом

$$E_{эл} = \frac{\rho g Q_{пр}\left(1+\frac{1}{\beta}\right) H_H T_{пр}\, 24 e_{эл}\, 30}{1000 * 3600 \eta_н \eta_{дв} \eta_c} = A\left(1+\frac{1}{\beta}\right), \text{ грн.} \qquad (3)$$

де A - постійна для даних умов величина;

$T_{пр}$ - час проведення виробки, міс;

$e_{ел}$- вартість кВт год витраченої електроенергії, грн.;

$Q_{пр}\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$- подача насоса, необхідна для відкачки припливу

$Q_{пр}$ - приплив води у вибій

Вартість пересування обладнання за час проведення виробки визначаємо за рівнянням:

$$E_{эл}=\frac{e_{пер}Z}{\frac{KH_H}{(sin\alpha+i')-K(sin\alpha-i_1)}-l'} \quad (4)$$

де $e_{пер}$ - вартість одного перенесення устаткування;

i' - гідравлічний ухил напірного трубопроводу гідроелеватора;

i_1 - гідравлічний ухил трубопроводу для підведення робочої води до насадку;

l' - мінімальна відстань, що допускається, від забою до насосного агрегату.

У рівняння (3) і (4) входять безрозмірні параметри гідроелеватора – коефіцієнт подачі і коефіцієнт тиску. Ці параметри не мають між собою однозначного функціонального зв'язку. Встановити цей зв'язок можна виходячи з коефіцієнта корисної дії гідроелеватора:

$$\eta=\frac{Q_2H_2}{Q_1H_1}=\beta k, \quad (2.10)$$

Враховуючи, що фактична подача гідроелеватора може буде нижче розрахункової при кавітаційних режимах роботи, а також експериментально отриманих значеннях ККД ($k\approx0{,}32$), приймаємо для розрахунку значення η =0,2.

Розрахунки за рівняннями (3) та (4) проведено для реальних параметрів виробки:

- приплив води – $Q_{пр}$ =10 м^3/год;
- довжина виробки – L = 360 м;
- кут нахилу виробки α = 12°;
- термін проведення виробки – T = 12 місяців

Результати розрахунків наведено на рисунку 2. Найважливіший результат – розрахунок допоміг встановити значення коефіцієнти напору та подачі, при яких витрати на водовідлив мінімальні (k = 0,125, β = 1,6) Крім того за результатами розрахунків встановлено, що питома вага вартості електроенергії складає близько 75 % від сумарних витрат.

Заміна відцентрового насосу на насос об'ємного принципу дії дозволить знизити витрати електроенергії за рахунок використання властивості його напірної характеристики (напір змінюється у великих межах при практично незмінній подачі). Для умов, що розглядаються, приймаємо два паралельно працюючих насосів 1В20/10. Для ефективної експлуатації цих насосів необхідно керувати їх роботою так, щоб напір був мінімально можливим.

Розглянемо принципи керування роботою насосів для довільного випадку розташування їх у виробці. На рисунку 3 наведено напірну характеристику 1 двох паралельно працюючих насосів 1В20/10.

Для розрахунку та побудови характеристик прийнято, що насоси розташовуються на відстані 250 метрів від початку виробки, а гідроелеватор нижче насосів на 50 метрів. Знаючи розміри насадку гідроелеватора, будуємо його витратну характеристику 2 та приводимо напірну характеристику насосів 1 в точку А – крива 3 на рис.3. Будуємо характеристику напірного трубопроводу 4. Точка К перетину напірної характеристики трубопроводу та приведеної характеристики насосів визначає робочий режим та подачу установки на горизонт (20 м^3/год).

