УДК 621.3:622.5

Е.А. ПЕТЕЛІН (канд. техн. наук, доц.), **С.М. ЗІНОВ'ЄВ** (канд. техн. наук, доц.)
Красноармійський індустріальний інститут
Державного вищого навчального закладу
«Донецький національний технічний університет»
petelinea@gmail.ru, ceprey@yandex.ru

ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ПЛАНУВАННІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ШАХТНОГО ВОДОВІДЛИВУ

Запропонований критерій у комплексному підході до визначення доцільності проведення модернізації електромеханічного устаткування шахтних водовідливних установок, поточна робота яких цілком відповідає вимогам правил безпеки у вугільних шахтах. Це дозволяє обґрунтувати найбільш економний режим роботи водовідливних установок протягом доби за критерієм мінімальної вартості спожитої електроенергії, що досягається за рахунок скорочення тривалості їх роботи у години пікового навантаження енергосистеми і, як наслідок, виключення найбільш дорогої складової вартості електричної енергії у добовому графіку її споживання. Встановлено, що технічні параметри водовідливних установок, поточна робота яких цілком відповідає вимогам правил безпеки у вугільних шахтах не завжди є оптимальними.

Ключові слова: енергоефективність, електромеханічне устаткування, водовідлив, модернізація, насосний агрегат, потужність, подача, напір, робочий режим, електрична енергія, пікове навантаження, тарифна зона, електропривод, енергозбереження.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами. На даний час багато підприємств гірничодобувної промисловості мають велику кількість електромеханічного устаткування, яке майже або повністю вичерпало свій ресурс. Враховуючі дотаційність підприємств та в умовах нестачі коштів на державних підприємствах та прагнення отримати більше прибутку на приватних підприємствах модернізація майже всюди проводиться з огляду на мінімальність затрат на її проведення, що дуже часто оставляє не вирішеними домодернізаційні проблеми та призводить до підвищених експлуатаційних витрат. Відсутність обов'язкових критеріїв та оманлива сьогочасна вигода зводять нанівець результати модернізації.

Сучасні умови роботи гірничодобувної промисловості найчастіше характеризуються суперечливими вимогами. З одного боку вони вказують на необхідність збільшення об'ємів видобутку вугілля, при одночасній тенденції до подорожчання виробітку електроенергії, а з іншого – експлуатація вкрай зношеного електромеханічного обладнання та необхідність закриття старих шахт суттєво ускладнюють реалізацію цих вимог. Крім того, закриття нерентабельних вугільних підприємств викликає небезпеку суттєвого збільшення припливу води до горизонтів діючих підприємств, що призводить до збільшення подач, напорів, потужностей та енергоємності насосних агрегатів в умовах катастрофічного браку коштів на модернізацію електромеханічного обладнання.

Тим не менш, на сьогоднішній день, питання енергозбереження та підвищення ефективності енергоспоживання є одним з найактуальніших питань як для гірничих підприємств, так і для України в цілому. Тому сучасні технічні рішення повинні, насамперед, в умовах росту цін на енергоносії, сприяти розв'язанню проблем енергозбереження та підвищенню енергоефективності роботи підприємств. Тим більше, що водовідливні установки деяких вугільних підприємств використовують близько 25% усій електроенергії споживаної вуглевидобувним підприємством.

Аналіз досліджень та публікацій. Як вказує д-р техн. наук, проф. Ю.Т. Разумний [1, 2], шахтний водовідлив, за своєю суттю, є класичним споживачем-регулятором. Участь головної водовідливної установки в регулюванні режимів електроспоживання повинна бути економічно вигідною як споживачу (шахті), так і виробнику (енергосистемі) за умови використовування диференційованого за періодами доби тарифу на електроенергію. Виходячи з цього, економічний ефект від зміни режимів роботи водовідливу – відключення насосів у години пікових навантажень в енергосистемі та інтенсивного відкачування води у години нічного провалу, повинен бути високим.

