

переменного тока. Проблемы равного распределения напряжения для последовательно соединенных устройств устранены;

большое количество изолированных источников постоянного напряжения. Источники постоянного напряжения для преобразователя КНМ обычно получают от многоимпульсного диодного выпрямителя, использующего дорогой фазосдвигающий трансформатор;

большое количество компонентов. В преобразователе КНМ используется большое количество модулей IGBT. Для девятиуровневого преобразователя КНМ требуется 64 IGBT с таким же количеством драйверов для них.

Выводы и направление дальнейших исследований. Показана перспективность использования современных программных комплексов в процессе проектирования и конструирования преобразователей, что позволяет автоматизировать основные этапы их разработки. Предложенные схемотехнические решения позволили разработать и испытать высоковольтный преобразователь частоты для электропривода напряжением 6 кВ мощностью 2000 кВт. Разработанная схема с структурой Н – мостовой ячейки, выполненная на базе встречнопоследовательно соединенных IGBT-модулей с обратными диодами по сравнению с аналогичными схемами является более надежной и экономичной.

Список литературы

1. **P. W. Hammond**, A New Approach to Enhance Power Quality for Medium Voltage AC Drives, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 202–208, 1997.
2. **W. A. Hill and C. D. Harbourt**, Performance of Medium Voltage Multilevel Inverters, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, Vol. 2, pp. 1186–1192, 1999.
3. **R. H. Osman**, A Medium Voltage Drive Utilizing Series-Cell Multilevel Topology for Outstanding Power Quality, IEEE Industry Applications Society (IAS) Conference, pp. 2662–2669, 1999.
4. **N. Mohan, T. M. Undeland**, et al., Power Electronics—Converters, Applications and Design, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, 2003.
5. **P. W. Wheeler, L. Empringham, et al.**, Improved Output Waveform Quality for Multilevel H-Bridge Chain Converters Using Unequal Cell Voltages, IEE Power Electronics and Variable Speed Drives Conference, pp. 536–540, 2000.
6. **M. D. Manjrekar, P.K. Steimer, et al.**, Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No. 3, pp. 834–841, 2000.
7. **Mokhberdorani A, Ajami A.** Symmetric and asymmetric design and implementation of new cascaded multilevel inverter topology. IEEE Trans Power Electron 2014;29(12):6712–24.
8. **Донской Н.** Многоуровневые автономные инверторы для электропривода и электроэнергетики / Н. Донской, А. Иванов, В. Матисон, И. Ушаков // Силовая электроника. – 2008. – № 1. – С. 43–46.
9. **Фащиленко В.Н.** Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий. - Учеб. пособие. — М.: Горная Книга, 2011. — 260 с.
10. **Онищенко Г.Б., Юньков М.Г.** Электропривод турбомеханизмов – Москва: «Энергия», 1972. – 240 с.

Рукопись поступила в редакцию 16.04.2018

УДК 621.311.214

І.О. СІНЧУК, І.В. КАСАТКІНА, кандидати техн. наук, доценти,
О.В. ДОЗОРЕНКО, Р.І. КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ, аспіранти
Криворізький національний університет

НОВИЙ ПОГЛЯД НА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної роботи є оцінка можливостей та розробка аспектів теорії підвищення ефективності споживання електричної енергії в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання гідроаккумуляторів на основі головних насосних установок.

Для досягнення поставленої мети проаналізовані напрямки розширення кордонів функціонування головних насосних установок водовідливних систем залізрудних шахт з можливістю використання їх в режимі генераторів електричної енергії (міні гідроакмулюючих електростанцій), що дасть можливість підвищити електроенергоєфективність даних видів підприємств.

Це дозволить підприємствам споживати в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, значно менше електроенергії, що дозволить відповідно, знизити, приблизно на 20%, плату за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу прийнятих схемотехнічних та алгоритмічних рішень використані наступні методи дослідження: методи математичної статистики – для дослідження енергоспоживання водовідливних систем залізрудних шахт; методи розрахунку електричних кіл – для розрахунку потужності гідрогенераторної установки при перетворенні енергії перекачуваної води в електричну енергію.

