

УПРАВЛІННЯ РЕЖИМОМ РОБОТИ ВОДОВІДЛИВНОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ГІРНИЧОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ЗА КРИТЕРІЕМ ПЛАТИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ

В. П. Розен, С. С. Великий, Г. І. Сторожилова

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація. У статті наведено спосіб визначення режиму роботи водовідливної насосної установи гірничовидобувного підприємства відповідно до величини плати за електроенергію. Розроблено математичну модель роботи насосної установи на горизонті водовідливу шахти за критерієм плати за електроенергію. Наведено результати моделювання зміни подачі насосної установи та об'єму водозбірника, що впливає на величину плати за електроенергію.

Ключові слова: режим роботи водовідливу, приток води, витрати на електроенергію, період максимуму енергосистеми.

Вступ

Для економіки України розвиток гірничовидобувної галузі є пріоритетним напрямком, оскільки особливо важливого значення в сучасних умовах набуває питання ефективного використання електроенергії в енергоємних галузях промисловості. На сьогодні переважна більшість сировини видобувається підземним способом. Зі збільшенням глибини виробок зростає енергоємність гірничого підприємства. Тому ефективне використання електроенергії в гірничій промисловості стає все більш важливим завданням, яке необхідно вирішувати з точки зору раціонального її використання, з урахуванням обмежень зі сторони енергосистеми. У свою чергу, одним з найбільш актуальних питань вітчизняної енергетики, яке все більше загострюється, особливо протягом останніх років, є проблема дефіциту маневрених генеруючих потужностей в об'єднаній енергетичній системі. Саме ця проблема може стати у найближчому майбутньому головною перешкодою для успішного функціонування та подальшого розвитку енергетичної галузі України. З іншого боку, споживачі електричної енергії, гірничовидобувної галузі у зв'язку зі специфікою своєї діяльності, мають нерівномірний характер попиту на електричну потужність. У зв'язку зі збільшенням нерівномірності графіка електричних навантажень енергосистеми енергетичні компанії змушені змінювати тарифні

коефіцієнти для стимулювання споживачів. Виробничий процес, зазвичай, не дозволяє переривати роботу споживачів. У гірничовидобувній промисловості як регулятор навантаження енергосистем доцільно використовувати водовідливну установку, яка характеризується значною потужністю та вільним циклічним графіком роботи в часі [1].

Аналіз останніх публікацій та досліджень

На практиці під час проектування та експлуатації шахтного водовідливу глибоких шахт (800-1600 м) все більше поширення знаходить погоризонтна або багатоступенева схема водовідливу [2]. Використання погоризонтної схеми шахтного водовідливу зумовлено не лише самим характером поступового заглиблення гірничих робіт, але також не потребує використання високонапірних насосних агрегатів. Основною складністю під час проектування та експлуатації шахтного водовідливу є врахування нестабільності водного притоку. В роботах [3,4] автори відмічають, що прогнозованому визначенню притоку води в шахту властиві значні похибки, однак коливання притоку відбувається в певних межах. У разі значних перевищень нормального притоку води до горизонту [5] необхідно визначити надлишковий потенціал гідравлічних потужностей обладнання, тобто – об'єм водозбірної споруди (водозбірника) та потужності насосного обладнання, яке в процесі проектування зазвичай приймається відповідно до вимог правил безпеки.

© Розен В. П., Великий С. С., Сторожилова Г. І., 2018

Мета досліджень

Метою даної роботи є зниження витрат плати за електроенергію водовідливної установки шляхом регулювання гідравлічних потужностей обладнання та визначенням оптимального режиму роботи.

Основна частина

Добові витрати на електроенергію $P_{роб}$ у процесі роботи водовідливу на горизонті залежать від його режиму роботи:

$$P_{роб} = P_{нас} \cdot \sum t_p \cdot a_i, \quad (1)$$

де P_n – потужність одного або групи працюючих насосів; $\sum T_p$ – сумарний час роботи насосів; a_i – величина плати за електроенергію у відповідній тарифній зоні.