Отримати подачу установки, яка дорівнює розрахунковій подачі гідроелеватора (15 м^3/год), можна дроселюючи трубопровід засувкою так, щоб її характеристика (на рисунку не наведено), перетиналась с

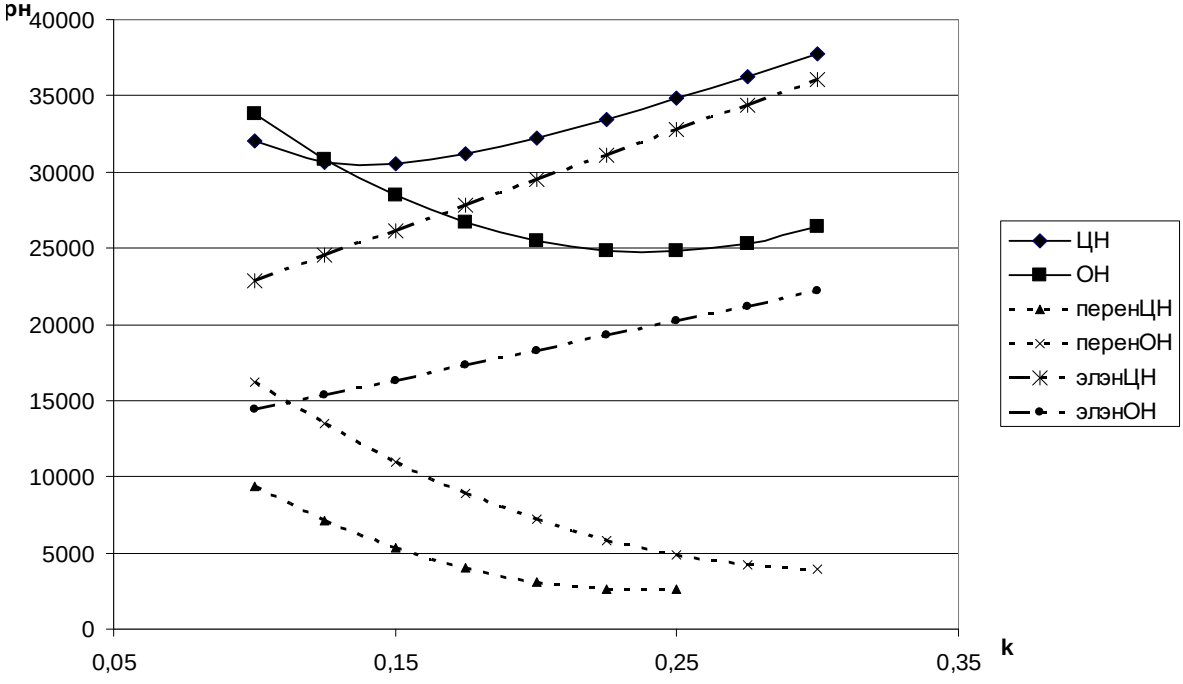

Рисунок 2 – Витрати на потреби водовідливу при застосуванні відцентрового та об'ємного насосів

приведеною характеристикою насосів у точці K_1. Насоси при цьому працюють з напором H = 80 м (точка M_1). Втрати напору на засувці становлять приблизно 25 метрів, а потужність насосу збільшуються.

Потрібну подачу можна отримати регулюючи робочий режим перепусканням так, щоб напірна характеристика трубопроводу перетнулась з штучною характеристикою насосів 3’ в точці *K*’. Робочий режим насосів визначається точкою *M*’. Труба зауважити, що при цьому засобі регулювання напір та потужність насосів знижуються.

З усього вищенаведеного витікає, що перевагу слід надавати способу регулювання перепуском. Але на практиці буде потрібно й дроселювання напірного трубопроводу установки для збільшення напору гідроелеватора, який буде необхідний для відкачки води у перекачну ємність.

