

9. Развитие систем автоматизации от SCADA к MES на базе современных технологий от Invensys Wonderware [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://www.remmag.ru/admin/upload\\_data/remmag/07-5/Klinkmann.pdf](http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/07-5/Klinkmann.pdf)

10. Официальный сайт Wonderware [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.wonderware.ru>.

11. Опыт внедрения MES-системы Wonderware на металлургическом заводе [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://mescenter.ru/mesaconf/presentations/mesa2009\\_127\\_kondratiev\\_wonderware.pdf](http://mescenter.ru/mesaconf/presentations/mesa2009_127_kondratiev_wonderware.pdf).

12. Wonderware MES 2014 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://wonderwarepacwest.com/uploads/2014/10/MES2014.pdf>.

13. Production and Inventory Management is an Integral Part of Wonderware MES/Operations [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.wonderware.com/manufacturing-operations-management/manufacturing-execution-svstem-operations/>.

14. Wonderware MES 4.0/Operations and Performance Software [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://software.schneider-electric.com/pdf/datasheet/wonderware-mes-4-operations-and-performance-software/>.

15. Wonderware MES - Managing the transformation of materials into finished products in real time [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://software.schneider-electric.com/pdf/datasheet/wonderware-mes-operations/>.

16. Jämsä-Jounela S-L., Current status and future trends in the automation of Mineral and Metal Processing, 2001, Control Eng. Practice, (9), pp 1019-1024.

17. L.G. Bergh, P. Chacana and C. Carrasco, Diagnosis and control strategy for a teniente converter, 2005, Caletones Smelter, El Teniente Division, Codelco-Chile.

Рукопис подано до редакції 20.03.17

УДК 621.314

И.О. СИНЧУК, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ МИНИЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В КОМПЛЕКСЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Цель.** Целью работы является оценка возможностей, уровня целесообразности и эффективности включения в структуру систем электроснабжения железорудных шахт автономных источников электрической энергии – мини-гидроаккумулирующих электростанций на базе водоотливных установок.

**Методы исследования.** Анализ реальных графиков потребления электрической энергии железорудными предприятиями, на примере железорудных шахт Криворожского железорудного бассейна. Оценка разниц в оплате за потребляемую предприятиями энергию в ночное и дневное время.

**Научная новизна.** Обосновано направление реализации этого процесса путем применения автономных источников производства электрической энергии в структуре систем электроснабжения железорудных предприятий. Предлагается использовать в структуре систем энергосбережения железорудных предприятий энергию солнца и воздуха.

**Практическая значимость.** Учитывая, что одним из значимых по уровню потребления электрической энергии является процесс откачки воды с подземных горных выработок – водоотлив, предложено использовать этот комплекс для выравнивания графика потребления электрической мощности, для чего, в частности, как вариант, рекомендовано использовать гидроаккумулирующие миниэлектростанции.

**Результаты.** Применение минигидроэлектростанций использующих энергию естественного водопритока в системах электроснабжения железорудных шахт позволило существенно выравнивать суточные графики электропотребления, повысить эффективность использования энергии и значительно снизить оплату генерирующим организациям за потребленную электроэнергию этих видов предприятий.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, гидроаккумуляция, электрическая энергия, горные предприятия, энергосбережение.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-45-51

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Крупнейшим источником добычи (около 90% общегосударственного), наличия потенциала и обеспечения основной части экспорта железорудного сырья (ЖРС) (до 65%) в Украине служит и будет служить еще минимум 50-85 лет Криворожский железорудный бассейн [1,2]. За почти 250 лет добычи в Криворожском регионе ЖРС глубины добычи при подземном способе достигли запроектных значений 1500-1750 м с перспективой до 2500 м, а в карьерах практически до 500 м [3,4]. Эти показатели, наряду с другими факторами, в силу естественных причин, внесли свои значимые отрицательные коррективы в экономические показатели процесса добычи ЖРС [1].

Понижение глубин добычи ЖРС, а так же ряд других в т. ч. вышеотмеченных технологиче-

ских факторов, в комплексе возникающих, да и обреченных на дальнейшее возникновение экономических проблем, влияют, прежде всего, на уровень себестоимости добываемого ЖРС [1].