Те, що електроприводи шахтних водовідливних установок є одними з найбільших споживачів електроенергії в гірничо-металургійному комплексі не викликає сумнівів, тому цілком обґрунтовано вважають, що від цих установок залежить рівень енерговитрат та безпека проведення робіт під час видобутку корисних копалин. Отже, оптимізація режимів енергоспоживання цього обладнання є ключовим фактором енергозбереження в гірничій галузі [3].

На проблемі підвищення експлуатаційної надійності та економічності головних водовідливних установок, яка набула за останні десятиліття виключної актуальності, акцентують свою увагу також інші автори [4].

© Е.А. Петелін, С.М. Зінов'єв

Постановка задачі. Метою даного дослідження є обґрунтування комплексного підходу до зменшення витрат при прийнятті рішень щодо проведення модернізації електромеханічного устаткування шахтних водовідливних установок.

Викладення матеріалу та результати. Зазвичай, коли постає питання про необхідність проведення модернізації електромеханічного устаткування шахтних водовідливних установок, до уваги беруться у першу чергу питання ПБ [5], по друге вартість модернізації. Але, при більш уважному дослідженні даної ситуації, необхідно приділити увагу не менш важливому показнику, такому, як вартість експлуатації модернізованої водовідливної установки у довготривалому періоді у порівнянні з вартістю капітальних вкладень на її модернізацію та впливом на собівартість видобутого вугілля.

Розглянемо цю ситуацію на прикладі дільничної водовідливної установки пл. l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 Відокремленого підрозділу «Шахта Стаханова» ДП «Красноармійськвугілля». Технічна характеристика водовідливної установки надана у таблиці 1.

Досвід експлуатації секційних насосів серії ЦНС 180-255, які застосовані на дільничному водовідливу пл. l_1 гор. 1136 м блоку № 4, показує, що насоси фізично та морально застаріли та ненадійні в роботі. Вони мають низький коефіцієнт корисної дії, значення якого не перевищує 65% та виходять із ладу через кавітаційні руйнування робочих коліс і проточних частин.

Таблиця 1 – Технічні характеристики дільничної водовідливної установки

Призначення	Ємність водозбірника, $м^3$	Місце встановлення	Тип насосного агрегату	Кількість насосних агрегатів	Привод
Дільничний водовідлив пласта l_1 горизонту 1136 м	800	Нижній приймальний майданчик центральних ухилів пласта l_1 блоку 4	ЦНС 180-255	2	ВАО2-450, 250 кВт, 6 кВ

Згідно ПБ [5] для водовідливних установок, що будуються або реконструюються тривалість відкачування добового припливу води кожним насосним агрегатом (групою робочих агрегатів) повинна становити не більше ніж 16 годин.

Для визначення робочого режиму насосів, що знаходяться в експлуатації був виконаний перевірочний розрахунок існуючої дільничної водовідливної установки пл. l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 та трубопровідної мережі. Вихідні дані для розрахунку надані у таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку напірної характеристики нагнітального трубопроводу водовідливу пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4

Параметр	Значення
Геометрична висота нагнітання, $H_г$, м	150
Геометрична висота всмоктування, $H_{вс}$, м	3,0
Довжина нагнітального трубопроводу, $\ell_н$, м	920
Внутрішній діаметр нагнітального трубопроводу, $d_н$, м	0,135
Довжина всмоктувального трубопроводу, $\ell_{вс}$, м	10
Діаметр всмоктувального трубопроводу, $d_{вс}$, м	0,135
Діаметр трубопроводу обв'язки насоса, d_1, м	0,135

Напірна характеристика трубопроводу водовідливної установки знаходиться за рівнянням:

$$H = H_п + \left[\left(\lambda_{вс}\frac{\ell_{вс}}{d_{вс}} + \sum\xi_{вс}\right)\frac{1}{d_{вс}^4 \cdot n^2} + \left(\lambda_1\frac{\ell_1}{d_1} + \sum\xi_1\right)\frac{1}{d_1^4 \cdot n^2} + \left(\lambda_н\frac{\ell_н}{d_н} + \sum\xi_н\right)\frac{1}{d_н^4}\right]\frac{8 \cdot Q^2}{g\pi^2 3600^2} \quad (1)$$