Наукова новизна. Вперше оцінена техніко-економічна ефективність та запропоновано напрямок підвищення енергоефективного функціонування насосних установок водовідливних систем в умовах вітчизняних залізрудних шахт шляхом використання їх у зворотному гідро-акумуляторному режимі і тим самим перетворення частини енергії технічної води в електричну енергію для живлення підземних споживачів.

Практична значимість. Застосування гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками шахт і кар'єрів дозволяє в години максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) виробляти електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти (кар'єру), поповнюючи водозбірник.

Результати. Покращення ефективності роботи системи енергопостачання залізрудних шахт реструктуризувавши її зі структури централізованого в варіант структури електропостачання з розсередженою генерацією, що дозволить знизити витрати напруги та потужності, підвищити коефіцієнт потужності, а також знизити матеріальні затрати.

Ключові слова: водовідлив, шахта, гідро-акумулятор, перетворення енергії, електроенергоефективність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-157-164

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із реальних та ефективних заходів для підвищення енергоефективності підприємств є використання особистих паливно-енергетичних ресурсів для автономних джерел живлення енергоприймачів [1-3]. Тобто системи енергопостачання підприємств реструктуризуються з централізованих структур у структури з розсередженою генерацією. Як факт, підкреслюємо, що в Україні в 2016 році лише 0,01 % електроенергії вироблялось нетрадиційними джерелами [1]. Проте вже в цьому році, тільки за шість місяців, в Україні за допомогою відновлювальних джерел було вироблено 850 млн. кВт·год електроенергії. Така позитивна динаміка надає поштовх для подальшого розвитку засобів та методів вироблення електроенергії з відновлюваних джерел і перш за все це стосується енергоємних підприємств до яких відносяться гірничо-металургійні виробництва [4-7].

В цьому спрямуванні, одним з нереалізованих напрямків є використання гідроакумулюючих установок підприємств гірничо-металургійної промисловості. У підземних виробках шахт, кар'єрів та рудників згідно технології ведення робіт та правил техніки безпеки (ПТБ) постійно працюють водовідливні (дренажні) установки. Більше того, водовідливні установки функціонують і на відпрацьованих та законсервованих шахтах у тому ж режимі що і під час видобутку залізрудної сировини [8, 9].

Залізрудні підприємства, увійшовши в новий економічний період, дещо змінили своє ставлення до електроенергетичної складової економіки своїх підприємств. Більш того, як відомо, форма розрахунків підприємств за спожиту ЕЕ за цей період змінилася, і істотно, перейшовши від двох ставкових тарифів до одного ставкового з диференційованою оплатою в часи доби [9].

Підприємства намагаються в основному за рахунок організаційних заходів будувати добовий графік електроенергоспоживання таким чином, щоб в нічну зміну працювали найбільш енергоємні агрегати: водовідлив, частково скіпової підйом, тоді як у поза піковий час – інші споживачі.

Найбільше споживання електричної енергії в години «пік» і «напівпік» доводиться на водовідлив, частка якого по окремих шахтах сягає майже 90% в нічні години.

Таким чином, споживання підприємства в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і, відповідно, знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності і ін.

Аналіз досліджень і публікацій. Незважаючи на прийняття різнонаправлених заходів в останні роки, проблеми вітчизняних гірничовидобувних підприємств збільшилися [3]. Це пов'я-

зано з тим, що в умовах поступової інтеграції України в Європейські ринкові структури надзвичайно гостро постають питання забезпечення енергоефективних технологій на зазначених вище видах підприємств, що мають можливість підвищити конкурентоспроможність рівня продукції.

Вирішення проблеми зменшення собівартості видобуваної ЗРС, в т. ч. шляхом зменшення енергопотреб на цей процес завжди було і є актуальною [4], тому і привертало до себе увагу наукових дослідників в різні періоди часу [5]. Між тим, рівень актуальності аналізованої проблеми з впливом часу не зменшився, а навпаки, зріс [6].