Так, только за последние годы себестоимость добычи ЖРС в Украине при подземном способе возросла [1]. Вместе с тем, в этот период времени цены на ЖРС на мировом рынке сырья обрели тенденцию к снижению. Особенно неблагоприятным в этом плане выглядел 2015 г., когда цена на ЖРС упала по сравнению с максимальной за последние 10 лет - в 2011 г., на 60%, что привело к тому, что рентабельность реализованной продукции железорудными предприятиями Украины за это время снизилась в среднем более, чем в 2 раза [1].

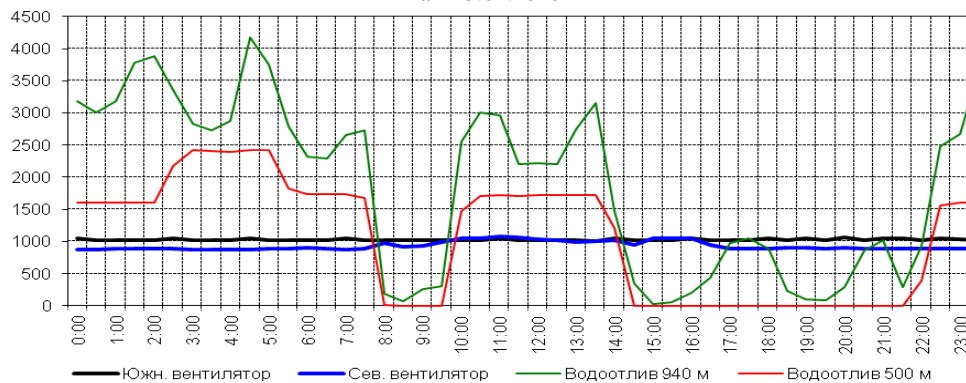
**Анализ исследований и публикаций.** Как показал анализ [1, 4], около 33 % от общего объема слагаемых себестоимости добываемого ЖРС составляет сегмент энергозатрат. В свою очередь около 90 % при подземном способе добычи ЖРС и более 50% при открытом – составляют электроэнергозатраты [5].

Вышеприведенные цифры еще более впечатляют по факту неравномерности графиков потребления электрической энергии (ЭЭ) горнорудными видами предприятий. Особенно это характерно для подземных способов добычи, где разброс уровней колебаний потребления электрической энергии самый высокий из всей гаммы отечественных промышленных предприятий. Как свидетельствуют результаты исследований проф. А. В. Праховника и проф. В. П. Розена по этому показателю железорудные предприятия превосходят в несколько раз своих прототипов – угольных шахт [6,7]. В силу нынешней ситуации по разнице в уровнях оплаты предприятий за потребляемую ЭЭ в течение суток, когда разница между «ночным» тарифом и тарифом в часы «пик» достигает более, семи кратных значений, предприятия активно реализуют части своих «энергопроектов» в направлении перевода ряда энергоемких потребителей ЭЭ на функционирование их в ночное время. И это действительно дало свои положительные результаты.

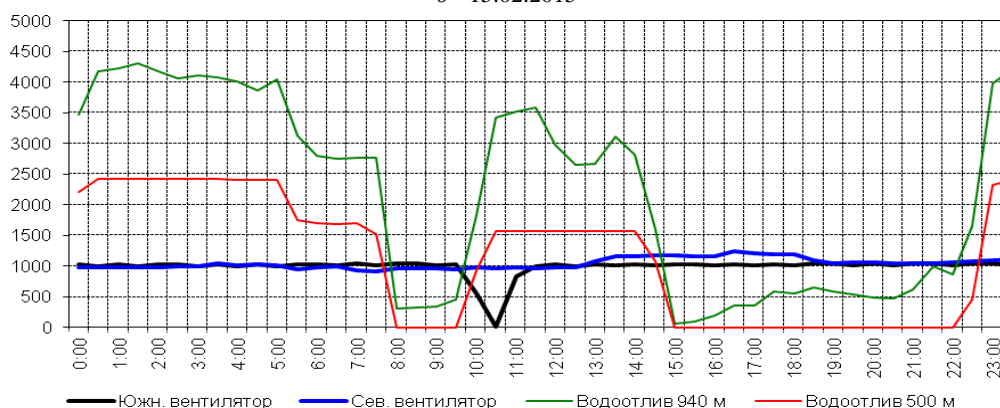
**Постановка задачи исследований.** Целью работы является оценка возможностей, уровня целесообразности и эффективности включения в структуру систем электроснабжения железорудных шахт автономных источников электрической энергии – минигидроаккумулирующих электростанций на базе водоотливных установок.