Величина плати за електроенергію складається з двох значень: тарифного коефіцієнту для тризонного тарифу [6] та тарифу за електроенергію роздрібних тарифів на електричну енергію [7]. Оскільки для зниження витрат $P_{роб}$ необхідно визначити час включення насосів у певні тарифні зони $\sum t_p \cdot a_i$, що також можна записати як

$$\sum t_p \cdot a_i = T \cdot (t_{p1} \cdot k_n + t_{p2} \cdot k_{пн} + t_{p3} \cdot k_n), \quad (2)$$

де T – тариф на електричну енергію для підприємств; k_n , $k_{пн}$, k_n – тарифний коефіцієнт, який відповідає нічному, напівпіковому, та піковому періодам; t_{p1} , t_{p2} , t_{p3} – час роботи насосів у відповідний тарифний період.

Мінімізація витрати електроенергії, яка витрачається на роботу споживачів, залежить від параметрів загальної математичної моделі погоризонтного шахтного водовідливу, що має вигляд:

$$\langle Q_{np}, Q_{под}, V_{вод} \rangle, \quad (3)$$

де $Q_{np} = Q_{под-1} + Q_{гор}$, – притік води до водозбірника на горизонті водовідливу, який залежить від фактичного притоку води на горизонті, та подачі води з попереднього(нижнього) горизонту, м³/год; $Q_{под} = f(H_{гор}, Q_{нас}, \eta_{нас}, R_{mp}, N_{np}, P_{нас})$ – подача води з горизонту шахтного водовідливу, м³/год, яка залежить від глибини горизонту водовідливу $H_{гор}$, робочої подачі насоса, встановленого на горизонті водовідливу $Q_{нас}$, коефіцієнту корисної дії насоса $\eta_{нас}$, еквівалентного опору трубопроводу на горизонті водовідливу R_{mp} , кількості паралельно працюючих насосів на горизонті водовідливу n_{np} , електричної потужності, що споживається, одного двигуна на горизонті водовідливу $P_{нас}$; $V_{вод}$ – об'єм водозбірника на горизонті водовідливу, м³.

Модель (3) описує будь-який погоризонтний шахтний водовідлив, що дозволяє застосовувати її для існуючих шахт, а також для проектування нових. Параметри математичної моделі погоризонтного шахтного водовідливу поділяються на два типи: нерегульовані параметри Q_{np} , під які необхідно підлаштовувати режими роботи споживачів, та регульовані параметри $Q_{под}$, $V_{вод}$, які можна змінювати для досягнення мінімальних витрат на електроенергію.

За умови, що притік є величиною сталою протягом тривалого часу, скористаємося способом керування водовідливом за трьома точками [8], який дає змогу повністю вивільнити водозбірник до початку максимумів енергосистеми. В даному способі визначається коефіцієнт пропорційності:

$$k = \frac{t_u}{t_3} = \frac{t_3 + t_p}{t_3} = \frac{V_p / Q_{np} + V_p (Q_{нас} - Q_{np})}{V_p / Q_{np}} = \frac{Q_{нас}}{Q_{нас} - Q_{np}}, \quad (4)$$

де t_u – тривалість циклу роботи насосів; t_3 – час заповнення водозбірника; V_p – регульований об'єм водозбірника.

У даному випадку величина притоку не залежить від попереднього горизонту і враховує притік лише на власному горизонті.

Коефіцієнт пропорційності визначає залежність часу заповнення водозбірника та роботи насосів відповідно до подачі кожного з них та величини притоку води. Звідси, знаючи параметри насоса та величину притоку води, можливо змодельювати роботу будь-якого горизонту шахтного водовідливу, а також визначити можливий економічний ефект змін гідравлічних параметрів водовідливу на горизонті.

Однією з умов роботи водовідливу є необхідність повного його опорожнення спустошення до початку максимуму енергосистеми. За такої умови період циклу роботи повинен бути меншим за період між початками максимумів енергосистеми, що можна визначити як відношення, яке приймається таким, що дорівнює часу заповнення водозбірника:

$$\left[\frac{T_M}{k} \right] = t_{31}, \quad (5)$$

де $[\cdot]$ – ціла частина числа; T_M – період між початками максимумів енергосистеми; t_{31} – прийнятий час заповнення.

Прийнятий час заповнення визначає об'єм водозбірника, при якому насос відкачає цей

об'єм води до початку максимуму енергосистеми. Звідси, час роботи насосів:

$$T_m - t_{31} \geq t_p, \quad (6)$$

якщо прийняти

$$T_m - t_{31} = t_p, \quad (7)$$

то можливо визначити режим роботи насоса відповідно до його гідравлічної потужності.