де $H_п$ - геометрична висота підйому води, значення якої чисельно дорівнює:

$H_п = H_г + H_{вс} = 150 + 3 = 153$, м;

$\lambda_{вс}, \lambda_1, \lambda_н -$ коефіцієнт гідравлічного тертя або коефіцієнт Дарсі відповідно для всмоктувального трубопроводу і відрізків труб, з яких складається нагнітальний трубопровід, розрахований за формулою Ф.А. Шевелєва для ненових труб нагнітального трубопроводу:

$$\lambda = 0{,}021\ d–0{,}3\ , \qquad (2)$$

$d_{вс}, d_1, d_н -$ внутрішній діаметр трубопроводу, м;

$l_{вс}, l_1, l_н -$ довжина трубопроводу відповідно для усмоктувального трубопроводу й відрізків труб, з яких складається нагнітальний трубопровід, м;

$\sum\xi_{вс}, \sum\xi_1, \sum\xi_н$ – сума коефіцієнтів місцевого опору відповідно усмоктувального й відрізків труб, з яких складається нагнітальний трубопровід;

n=1 - кількість насосів, що одночасно працюють на один нагнітальний трубопровід.

Після підстановки значень в рівняння (1), одержимо рівняння напірної характеристики нагнітального трубопроводу

$$H = 153 + 4{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 . \qquad (3)$$

Робочий режим насосів ЦНС 180-255 в умовах дільничного водовідливу пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 шахти «Стаханова» зображений на рисунку 1.