**Изложение материала и результаты.** На рис. 1,2 представлено семейство организационно оптимизированных графиков потребления ЭЭ отдельных железорудных шахт Криворожского железорудного бассейна за несколько последних лет.

а - 15.02.2016



б - 15.02.2015



в - 15.02.2014

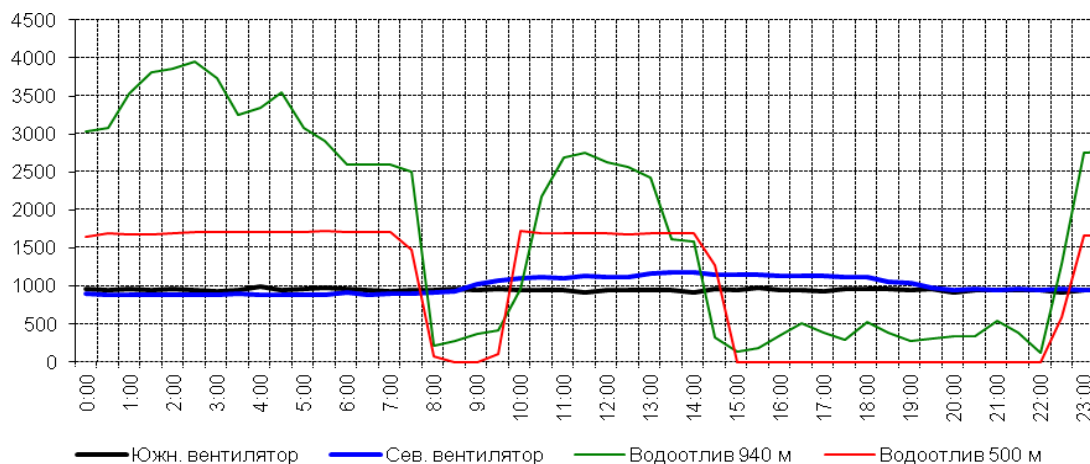
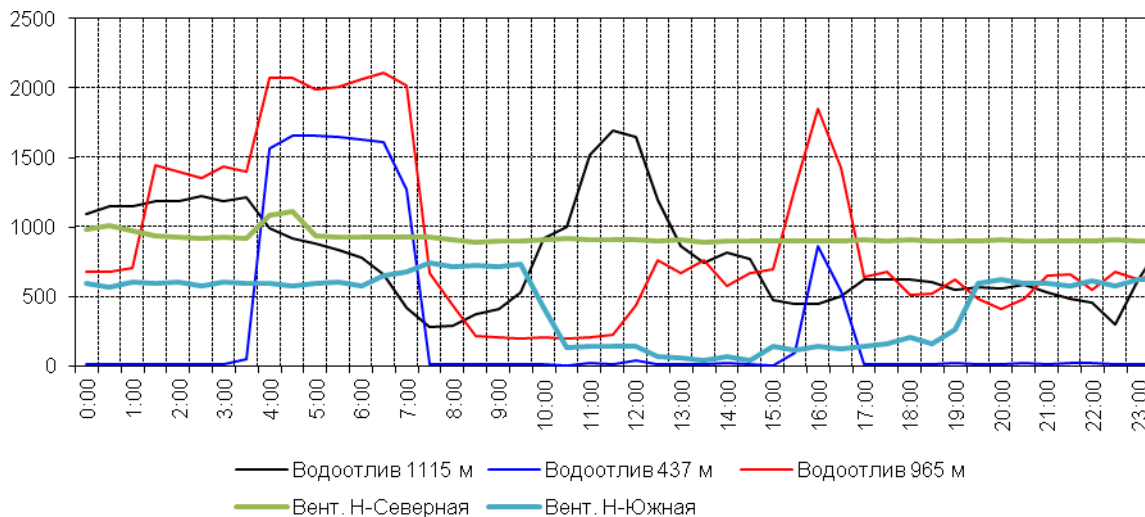
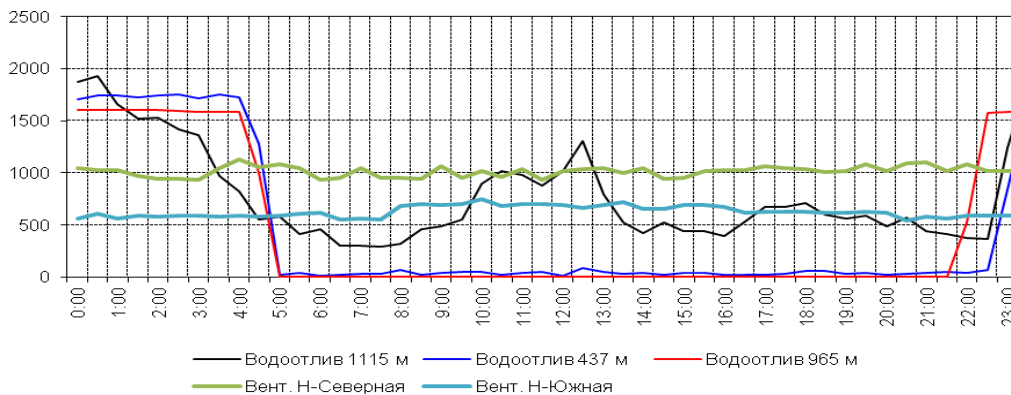