Як модельний приклад приймемо рівномірним значення водного притоку 200 м³/год та по-

дачу насоса 300 м³/год, що відповідає подачі насосу типу ЦНС-300. Об'єм водозбірника приймемо не менше 800 м³, оскільки водозбірник водовідливу повинен забезпечувати накопичення не менше ніж чотирьохгодинного максимального припливу [9]. На рис. 1. наведено графік режиму роботи насосів для наведеного модельного прикладу.

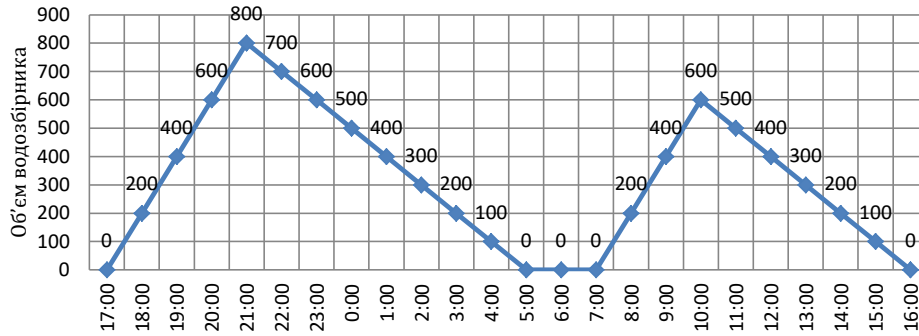


Рис. 1. Графік режиму роботи насосів для модельного прикладу.

Об'єм водозбірника в даному випадку є другорядним обмеженням, оскільки задані значення притоку і подачі не дозволяють відкачувати воду до початку максимумів енергосистеми у разі більшого об'єму водозбірника. Проміжки часу на яких значення об'єму води досягає нуля (5:00-7:00, 16:00-17:00) на графіку показують, що насоси мають достатню потужність для невеликих коливань притоку за добу, що також приймається за робочий час насоса. Розрахуємо добову витрату коштів за 1 кВт потужності насосної установки для модельного прикладу, використовуючи тариф для ПАТ «Київенерго»:

$$\sum t_p \cdot a_i = 1,94 \cdot (7 \cdot 0,25 + 10 \cdot 1,02 + 0 \cdot 1,8) = 23,183 \text{ грн/кВт}, \quad (8)$$

З формули (8) визначається максимальна витрата коштів за одиницю потужності (кВт) насосної установки за умови, що в часи початку максимумів енергосистеми водозбірник має бути порожнім. Якщо об'єм водозбірника є другорядним обмеженням, а графік залежить лише від притоку та подачі, скористаємося значенням відношення цих величин $Q_{пр}/Q_{нас}$ та проаналізуємо їх вплив на добову витрату коштів. В табл. 1. показано вплив на добові витрати коштів за одиницю (кВт) потужності насосної установки у разі зміни співвідношень притоку та подачі.

Таблиця 1.

Вплив на добові витрати витрата коштів за одиницю потужності насосної установки у разі зміни співвідношень притоку та подачі.

$Q_{пр}/Q_{нас}$	k	$t_{31в}$	$t_{31г}$	$\sum t_p \cdot a_i$
1/6	1,2	11	8	12,8428
1/3	1,5	9	6	17,7704
1/2	2	7	5	20,7192
2/3	3	4	3	23,183
5/6	6	2	1	35,6378

Об'єм водозбірника для цих випадків приймається таким, що дорівнює чотирьом годинному нормальному притоку. За результатами розрахунків

табл. 1 будуємо графік відношення значення $Q_{np}/Q_{нас}$ до добової витрати коштів $\sum t_p \cdot a_i$ (рис. 2.).

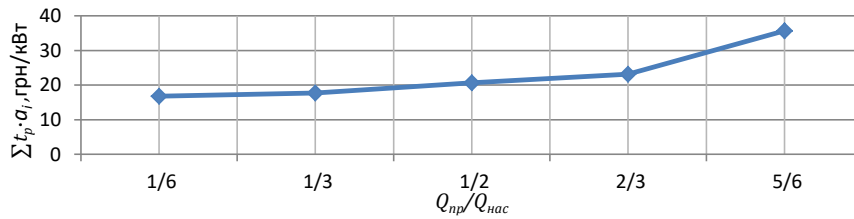


Рис. 2. Графік відношення значення $Q_{np}/Q_{нас}$ до добової витрати коштів $\sum t_p \cdot a_i$.