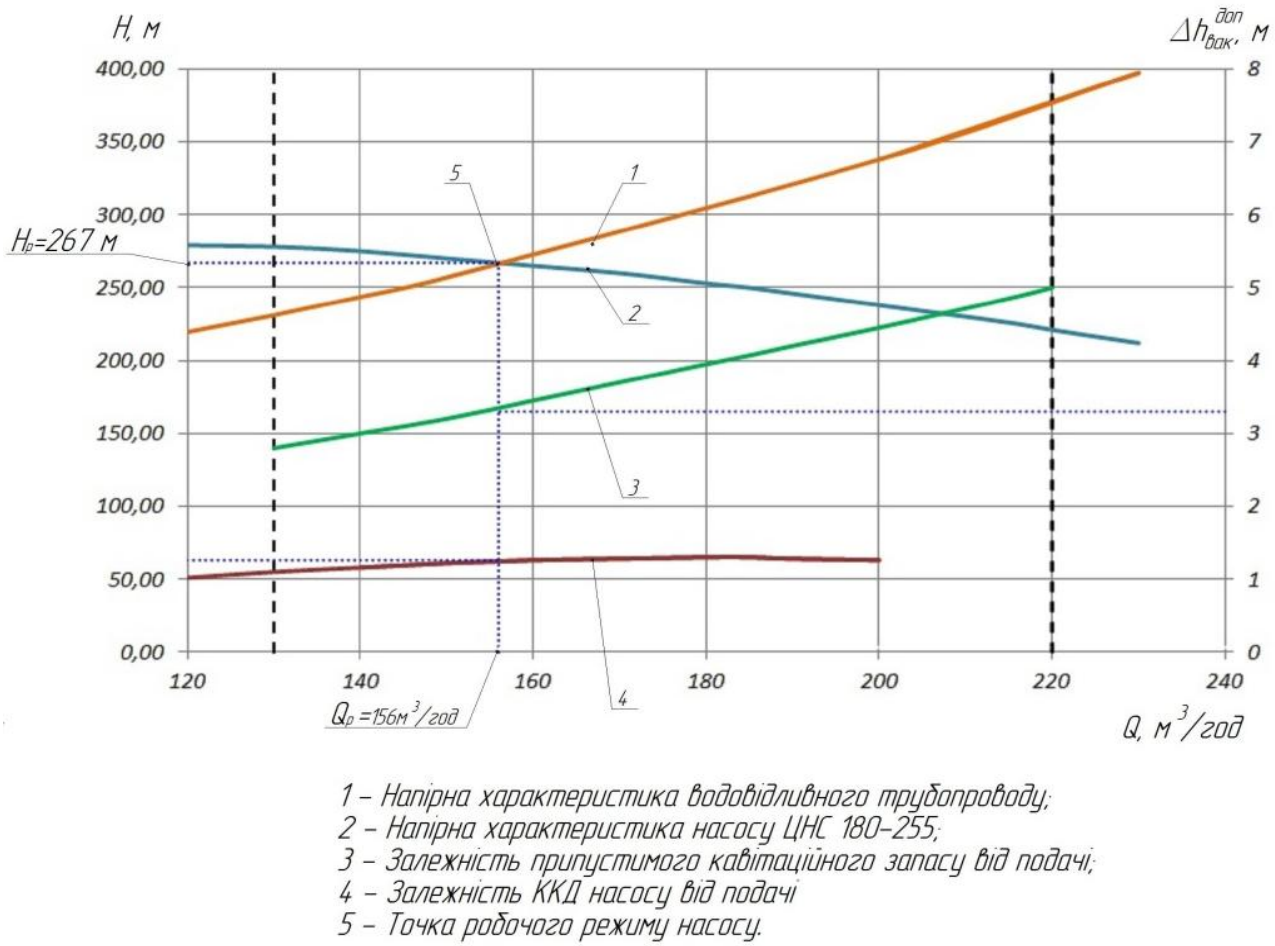

Рисунок 1 – Робочий режим насосів ЦНС 180-255 в умовах дільничного водовідливу пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 шахти «Стаханова»

Розрахунковий робочий режим насосів ЦНС 180-255 характеризується наступними параметрами (Рис. 1): $Q_р$=156 – подача, м3/год; $H_р$=267 – напір, м; допустима вакууметрична висота усмоктування – 3,3 м; $\eta_р$ =63% – ККД.

Даній умові прийняті насоси задовольняють та з параметрами робочого режиму у час максимального припливу працюють 16,4 години на добу. При нормальному припливі насоси працюють майже 15 годин. В обох випадках це відповідає вимогам ПБ [5].

Якщо орієнтуватись тільки на вимоги ПБ, то дана водовідливна установка цілком їм задовольняє. Але розглянемо роботу цієї водовідливної установки з точки зору кількості споживання електричної енергії та економічної доцільності її експлуатації.

Для цього розрахуємо кількість споживаної електричної енергії за добу, її вартість та порівняємо з іншими насосами, які можуть бути використані у існуючих умовах із заміною напірного трубопроводу.

Розрахункова потужність на валу насоса визначиться наступним чином:

$$P_{роз} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_р \cdot Q_р}{3600 \cdot \eta_р} = \frac{1000 \cdot 9{,}81 \cdot 156 \cdot 267}{3600 \cdot 0{,}65} = 175 \text{, кВт} \quad (4)$$

де ρ=1000 кг/м3 – щільність води;

g=9,81 – прискорення вільного падіння.

Результати решти розрахунків представлені на рисунках 2-4 та у таблиці 2.