Рис. 1. Уровни суточного потребления электрической энергии отдельными энергоемкими подземными потребителями ш. Родина (г. Кривой Рог)

а - 15.02.2014



б - 15.02.2013



в - 15.02.2012

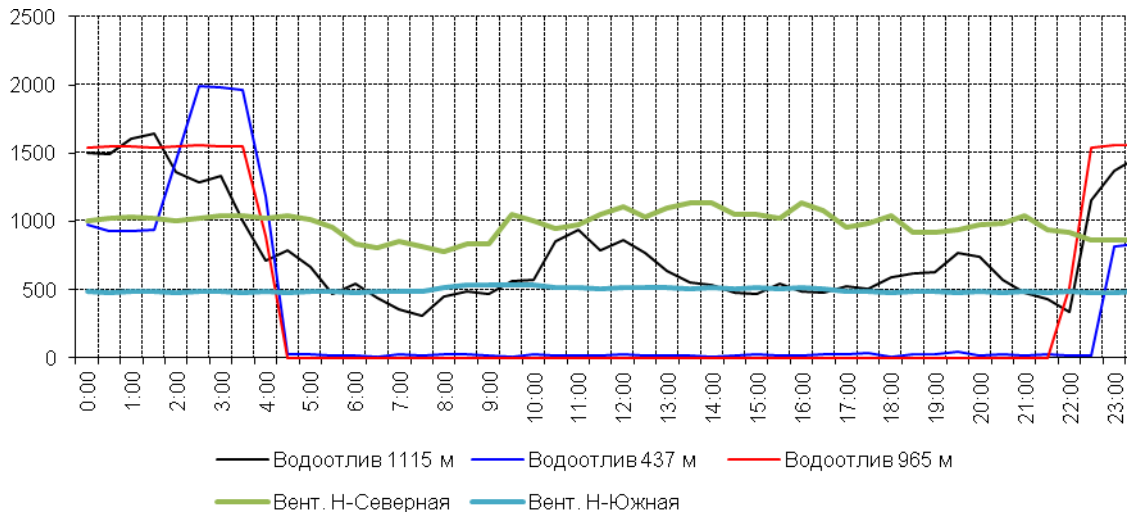


Рис. 2. Уровни суточного потребления электрической энергии отдельными энергоемкими подземными потребителями ш. Октябрьская (г. Кривой Рог)

Как следует из приведенных графиков в отдельные моменты суток, в силу приведенных организационных мероприятий уровни потребления ЭЭ водоотливными установками шахт сведены до минимума в дневные часы: пик, полупик. Однако в данный временной период эти «оргмеры» практически исчерпаны, а колебания уровней потребления ЭЭ железорудными предприятиями все еще далеки от оптимально ожидаемых.