Розглянемо варіант регулювання на конкретному прикладі. Насоси розташовані на відстані 150 метрів від початку виробки. Для цього положення будуємо характеристику напірного трубопроводу (крива 5 рисунок 3) Для отримання розрахункової подачі перепуском

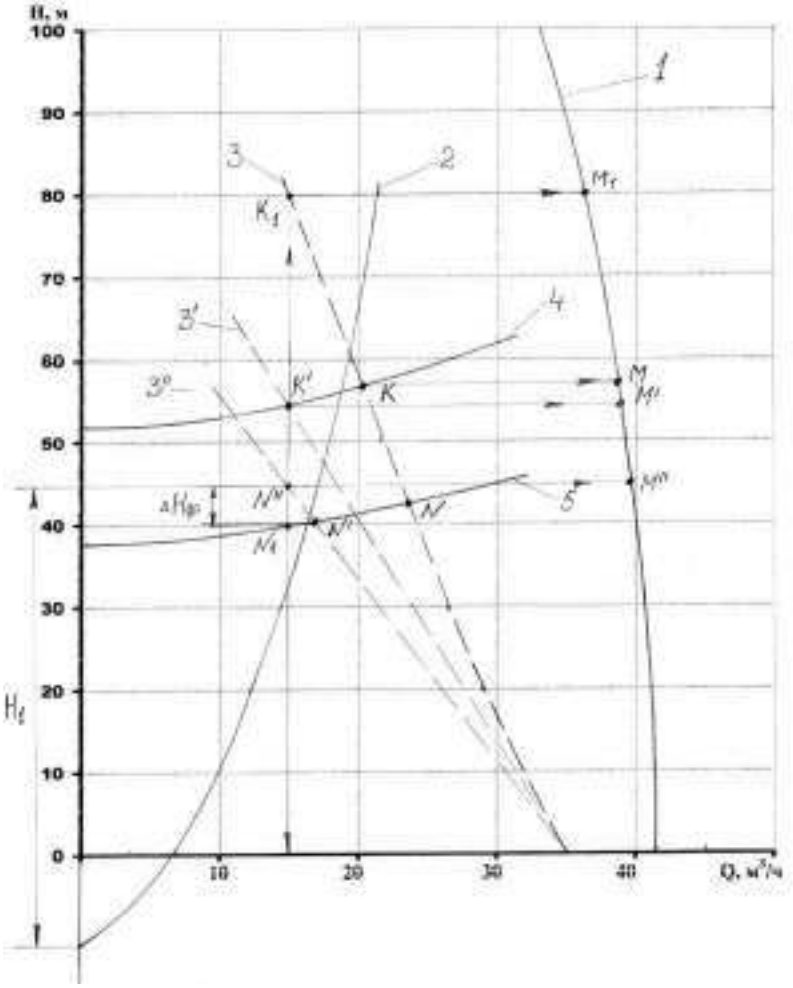

Рисунок 3 – Визначення робочих режимів насосів

потрібно, щоб штучна характеристика насосів проходила через точку N_1. При цьому напір насосів становить 40 метрів, що недостатньо для отримання потрібного напору перед насадком гідроелеватора H_1. Тому дроселюванням напірного трубопроводу збільшуємо його напір до 45 метрів (характеристика не показана) а перепуском отримуємо штучну характеристику 3'', яка проходить через точку *N*''. Робочий режим насосів визначається точкою *M*''.

При просування вибою збільшуємо опір напірного трубопроводу, а перепуск зменшуємо.

Розрахунки по визначенню вартості електроенергії проводимо за етапами переміщення обладнання разом з пересуванням вибою. Наприклад, для будь-якого положення насосів необхідний напір для відвідкачки води на горизонт становить 20 метрів. Для збільшення напору гідроелеватора збільшуємо напір насосів , наприклад, до 40 метрів. Для цього значення напору насосів та коефіцієнту напору гідроелеватора визначається максимальне віддалення вибою від насосів та шаг перенесення. Вартість електроенергії, яка витрачається за цей період, визначається за залежністю

$$E_{эл} = \frac{n\rho g Q_н 16 H_{ср} T_{ет} e_{эл}}{1000 * 3600 \eta_н \eta_{дв} \eta_с}, \text{ грн.} \qquad (6)$$

де $t_{ет}$ - час періоду, діб;

$H_{ср}$ – середнє значення напору насосів за проміжок часу, м.;

$Q_н$ - подача одного насоса;

$n = 2$ – кількість насосів.