З графіка (рис. 2) видно, що у разі зменшення потужності насоса по відношенню до водного притоку зростає добова витрата коштів за 1 кВт потужності насосної установки. У разі достатнього запасу потужності насосів ($Q_{np}/Q_{нас} \leq 1/2$) час заповнення t_z повинен бути більшим за чоти-

рьох годинний період, що дає можливість збільшити обмеження часу заповнення водозбірника. В таблиці 2 приведені результати розрахунків добової витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки при збільшенні об'єму водозбірника.

Таблиця 2.

Добові витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки при збільшенні об'єму водозбірника.

$Q_{np}/Q_{нас}$	$\sum t_p \cdot a_i$					
	$V_{вод}/Q_{np}=5$	$V_{вод}/Q_{np}=6$	$V_{вод}/Q_{np}=7$	$V_{вод}/Q_{np}=8$	$V_{вод}/Q_{np}=9$	$V_{вод}/Q_{np}=10$
1/6	10,864	10,864	10,864	6,9064	6,9064	6,9064
1/3	16,2766	13,8128	13,8128	13,8128	13,3278	13,3278
1/2	14,7828	14,7828	14,2978	14,2978	14,2978	14,2978
2/3	23,183	23,183	23,183	23,183	23,183	23,183
5/6	35,6378	35,6378	35,6378	35,6378	35,6378	35,6378

На графіку (рис. 3) показана зміни добової витрати коштів за 1 кВт потужності насосної уста-

новки у разі зміни потужності насоса та об'єму водозбірника.

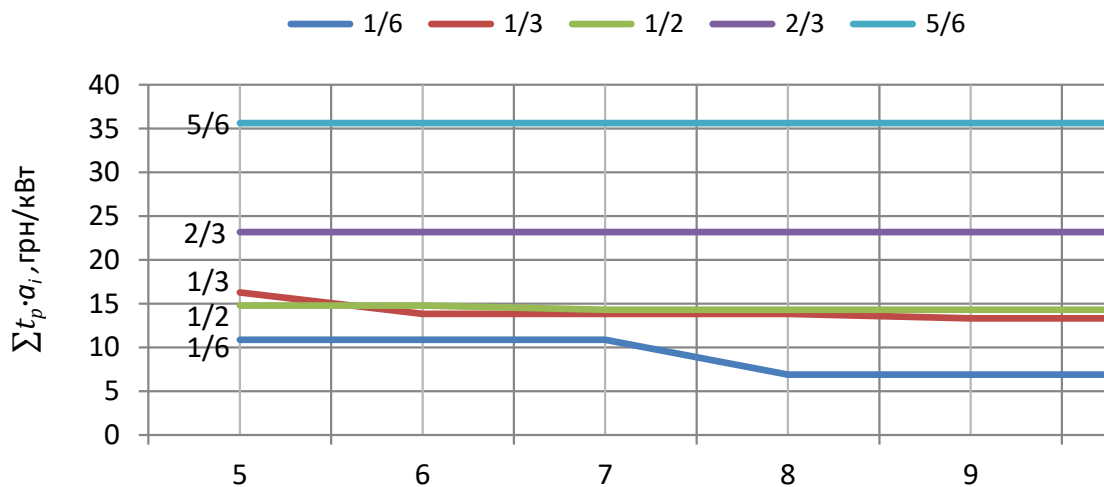


Рис. 3. Графік зміни добової витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки у разі зміни потужності насоса та об'єму водозбірника.

З графіка (рис. 3) видно що суттєве зменшення добових витрат по відношенню до збільшення об'єму водозбірника спостерігається для співвідношення $Q_{np}/Q_{nac}=1/6$ в інших випадках збільшення об'єму, не призведе до збільшення величини економії коштів.

Збільшення об'єму водозбірника до значення часу заповнення більше ніж п'яти годинний нормальний притік дає змогу змістити початок за-

повнення водозбірника з періоду ранкового максимуму енергосистеми. Ранкове заповнення водозбірника в такому випадку починається з 5:00 год, період між початками максимумів енергосистеми змінюється з 10,14 год на 12,12 год. Розрахунки добової витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки у разі збільшення об'єму водозбірника для інших періодів між початками максимумів показані в таблиці 3.

Таблиця 3.