Вместе с тем, наряду с приведенными превентивными по своему характеру мерами для дальнейшего устранения этого экономически неблагоприятного для предприятий факта в последнее десятилетие активно, исследуются возможности применения в структурах их систем электроснабжения так называемых возобновляемых автономных источников ЭЭ [8].

В частности, в ряде научных изысканий предлагается использовать в структуре систем энергосбережения железорудных предприятий энергию солнца и воздуха [8]. Это должно и может дать определенный эффект, но, к сожалению, уровень ожидаемости этого эффекта вряд ли будет столь значимым.

Вместе с тем, пока мало исследованным представляется потенциал энергии воды, которая присутствует в значительном количестве во всех горных выработках горных предприятий из-за наличия подземных вод.

При этом процесс добычи ЖРС, как в прочем и любого другого вида полезных ископаемых, подземным или открытым - карьерным способом сопровождается необходимостью естественной откачки подземных вод, накапливаемых в горнорудных выработках, на поверхность в специальные водосборники.

Этот процесс обеспечивается так называемыми водоотливными установками.

При этом важно, что уровни притока подземных вод в горных выработках не зависят от объемов добычи ЖРС, а определяются исключительно природой миграции подземных вод.

В последние годы предприятия одного региона искусственно пытаются изменять приток воды в той или иной шахте путем создания единого водоотливного коллекторного центра, в т. ч. используя для этого отработанные или законсервированные шахты.

Но и в этом случае количество водопритока, а следовательно объема откачки воды, а значит и энергозатрат на этот процесс, не уменьшается.

Последние, в лучшем случае, остаются прежними, хотя, как правило, по факту увеличиваются и значительно в силу необходимости наличия дополнительных перекачивающих комплексов.

На рис. 3 представлены действующие схемы откачки воды с конкретных железорудных шахт. Как видим, даже структурно, это непростой процесс, который, как отмечалось выше, сопровождается значительным от 20 до 53% уровнем общего объема потребления электрической энергии подземными потребителями железорудной шахты [5], т.е. априори по виду, но реально

по факту, ракурс тактики по использованию автономных источников ЭЭ, базирующихся на возобновляемых источниках, в структуре систем электроснабжения железорудных предприятий следует направить на комплекс системы откачки подземных вод путем создания минигидроаккумулирующих электростанций.

При этом, для достижения максимального эффекта необходима реализация такого алгоритма работы водооткачивающего комплекса, когда в часы максимума энергосистемы (утреннего и вечернего) этот комплекс вырабатывает электроэнергию за счет энергии воды, спускаемой с поверхности шахты или карьера, пополняя водосборник, а ночью эта вода откачивается на поверхность.

В этом случае уровень потребления ЭЭ предприятием в часы максимума, когда энергия имеет максимальную цену, снижается и соответственно снижается плата за электроэнергию.

Ожидаемо также, что при этом должны быть также улучшены режим работы системы электроснабжения: снижены потери напряжения и энергии, улучшен коэффициент мощности и др.

Рассмотрим энергетические составляющие анализируемого процесса для конкретной шахты с реальными параметрами водопритока (рис. 3).

Потенциальная энергия воды, находящейся на поверхности шахты или карьера

$$W_{вод} = mg \cdot H, \text{ Дж}, \quad (1)$$

$$W_{вод} = \frac{mgH}{3,6 \cdot 10^6} = \frac{VH}{360}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (2)$$

где  $m$  - масса воды, кг;  $g$  - ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $H$  - статический напор или разность геодезических отметок, м;  $V$  - объем воды,  $\text{м}^3$ .