Пов'язано це з тим фактом, що енергопотреба в загальній собівартості видобутку ЗРС постійно зростає, і в останнє десятиріччя перевищила поріг у 30 % [4].

Нажаль, незважаючи на такий негативний факт, обсяг наукових пошуків у цьому напрямку в Україні за десять років зростання потреб не зріс. В зв'язку з цим вітчизняні залізрудні підприємства виходячи, в основному, зі своїх можливостей нерідко шляхом прийняття апріорно організаційних заходів, роблять спроби впливу на цей процес [7]. Особливо це стосується питань контролю за рівнем енергоспоживання, зменшення витрат електричної енергії в цехових системах живлення, оптимізації добових навантажень і т. п.

Безумовно, що ці вкрай необхідні напрямки досліджень, стосуються необхідності оцінки потенціалу можливостей застосування в системах енергопостачання даних видів підприємств автономних джерел генерації електроенергії (ЕЕ) на основі відновлюваних джерел [8]. Між тим, потенціальні можливості в структурах технології видобутку ЗРС існують. Це апріорно доведено в ряді відомих досліджень, в тому числі авторів [9].

Постановка завдання. Оцінка і визначення реальних техніко-економічних можливостей підвищення економічної ефективності роботи водовідливних установок діючих та законсервованих залізрудних підприємств за рахунок переведення їх роботи з пікових в економічну зону доби, а також застосування їх в якості гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками.

Викладення матеріалу та результати. Використання енергії води для створення джерел електричної енергії за остання роки знову стало актуальною темою [10]. Відносно гірничих підприємств, то тут є позитивні моменти в цьому спрямуванні. Перш за все це стосується водовідливних установок шахт і кар'єрів. Водовідливні (дренажні) установки гірничих підприємств за призначенням підрозділяють на головні (центральні), допоміжні (дільничні) і тимчасові (прохідницькі). До головних відносяться установки, призначені для перехоплення і відкачування всього або більшої частини очікуваного припливу води з підземних гірничих виробок на поверхню в спеціальні водосховища технічних вод. Дільничні і прохідницькі забезпечують перекачку води з відповідних дільниць у центральний водовідлив.

З цієї класифікації основними виглядають центральні водовідливні установки, які отримують живлення від мережі напругою 6 кВ і являють собою об'єкти значного рівня енергоємності споживання в середньому до 40 % від загально споживаної електроенергії залізрудною шахтою (рис.1).

Головний водовідлив кожної сучасної діючої залізрудної шахти, розміщується на 2-х–3-х підземних горизонтах і складається з 4-х ступенів, яка включає в себе: водозбірники, насосну камеру, камеру підстанції і т. ін. Окрім діючих, водовідливи в повному обсязі функціонують і на непрацюючих (законсервованих) шахтах, що додатково підкреслює необхідність відповідної уваги до цієї структури як джерела електроспоживання.

В залізрудних шахтах кожна насосна камера водовідливу облаштовується стаціонарними насосними агрегатами, які складаються з: насоса ЦНС-300, електродвигуна, вакуум бака, запірної арматури і т. д.

Кількість насосних агрегатів і їх потужності кожного ступеня на кожній з шахт визначаються проектом.