Добові витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки при збільшенні об'єму водозбірника при зміщенні періоду між початками максимумів енергосистеми.

Q_{np}/Q_{nac}	$\sum t_p \cdot a_i$					
	$V_{вод}/Q_{np}=5$	$V_{вод}/Q_{np}=6$	$V_{вод}/Q_{np}=7$	$V_{вод}/Q_{np}=8$	$V_{вод}/Q_{np}=9$	$V_{вод}/Q_{np}=10$
1/6	7,3914	7,3914	7,3914	7,3914	7,3914	2,9488
1/3	12,319	12,319	12,319	7,8764	7,8764	7,8764
1/2	17,2466	12,804	12,804	12,804	12,804	12,804
2/3	19,2254	19,2254	19,2254	19,2254	19,2254	19,2254
5/6	33,1934	33,1934	33,1934	33,1934	33,1934	33,1934

На графіку (рис. 4) показана зміни добової витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки у разі зміни потужності насоса та об'єму

водозбірника для зміщення періоду між початками максимумів енергосистеми.

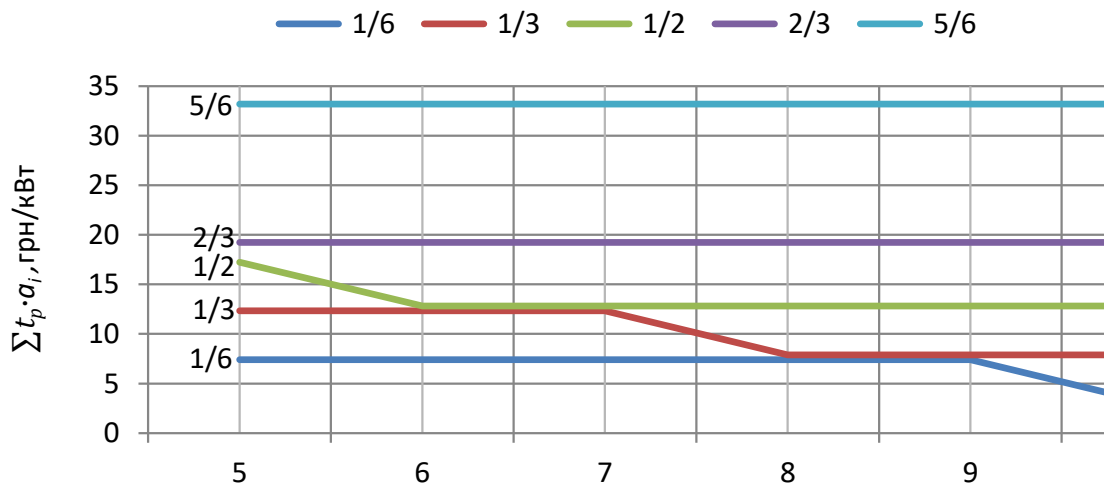


Рис. 4. Графік зміни добової витрати коштів за 1 кВт потужності насосної установки у разі зміни потужності насоса та об'єму водозбірника для зміщення періоду між початками максимумів енергосистеми.

Із порівняння графіків (рис. 3,4) видно, що має місце значне зменшення витрат у варіанті зі зміщеним початку ранкового заповнення водозбірника. Однак змінний характер річного притоку води не дозволяє остаточно змістити початок ранкового притоку водозбірника на дві години. Притік води в шахту досить складно визначити з достатньою точністю, зміна притоку води не мо-

же відбуватися миттєво, що свідчить про плавну зміну водного притоку. Плавність зміни притоку пов'язана з особливістю будови стоку води в водозбірник з гірничої виробки, яка проходить через водовідливні канали, довжина яких сягає декількох кілометрів, отже сумарний об'єм водовідливних каналів становить приблизно 100-300 м³ [3]. Таким чином, водовідливні канали являють

собою натуральний буфер, який згладжує різкі зміни водного притоку. Відповідно, сезонні коливання притоку протягом року проходять поступово, без різкої зміни. Це дає змогу приблизно оцінити необхідність зміщення початку ранкового заповнення водозбірника.

Висновки

Проведено порівняння добових витрат плати за електроенергію водовідливної установки у разі зміни величини притоку води відносно подачі насоса, а також збільшенні об'єму водозбірника, в результаті чого за недостатньою потужністю насоса збільшення водозбірника не приведе до економії коштів. Проведено моделювання зміни гідравлічних потужностей обладнання, при зміщенні періоду між початками максимумі, що приводить до зменшення величини плати за електроенергію.