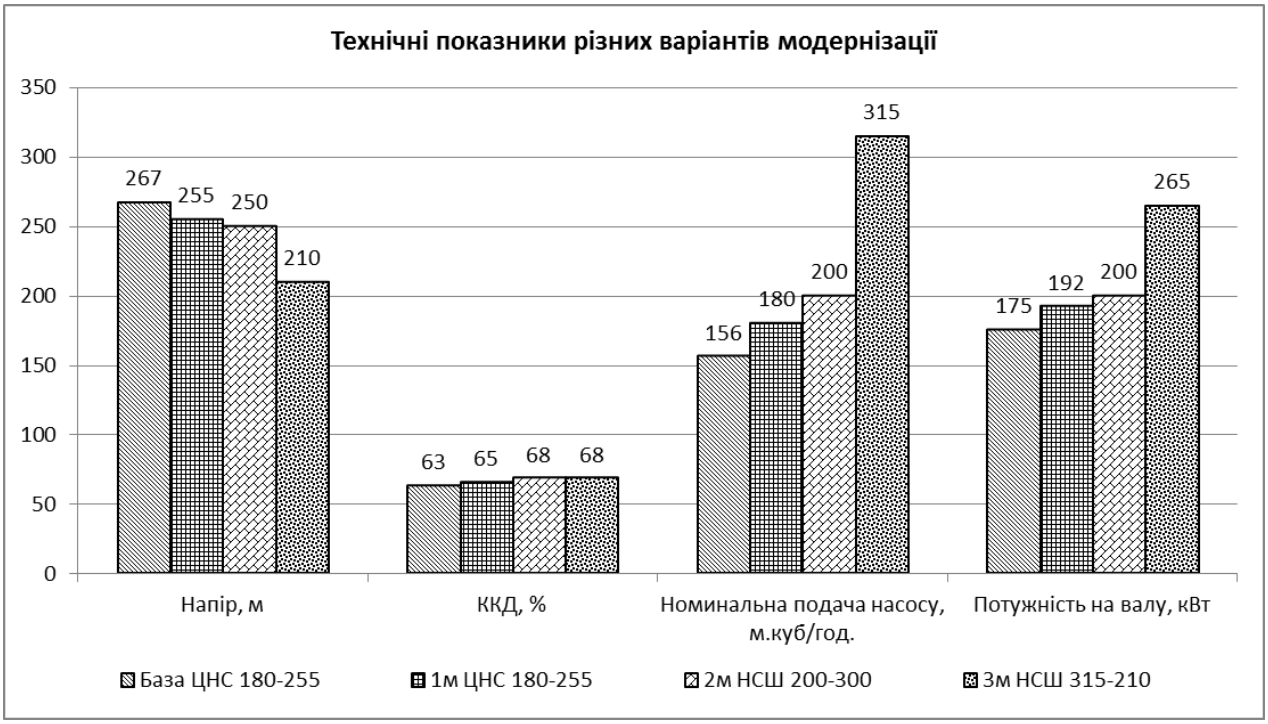

Рисунок 2 – Технічні показники роботи насосних агрегатів для різних варіантів модернізації дільничного водовідливу пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 шахти «Стаханова»

Аналіз наведених даних вказує, що найбільш ефективним за технічними показниками (Рис. 2) є 3-й варіант модернізації з насосом НСШ 315-210, оскільки забезпечує найбільшу подачу та ККД у 68 %.