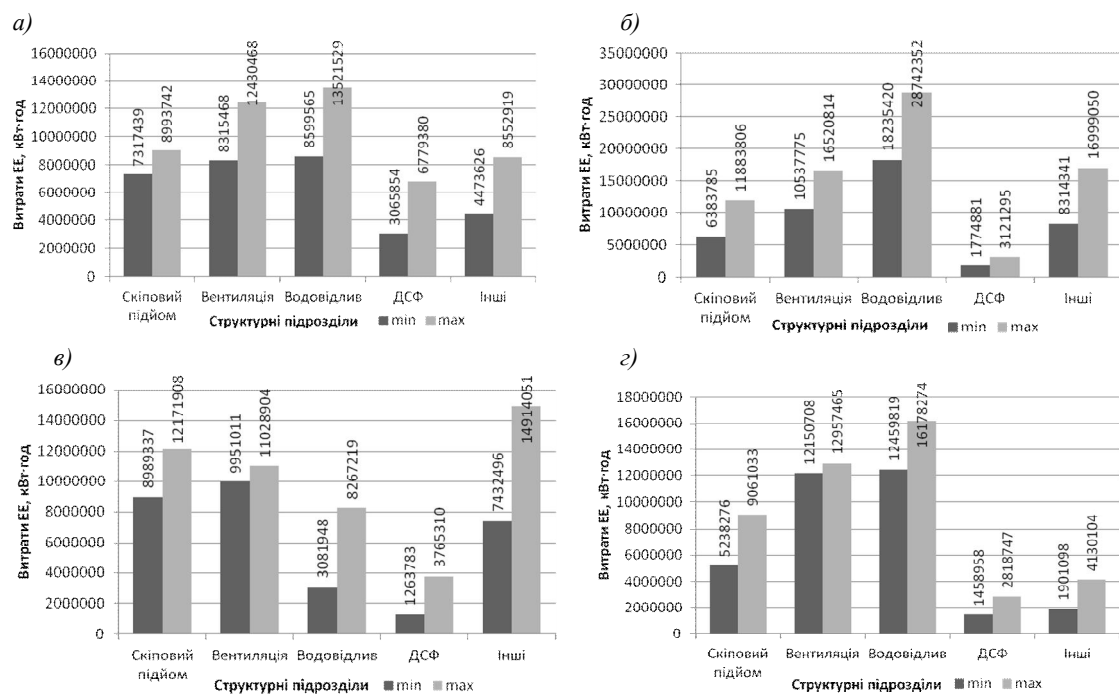


Рис. 1. Коливання споживання електричної енергії (кВт/год) за видами споживачів шахти «Жовтнева» за період 2013 – 2018 рік (м. Кривий Ріг): а- шахта «Жовтнева»; б- шахта «Родіна»; в- шахта «Гвардійська»; г- шахта «Тернівська»

Встановлені потужності електродвигунів водовідливних установок ряду залізрудних шахт представлені в табл. 1.

Кількість і потужність електродвигунів на шахтах м. Кривий Ріг

Таблиця 1

Шахта	Двигуни		
	потужність, кВт	кількість, шт.	загальна встановлена потужність, кВт
Тернівська	800	9	7200
	315	4	1260
	250	4	1000
	Усього 9460		
Гвардійська	800	9	7200
	630	3	1890
	500	1	500
	315	3	945
Усього 10535			
Октябрьська	800	8	6400
	400	8	3200
	Усього 9600		
Родіна	800	20	16000
	560	6	3360
	Усього 19360		

Відкачування води з підземних горизонтів рудних шахт здійснюється непротим за структурою і режимом роботи електромеханічним гідроенергетичним комплексом. Ця складність полягає в тому, що, по-перше, водоприток в шахтах і обсяги води для відкачування непостійні в часі, по-друге, що триває так звана «мокра консервація» відпрацьованих шахт, з одного боку, «збійка», тобто з'єднання підземних горизонтів різних шахт в єдиний комплекс, з іншого – поглиблення, тобто зниження рівня ведення гірничих робіт, ставить тактику вирішення завдання вибору раціональних режимів роботи водовідкачуючих насосів як електромеханічних комплексів, вимушених функціонувати в багатокритеріальному алгоритмі з невстановленим прогнозом [7].

Водовідлив – приймач ЕЕ, режими та рівні споживання якого фактично не залежать від обсягів видобутку ЗРС, а в основному від природного рівня притоку підземних вод. Як видно з наведених графіків об'єми відкачаної водовідливними установками води не мають стійкої за-

лежності від видобутку залізорудної сировини, а в останні роки при незначному зниженні цих обсягів має місце незначне підвищення водопритоку.

Обсяги водопритоку по залізорудним шахтам Криворізького залізорудного басейну представлені на рис.2.