Список використаної літератури

1. Праховник, А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий [Текст] / А. В. Праховник, В. П. Розен, В. В. Дегтярев // Москва: «Недра». – 1985. – 232 с.
2. Стожков, Д. С. Обоснование зависимости затрат на электропривод насосных агрегатов от высоты ступени в многоступенчатом шахтном водоотливе [Текст] / Д. С. Стожков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2013. – № 1 (29). – С. 59–62.
3. Проблемы проектирования и эксплуатации комплексов шахтного водоотлива [Текст] / С. А. Тимухин, А. В. Долганов, А. В. Угольников // Известия УГГУ. – 2014. – № 3 (35). – С. 68–74.
4. Лисицкий, А. В. Совершенствование системы управления шахтным водоотливом за счет краткосрочного прогноза водопритокков [Текст] / А. В. Лисицкий // Записки Горного института. – 2002. – № 150. – С. 96–99.
5. Тимухин, С. А. О необходимости более полного учета максимальных притоков воды в проектных решениях комплексов главного водоотлива [Текст] / С. А. Тимухин, Е. П. Иващенко, А. Ю. Марченко, М. Ю. Марченко, С. Н. Салтанов, И. М. Баринов, Е. А. Викулов // Известия УГГУ. – 2015. – № 4 (40). – С.41–45.
6. Тарифы на электрическую энергию (кроме населения) [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://kyivenergo.ua/ru/ee-company/tarifi>.
7. Інформація щодо роздрібних тарифів на електричну енергію, що відпускається для кожного класу споживачів, крім населення, на території

України, на лютий 2018 року [Електронний ресурс]: <http://www.nerc.gov.ua/?id=30742>

8. Данильчук Г. И. Автоматизация электропотребления водоотливных установок / Г. И. Данильчук, С. П. Шевчук, П. К. Василенко // Киев: «Техніка». – 1981. – 102 с.
9. Правила безпеки у вугільних шахтах [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10>.

References

1. Prakhovnik, A., Rozen, V., Degtyarev, V. (1985), Energy-saving modes of power supply of mining enterprises [“Energoberegayushchiye rezhimy elektrosnabzheniya gornodobyvayushchikh predpriyatiy”], Nedra, Moscow, 232 p.
2. Stozhkov, D. S. (2013), Substantiation of the dependence of costs on the electric drive of pumping units on the step height in a multistage mine dewatering system [“Obosnovaniye zavisimosti zatrat na elektroprivod nasosnykh agregatov ot vysoty stupeni v mnogostupenchatom shakhtnom vodootlive”], Proceedings of the USMU, No. 1 (29), pp. 59–62.
3. Timukhin, S. A., Dolganov, A. V., Ugol'nikov, A. V. (2014), Problems of design and operation of mine drainage systems [“Problemy proyektirovaniya i ekspluatatsii kompleksov shakhtnogo vodootliva”], Proceedings of the USMU, No. 3 (35), pp. 68–74.
4. Lisitskiy, A. V. (2002), Improvement of the management system of mine dewatering due to the short-term forecast of water inflows [“Sovershenstvovaniye si-stemy upravleniya shakhtnym vodootlivom za schet kratkosrochnogo prognoza vodopritokkov”], Notes of the Mining Institute, No.150, pp. 96–99.
5. Timukhin, S. A., Ivashchenko, E. P., Marchenko, A. Yu., Marchenko, M. Yu., Saltanov, S. N., Barinov, I. M., Vikulov, E. A. (2015), On the need to more fully take into account the maximum water inflows in the design solutions of the main dewatering complexes [“O neobkhodimosti boleye polno-go ucheta maksimal'nykh pritokov vody v proyektnykh resheniyakh kompleksov glavnogo vodootliva”], Proceedings of the USMU, No.4 (40), pp.41–45.
6. Tariffs for electricity (other than population) 2017 [“Tarify na elektricheskuyu energiyu (krome nasele-niya) 2017”], available at: <https://kyivenergo.ua/ru/ee-company/tarifi>.
7. Information on retail electricity tariffs issued for each class of consumers other than the population in Ukraine on February 2018 [“Informatsiya shchodo

rozdrubnykh taryfiv na elektrychnu enerhiyu, shcho vidpuskayet'sya dlya kozhnoho klasu spozhyvachiv, krim naselen-nya, na terytoriyi Ukrayiny, na lyutyu 2018 roku"], available at: <http://www.nerc.gov.ua/?id=30742>.