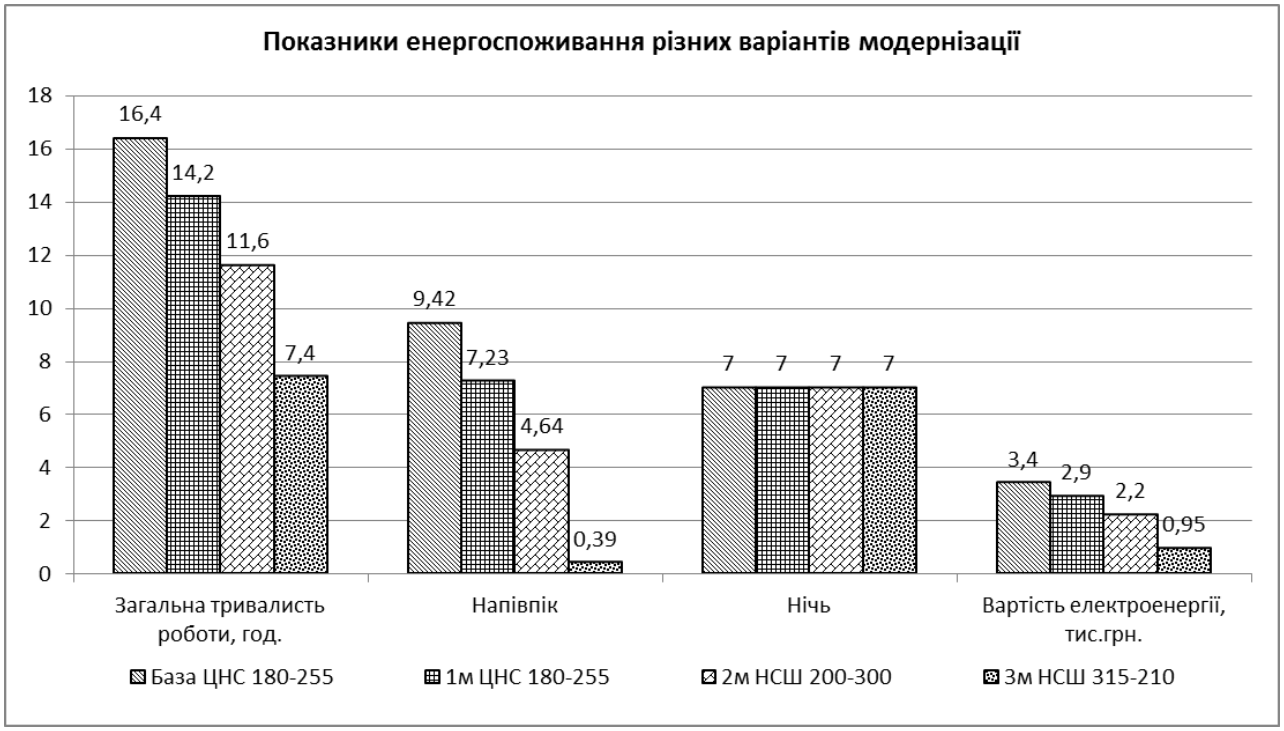

Рисунок 3 – Показники енергоспоживання для різних варіантів модернізації дільничного водовідливу пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 шахти «Стаханова»

З точки зору показників енергоспоживання (Рис. 3) 3-й варіант модернізації з насосом НСШ 315-210 також є самим доцільним, оскільки забезпечує найменшу загальну тривалість роботи насосного агрегату протягом доби – 7,4 години та найменшу споживану кількість електричної енергії, що у вартісному вираженні складе 0,95 тис. грн. за добу та у 3,5 рази менш ніж споживає існуюча водовідливна установка, незважаючи на саму високу потужність на валу – 265 кВт (Рис.2).

З точки зору економічних показників (Рис.4) варіант модернізації з насосом НСШ 315-210 є самим дорогим, проте він дає найбільший річний економічний ефект (врахована тільки вартість спожитої електричної енергії) та найкоротший термін окупності вкладень.