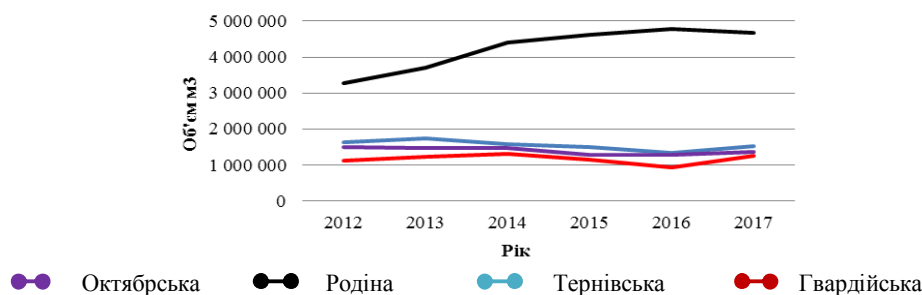


Рис. 2. Обсяги водопритоків по ряду залізорудних шахт

Як свідчить аналіз показників (рис.2), різниця обсягів водопритоків по аналізуємих шахтам сягає майже 2-х разів. Це суттєво впливає на обсяги споживання ЕЕ кожного суб'єкта.

Подальші дослідження режимів та параметрів функціонування водовідливних установок залізорудних шахт упродовж років дали можливість зробити висновок, що споживання електроенергії ними не залежить від календарного місяця року і має вірогідний характер.

Для поглиблення аналізу параметрів функціонування водовідливів шахт використовують такий параметр водо притоку, що являє собою співвідношення оберту річного водопритоку (m^3) до обсягу річного видобутку ЗРС (рис.3).

Як свідчить графік рис.3. цей коефіцієнт не постійний і по окремим шахтам (ш. «Родіна») характеризується значним рівнем коливань. Це додаткова складова в виборі параметрів пошуку для вирішення проблеми поліпшення енергоефективності конкретної шахти.

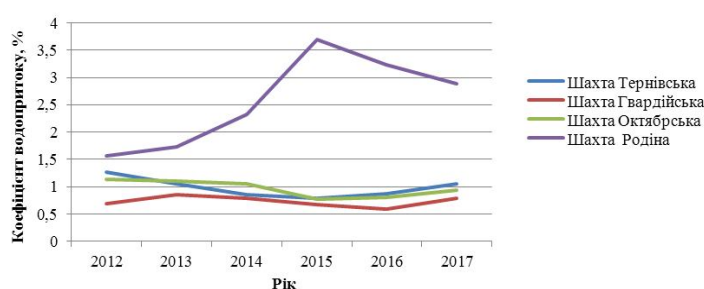


Рис. 3. Коефіцієнт водопритоку по шахтам м. Кривий Ріг

Аналіз роботи водовідливних установок упродовж однієї доби по різним залізорудним шахтам показує, що рівні споживання електроенергії головними водовідливними значно коливаються і стійкої залежності не мають.

Враховуючи значні рівні енергетичних потужностей головних водовідливів залізорудних шахт та їх системоутворюючі, які є значними в загальних обсягах споживання ЕЕ шахтою, логічно виглядає рішення по оптимізації графіків роботи насосних агрегатів, а значить і споживання енергії перш за все в годинах доби – згідно добових тарифів за спожиту енергію.

Цю аксіому підприємства вирішили і продовжують вирішувати в розрізі комплексу заходів з енергозбереження. Більш того, ця превентивна міра дозволила підприємствам отримати значний ефект (біля 18 %) шляхом економії матеріальних затрат за спожиту водовідливом ЕЕ.

Дійсно, аналіз роботи водовідливних установок за добу за останні роки дозволяє зробити висновок, що більшість шахт Криворізького залізорудного басейну роботу водовідливів перепланували з метою збільшення роботи у нічні години у зв'язку з можливістю зниження витрат при розрахунках за електроенергію.

Внаслідок роботи насосних водовідливних установок в нічній зоні, хоча її тривалість становить 7 годин, споживання електричної енергії складає 40-55 %, а в години «пік», тривалістю 6 годин – 22 %. Тобто, водовідлив є одним з найбільших споживачів електричної енергії в години «пік». У нічні години на шахтах згідно реальних можливостей планується наскільки це можливо максимальна по потужності робота водовідливних установок. Як показав аналіз роботи водовідливу по зонах доби за останні роки планові і фактичні показники майже зрівнялися і сягають максимальних значень – 50 % .