8. Danil'chuk, G. I., Shevchuk, S. P., Vasilenko, P. K. (1981), Automation of power consumption of

drainage systems ["Avtomatizatsiya elektropotrebleniya vodootlivnykh ustanovok"], Technics, Kiev, 102 p.

9. Safety rules in coal mines, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10>.

MANAGEMENT OF THE WORK MODE OF THE DEWATERING PUMP STATION OF MINING ENTERPRISE BY THE CRITERION OF COSTS ON THE ELECTRIC ENERGY

V. Rozen, S. Velykyi, G. Storozhylova

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Abstract. *One of the most urgent issues of domestic power engineering is the problem of a shortage of maneuverable generating capacity in the united energy system. Therefore, the problem of equalizing the load schedules of the power system appears which is very relevant today. Consumers of electric power, mining enterprise in connection with the specifics of their activities, have uneven nature of demand for electric power. In connection with an increase in the uneven schedule of electrical loads of the grid, power companies are forced to change tariff rates to stimulate consumers. In the mining enterprise, as a load-regulator for power systems, it is expedient to use a dewatering system that is characterized by significant power and free cyclic timing. The purpose of this work is to reduce the cost on the electric energy for the dewatering pump station by adjusting the hydraulic capacity of the equipment and determining the optimal mode of operation. The main parameters are determined that influence to operation of pump stations for the mine horizon. A comparison was made of the daily cost on the electric energy for a dewatering pump station in case of a change in the value of the inflow of water relative to the supply of the pump, as well as an increase in the volume of reservoir. Also, a simulation of the change in the hydraulic capacity of the equipment was conducted, with a shift of the period between the start of the maximum. As a result of modeling it is determined that due to insufficient power of the pump the increase of the volume of reservoir will not save money. The shift of the start of filling in reservoir relative to changed water flow leads to the amount of payment for electricity.*

Key words: *dewatering work mode, water flow, costs on the electric energy, period of maximum power system.*

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ВОДООТЛИВНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО КРИТЕРИЮ ПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

В. П. Розен, С. С. Великий, Г. И. Сторожилова

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Аннотация. *В статье приведен способ определения режима работы водоотливной насосной установки горнодобывающего предприятия в соответствии с величиной платы за электроэнергию. Разработана математическая модель работы насосной установки на горизонте водоотлива шахты по критерию платы за электроэнергию. Приведены результаты моделирования изменения подачи насосной установки и объема водосборника, влияющие на величину платы за электроэнергию.*

Ключевые слова: режим работы водоотлива, приток воды, затраты на электроэнергию, период максимума энергосистемы.

Отримано 02.03.2018



Розен Віктор Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації і управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». вул. Борщагівська, 115/3, Київ, Україна, E-mail: auek@ukr.net, тел. +38(044)204-8225

Victor Rozen, Dr. of Science, Professor, Head of the Department of automation and control of electrical engineering complexes, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», st. Borschagovskaya, 115/3, Kyiv, Ukraine, E-mail: auek@ukr.net, Tel. +38(044)204-8225

ORCID ID: 0000-0002-0440-4251



Великий Сергій Сергійович, аспірант кафедри автоматизації і управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». вул. Борщагівська, 115/3, Київ, Україна, E-mail: ser_vel@ukr.net, тел. +38(098)282-8177

Serhii Velykyi, postgraduate of the Department of automation and control of electrical engineering complexes, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», st. Borschagovskaya, 115/3, Kyiv, Ukraine, E-mail: ser_vel@ukr.net, Tel. +38(098)282-8177

ORCID ID: 0000-0002-5304-0597



Сторожилова Галина Іванівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». вул. Донецька, 8а, кв. 80, Київ, Україна, E-mail: toe209@gmail.com, тел. +38(067)942-5258

Galina Storozhylova, candidate of engineering sciences, associate professor of the Department of Theoretical Electrical Engineering of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», st. Donetsk, 8a, apt. 80, Kyiv, Ukraine, E-mail: toe209@gmail.com, Tel. +38(067)942-5258

ORCID ID: 0000-0002-1932-6057