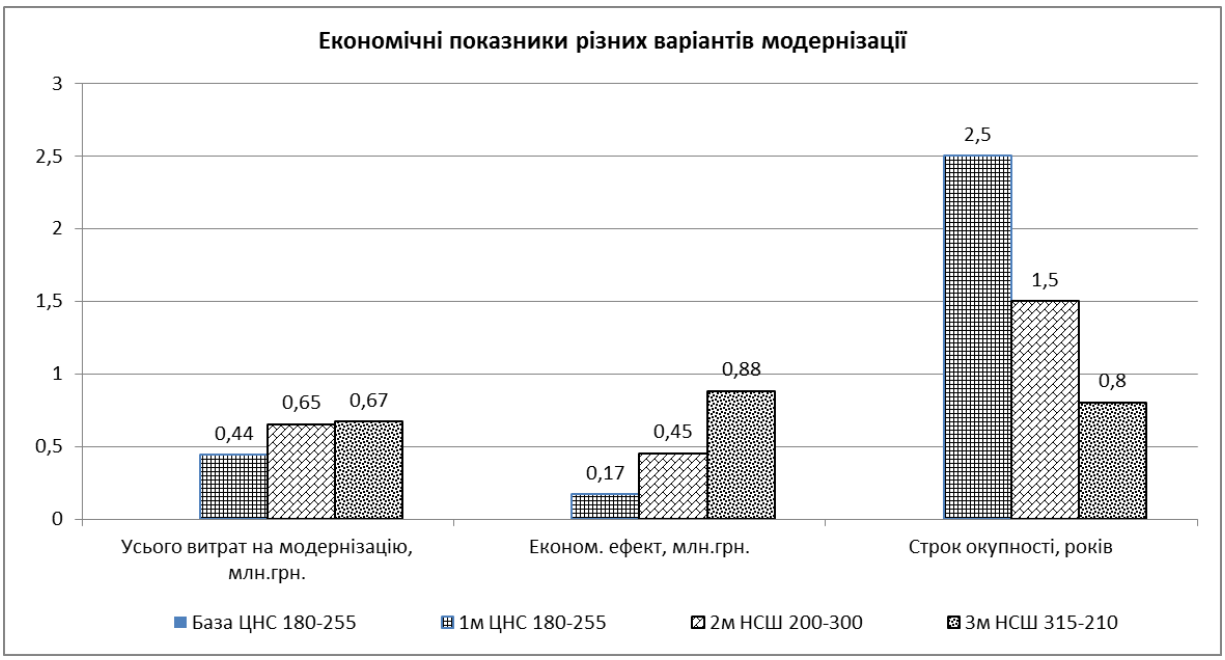

Рисунок 4 – Економічні показники для різних варіантів модернізації дільничного водовідливу пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 шахти «Стаханова»

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники добового режиму роботи дільничної водовідливної установки пласту l_1 горизонту 1136 м блоку № 4 за різними варіантами модернізації

Варіант модернізації	Насос	Напір, м	ККД, %	Номінальна подача насосу, $м^3$/год.	Потужність на валу, кВт	Загальна тривалість роботи, год.	Тривалість роботи у тарифних зонах вартості електроенергії, год.		Вартість електроенергії, тис. грн.	Вартість насосів, тис. грн.	Вартість труб (920 м Дн168; 219 мм), тис. грн.	Вартість заміни трубопроводу, тис. грн.	Усього витрат на модернізацію, млн. грн.	Економ. ефект, млн. грн.	Строк окупності, років
							Напівпік	Ніч							
Існуючий дільничний водовідлив горизонту 1136 м															
База	ЦНС 180-255	267	63	156	175	16,4	9,42	7	3,4						
Дільничний водовідлив горизонту 1136 м після модернізації															
1м	ЦНС 180-255	255	65	180	192	14,2	7,23	7	2,9		368	73,6	0,44	0,17	2,5
2м	НСШ 200-300	250	68	200	200	11,6	4,64	7	2,2	100	460	92	0,65	0,45	1,5
3м	НСШ 315-210	210	68	315	265	7,4	0,39	7	0,95	120	460	92	0,67	0,88	0,8