Аналіз показує, що не всі насоси працюють постійно, а деякі з загального комплексу включаються раз або кілька разів на добу для відкачування води. Коли водозбірники мають достатній обсяг для накопичення води, то відкачування води здійснюється повністю в нічний час (ш. «Гвардійська»). Коли цей обсяг не достатній для збору всієї води, то персонал змушений включати водовідливні установки і в денний час (ш. «Родіна» і ш. «Октябрська»).

Максимальний ефект досягається, якщо в нічні години вода повністю відкачується, а в інші години доби насоси не включаються. Але для цього необхідно мати достатній обсяг водозбірників (що проблематично згідно технології ведення гірничих робіт) і запас продуктивності насосів.

Між тим, аналіз проведений авторами показав, що і при такому підході не весь потенціал в плані втілення цих мір в шахтах використано.

Більш того, прогноз очікуемого росту обсягів водопритоку по факту збільшення глибини видобутку ЗРС в недалекому майбутньому може мінімізувати ці «організаційні досягнення». Між тим, поки що не проаналізовано і не вичерпана інша природна можливість шахтних водовідливів а саме можливість їх працювати у варіанті оборотних гідроагрегатів. Тобто не тільки споживати ЕЕ, а й ще виробляти її для потреб підземних приймачів. Як буде доведено далі тут є значні можливості.

В цьому варіанті перш за все змінюється структура системи електропостачання шахти трансформуючись з варіанта централізованого електропостачання в варіант схеми з розсередженою генерацією (з двома незалежними джерелами живлення).

В такому варіанті в часи максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) генератор виробляє електроенергію за рахунок енергії води, що спускається з поверхні шахти або кар'єру, поповнюючи водозбірник.

Споживання підприємства в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і відповідно знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності та ін.

У нічні години, коли ціна електроенергії мінімальна, включаються насоси водовідливу і відкачують воду з водозбірників, що накопичилася як від природного припливу, так і від роботи гідрогенератора.

Розглянемо енергетичні складові процесу.

Потенційна енергія води, що знаходиться на поверхні шахти або кар'єра дорівнює

$$W_{вод} = mgH, \text{ Дж}; \quad (1)$$

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6, \text{ кВт. год};$$

$$W_{вод} = V \cdot H / 360, \text{ кВт. год};$$

де m - маса води, кг; g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; H - статичний напір або різниця геодезичних відміток, м.

У гідрогенераторній установці енергія води перетворюється в електричну енергію, кВт. год

$$W_{ед} = W_{вод} \cdot \eta_{ген}, \quad (2)$$

де $\eta_{ген}$ - сумарний к.к.д. гідрогенераторної установки, $\eta_{ген} = \eta_{турб} \cdot \eta_{сг} \cdot \eta_{тр}$, - відповідно к.к.д. турбіни, синхронного генератора, трубопроводів.

Потужність, що відправляється в мережу в години максимуму $t_{макс}$ (дорівнює 6 годинам), кВт. год

$$P_{ген} = W_{ед} / t_{макс} = W_{ед} / 6, \quad (3)$$

Цю ж кількість води буде потрібно відкачати насосними установками, для чого буде потрібно затратити енергію, кВт. год

$$W_{нас} = W_{вод} / \eta_{нас}, \quad (4)$$

де $\eta_{нас}$ - сумарний к.к.д. насосної установки, $\eta_{нас} = \eta_{дв} \cdot \eta_{нас} \cdot \eta_{тру}$ - відповідно к.к.д. двигуна, насосу, трубопроводів.

Потужність, споживана з мережі в нічні години $t_{ніч}$ (дорівнює 7 годинам), кВт.год

$$P_{потр} = W_{нас} / t_{ніч} = W_{нас} / 7, \quad (5)$$

Економія в оплаті електроенергії складе, грн.

$$E = W_{ел} \cdot C_{макс} - W_{нас} \cdot C_{ніч} , \quad (6)$$

де $C_{макс}$ - вартість 1 кВт.год в години максимуму енергосистеми; $C_{ніч}$ - вартість 1 кВт.год у нічні години.