Після перенесення обладнання, напір, який необхідний для відкачки води на горизонт, становить, наприклад 28 метрів. Знову збільшуємо напір насосів на 20 метрів, що збільшить шаг перенесення на цьому етапі проведення виробки. За залежністю (6) для нових значень $t_{ет}$ та $H_{ср}$ підраховуємо вартість електроенергії. Витрати на електроенергію за час проведення виробки визначаються складанням витрат на окремих етапах.

Результати розрахунків, проведених для декількох значень коефіцієнта напору гідроелеватора, наведено на рисунку 2. Оптимальний коефіцієнт напору складає у цьому випадку 0,24. Вартість електроенергії знижується приблизно на 20%, у порівнянні з вартістю відкачки перекачним відцентровим насосом.

Аналіз розглянутого варіанту показує, що регулювання режимів роботи двома способами дуже важко здійснити на практиці. Крім то-

го, напір паралельно працюючих насосів однаковий, в той час як напори, необхідні для відкачки води на горизонт та для роботи гідроелеватора різні. Тому, для економії електроенергії та спрощення керування слід застосовувати на перекачній установці два окремо працюючих насоса. Один з них подає робочу воду на гідроелеватор, а інший відкачує воду на горизонт. У цьому випадку насоси працюють з мінімально необхідними напорами, а регулювання їх подачі відбувається перепуском.

Розрахунки по визначенню вартості електроенергії поводимо поетапно, враховуючи змінення необхідних напорів насосів з пересуванням обладнання.

Початкове положення – насоси на початку виробки. Працює тільки один насос, що подає воду на гідроелеватор. При пересуванні вибою збільшується напір насосів до 30…40 метрів та визначаємо максимальне віддалення вибою від насоса при цьому напорі:

$$l_{1max} = \frac{KH_H}{(sin\alpha + i') - K(sin\alpha - i_1)} \qquad (7)$$

Знаючи темпи проведення вибою, визначаємо за формулою (6) вартість електроенергії, приймаючи n = 1. Після перенесення обладнання у роботу включається насос, що відкачує воду на горизонт. Напір цього насосу визначається відстанню перенесення, кутом нахилу виробки та втратами напору у трубопроводі.

Насос, який подає воду на гідроелеватор, працює так як й на першому етапі – його напір підвищується вслід за просуванням вибою. В першому положенні насоси працюють якусь певну кількість діб. Знаючи параметри робочих режимів насосів, підраховуємо вартість електроенергії за цей період.

Після наступного перенесення обладнання напір насоса, що відкачує воду на горизонт, збільшується, а насос, працюючий на гідроелеватор, працює у тому ж режимі. Зробивши розрахунок для декількох значень коефіцієнта напору гідроелеватора, визначаємо то його значення, при якому сумарна вартість електроенергії та перенесень мінімальна. Результати розрахунків приведено на рисунку 4. Значення коефіцієнту напору гідроелеватора при якому вартість відкачки води мінімальна, складає 0,24 та практично співпадає з оптимальним при паралельній роботі об’ємних насосів. При цьому вартість електроенергії знизилась приблизно на 20% у порівнянні з вартістю електроенергії при паралельній роботі насосів.