Висновки. На даний час багато підприємств гірничодобувної промисловості мають велику кількість електромеханічного устаткування, яке потребує модернізації. Для подальшої безпечної роботи підприємств до процесу модернізації, особливо електромеханічного устаткування шахтних водовідливних установок, потрібен комплексний підхід, який забезпечить не тільки відповідність вимогам правил безпеки, а і експлуатаційні проблеми старого устаткування. Одним з критеріїв комплексного підходу планування процесу модернізації може бути критерій мінімальності енерговитрат. Запропонований алгоритм розрахунку зменшення енерговитрат дозволяє обґрунтувати найбільш економний режим роботи водовідливних установок протягом доби за критерієм мінімальної вартості спожитої електроенергії. Це досягається за рахунок скорочення тривалості їх роботи у години пікового навантаження енергосистеми і, як наслідок, виключення найбільш дорогої складової вартості електричної енергії у добовому графіку її споживання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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.
2. Разумный Ю.Т. Енергоефективна робота водовідливної установки вугільної шахти / Ю.Т. Разумный, Н.Ю. Рухлова, А.В. Рухлов // Науковий вісник НГУ. – 2015. – № 2. – С.74–79.
3. Бешта О.С. Оцінка енергоефективності комплексу шахтного водовідливу / О.С. Бешта, О.В. Балахонцев, І.І. Пельтек, Є.Г. Худий, С.С. Худолій // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 11–12. – С.136.
4. Антонов Э.И. Резервы повышения эксплуатационной экономичности и надежности установок главного водоотлива шахт / Э.И. Антонов, А.Н. Галанин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірнично - електромеханічна. Випуск 22(195) – Донецк, 2011, С. 3-12.
5. Правила безопасности в угольных шахтах. – Киев: Государственный комитет Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору, - 2010. – 430 с.

REFERENCES

1. Razumnyy Y. Improving energy efficiency in major coal mine pumping installation / Y. Razumnyy, N. Rukhlova, A. Rukhlov // Scientific Bulletin of NMU. - 2013. - No 5. - P.67-72.
2. Razumnyy Y. Energy efficient work pumping installations of coal mine / Y. Razumnyy, N. Rukhlova, A. Rukhlov // Scientific Bulletin of NMU. - 2015. - No 2. - P.74-79.
3. Beshta O. Evaluation of energy efficient of complex mine pumping / O. Beshta, O. Balahontsev, I. Peltek, E. Hudyy, S. Hudoliy // Scientific Bulletin of NMU. - 2010. - No 11-12. - P.136.
4. E. Antonov, A. Galanin Reserves increase operational efficiency and reliability of the main settings dewatering mines // Scientific papers of Donetsk National Technical University. A series of mining - electromechanical. Issue 22 (195) - Donetsk, 2011, P. 3-12.
5. Safety rules in coal mines. - Kiev: Ukrainian State Committee for Industrial Safety, Labour Protection and Mining Supervision, - 2010. - 430 p.

Надійшла до редколегії 01.12.2015 *Рецензент: Синков В.Г.*

E. PETELIN, S. ZINOVYEV
Krasnoarmiysk Industrial Institute of State higher education establishment «Donetsk national technical university»

Questions of energy saving in planning the modernization of electromechanical complexes of mine pumping

At present many mining companies have a large number of electromechanical equipment. This equipment exhausted the resource almost or fully. For further safe operation of enterprises need to modernize the electromechanical equipment

State enterprises subsidized and have constant problems with the availability of funds. Private enterprises aim to get a more profit. Modernization is almost everywhere conducted taking into account minimality of expenses on its implementation. Very often such modernization is left unresolved operational issues and leads to high operating costs. The absence of mandatory criteria and deceptive immediate benefit nullify the results of modernization.

On reliable operation of electromechanical equipment of mine pumping installations depends continued safe operation of the enterprise. Planning the modernization process requires a comprehensive approach. It must ensure compliance with safety rules and to remove the operational problems of old equipment.

The algorithm calculating the reduction of energy consumption is offered in the article. This calculation must be one of the criteria of integrated approach to reduce power consumption when planning the modernization of electromechanical equipment for mine pumping installations.

The proposed algorithm of calculation to reduce power consumption allows to ground the most economy mode of operations of pumpings installations within day by the criterion of minimum value of used electric power. It is arrived at due to reduction of duration of their work at o'clock of peak-load and, as a result, exception of the most dear component cost of electric energy in the daily schedule of consumption.

Keywords: energy efficiency, electromechanical equipment, pumping, modernization, pumping unit, power supply, pressure, operating mode, electricity, peak load, tariff zone, power, energy.