З урахуванням складових вираз можна представити, грн.

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6 \cdot (C_{макс} \cdot \eta_{ген} - C_{ніч} \cdot \eta_{нас}) , \quad (7)$$

У загальному випадку економія пропорційна масі води і перепаду висоти.

Таким чином, можуть бути використані високонапорні гідрогенератори які використовуються для малих гідроелектростанцій у високогірній місцевості. При незначних перепадах висоти можуть бути використані зворотні установки, які працюють як в генераторному, так і в насосному режимі.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Одним з реальних напрямків подальшого підвищення енергоефективності видобутку залізорудної сировини є застосування на базі водовідливних установок шахт та кар'єрів оборотних гідроагрегатів (міні гідроакумулюючих електростанцій) – джерел розсередженої генерації електричної енергії в структурах систем енергопостачання гірничих підприємств. При такому варіанті виробництва електроенергії достатньо для забезпечення живлення енергоємних споживачів залізорудної шахти на протязі годин «ПШК».

2. Для отримання електроенергії в режимі гідроаккумуляції в шахтах необхідна установка додаткових водозбірників і реструктуризація системи електропостачання, що не може бути проблемою в досягненні поставленої мети.

Список літератури

1. **Стогній Б.С.** Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року/ Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Негодуйко В.О., Пертко П.П., Блінов І.В. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.

2. **Сінчук О.М.** Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. / **О.М. Сінчук, А.Г. Бажал** – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.

3. **Сінчук О.М.** Метод оцінювання ефективності споживання електричної енергії залізрудними підприємствами / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Берідзе Т.М., Ялова А.М. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Одеський НПУ. – 2013. – С.49-57.

4. **Сінчук І.О.** Відновлювальні та альтернативні джерела енергії: Навчальний посібник/**І.О.Сінчук, С.М.Бойко, О.Є.Мельник**// навчальний посібник – Кременчук:Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270 с.

5. **Сінчук О.М.** Факторний простір і дослідження процесу споживання електричної енергії залізрудними підприємствами/ Сінчук О.М., Сінчук І.О., Ялова О.М., Вінник М.А. // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков, 2015. - №2/1(22) – С. 48 – 55.

6. **Sinchuk I.O., Kasatkina I.V., Baranovska M.L.** Usage of hydro-accumulating installations in the power supply system of mining companies. Computer Science, Information Technology and Automation – 2017, Вип . 6. – С.1-11.

7. **Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н.** Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015, №1. С. 88-96.

8. **Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Бобріков І.О., Краснопольський Р.І.** Створення оборотних гідроагрегатів ГАЕС в структурі систем енергопостачання залізрудних підприємств. **Международный научный журнал "ScienceRise"** Издатель: НПП ЧП «Технологический Центр» DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/2313-8416>, SSN 2313-8416 (Online), ISSN 2313-6286 (Print), 2017, с. 29-36.

9. **Сінчук О.М., Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Краснопольський Р.І.** Водовідливи залізрудних шахт та кар'єрів – база для створення гідроакумулюючих електростанцій. International research and practice conference “Modern method, innovations, and experience of practical in the field of technical sciences”: Conference proceedings, December, 27-28 2017. Radom: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2017. с.63-66.

10. **Сокол С.І.** Створення оборотних гідроагрегатів Дністровської ГАЕС для підвищення енергоефективності об'єднаної енергетичної системи України, С.І.Сокол, А.К.Царюк, О.Ю.Черкаський, О.О.Линник, Г.І.Шенко, І.Г.Сирота, В.В.Галат, О.М.Вакуленко, Т.С.Іерусалімова/Під загальною редакцією члена-кореспондента НАН України, д.т.н., проф. Сокола Е.І. – Харків: - 2017, ФОП Панов А.М., 236 с. ISBN 978-617-7541-18-8.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018