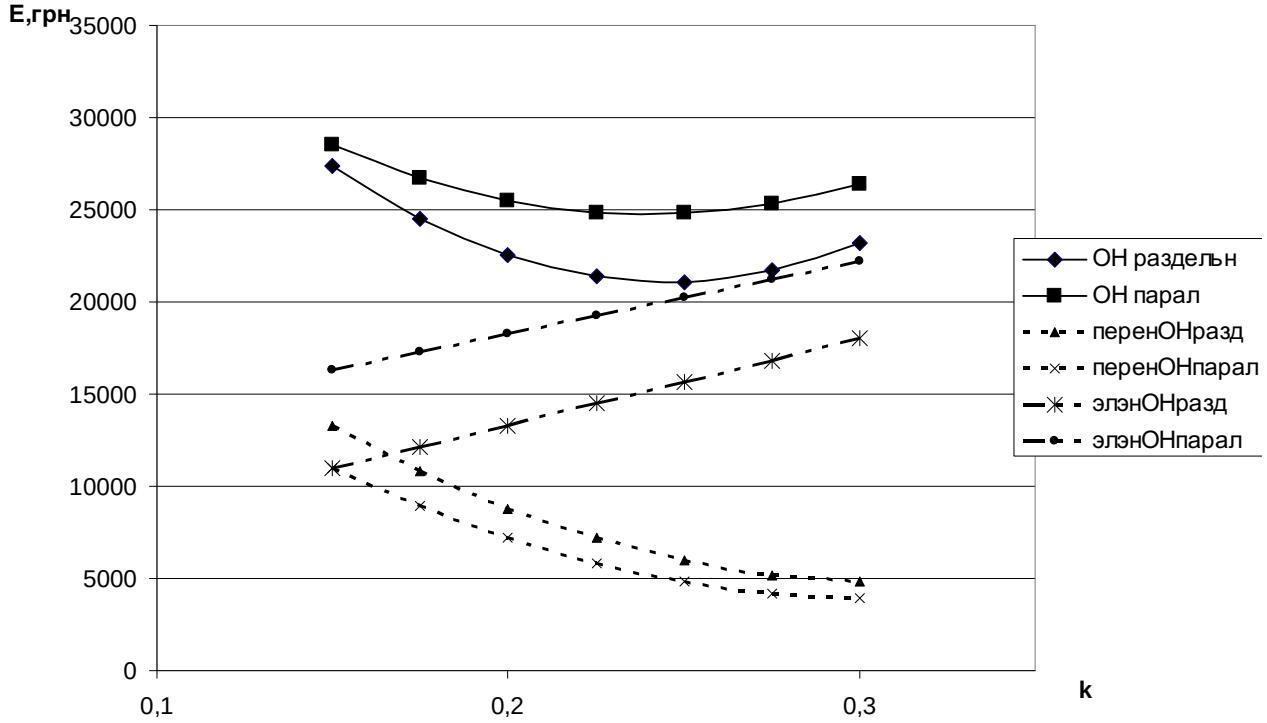

Рисунок 4 – Витрати на потреби водовідливу при застосуванні об'ємних насосів

Висновки та напрями подальших досліджень.

1. Розрахунки показали, що заміна перекачного відцентрового насоса окремо працюючими насосами об'ємного принципу дії дозволяє знизити витрати електроенергії на 40%.

2. Практично виключити перевитрату електроенергії з вибою можливо за рахунок застосування об'ємного насосу, що регулюється. Але, таких насосів, придатних для застосування в умовах шахтного водовідливу, промисловість не випускає. Розробка таких насосів – один з напрямків удосконалення водовідливу.

Список літератури

1. Малев В.Б. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтних водосборных ємкостей / В.Б. Малев, Е.І. Данилов, В.М. Яковлєв. – Донецк, ДПИ. – 1986. – 35 с.

В.М.Яковлев, В.Б.Малеев, А.С.Холоша. **Определение параметров гидроэлеваторной установки, обеспечивающих минимальные затраты на водоотлив при проведении наклонных выработок.** *Приведены результаты сравнительного анализа затрат на водоотлив гидроэлеваторными установками, оборудованными перекачными центробежными насосами и насосами объемного принципа действия. Предложена методика определения параметров установки с перекачными объемными насосами, обеспечивающих минимальные затраты на водоотлив.*

гидроэлеватор, объемный насос, коэффициент полезного действия

V.Yakovlev, V.Maleev, S.Maligin, A.Kholosha. **Defining the Parameters of a Hydraulic Elevator Unit to Ensure Minimum Expenses for Dewatering**. *The results of the comparative analysis of the expenses for dewatering using hydraulic elevator units equipped with centrifugal pumps are provided. The technique of defining the parameters of the unit with volume pumps is offered.*

jet pump, volume pump, efficiency

Стаття надійшла до редколегії 26.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. ЕМС А.П.Кононенко

© Яковлев В.М., Малеев В.Б., Холоша А.С., 2010