$a$  - ш. «Октябрьская»

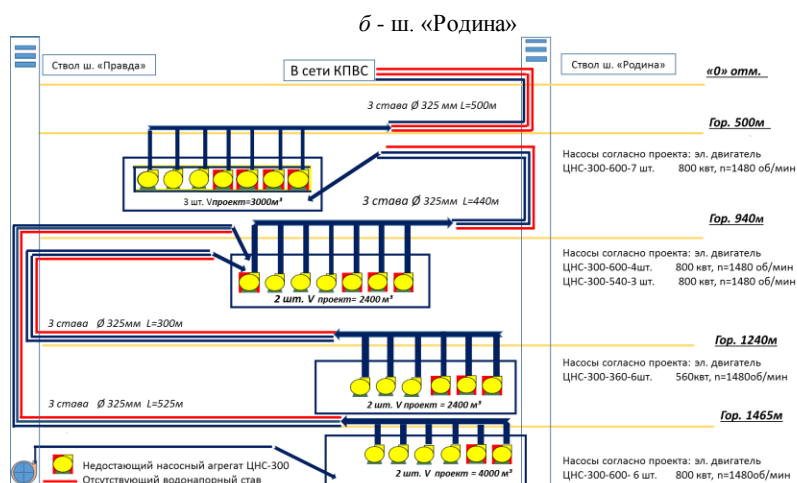
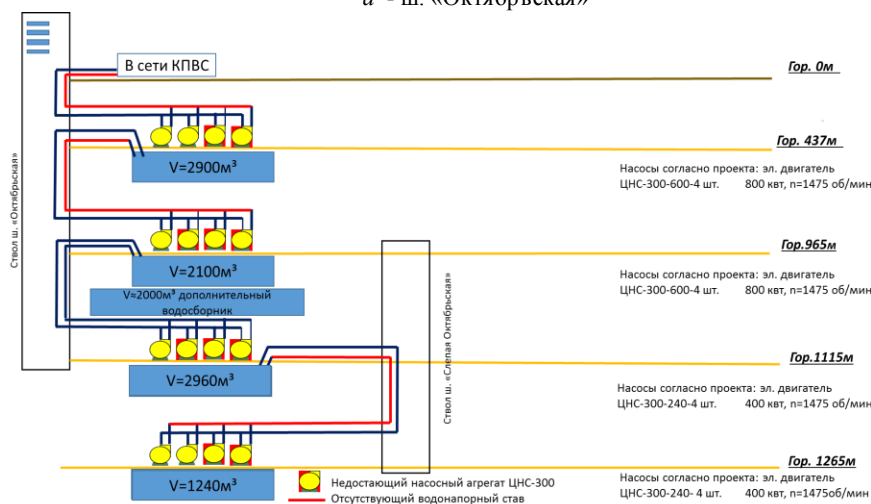


Рис. 3. Схемы водоотлива шахтных вод

В гидрогенераторной установке энергия воды преобразуется в электрическую энергию, кВт·ч

$$W_{эл} = W_{вод} \cdot \eta_{ген}, \quad (3)$$

где  $\eta_{ген}$  - суммарный КПД гидрогенераторной установки:  $\eta_{ген} = \eta_{турб} \cdot \eta_{сг} \cdot \eta_{труб}$  - соответственно КПД турбины, синхронного генератора, трубопроводов.

Мощность, отдаваемая в сеть в часы максимума ( $t_{пик} = 6$  час), кВт

$$P_{ген} = \frac{W_{эл}}{t_{макс}} = \frac{W_{эл}}{6}. \quad (4)$$

Это же количество воды потребуется откачать насосными установками, для чего потребуется затратить энергию, кВт·ч

$$W_{нас} = \frac{W_{вод}}{\eta_{нас}}, \quad (5)$$

где  $\eta_{нас}$  - суммарный КПД насосной установки;  $\eta_{нас} = \eta_{дв} \cdot \eta_{нас} \cdot \eta_{труб}$  - соответственно КПД двигателя, насоса, трубопроводов.

Мощность, потребляемая из сети в ночные часы ( $t_{ноч} = 7$  час), кВт

$$P_{потр} = \frac{W_{нас}}{t_{ноч}} = \frac{W_{нас}}{7}. \quad (6)$$

Экономия в оплате электроэнергии составит, грн

$$\Delta = W_{эл} \cdot C_{пик} - W_{нас} \cdot C_{ноч}, \quad (7)$$

где  $\Delta = W_{эл} \cdot C_{пик} - W_{нас} \cdot C_{ноч}$  - стоимость 1 кВт·ч в часы максимума энергосистемы;  $\Delta = W_{эл} \cdot C_{пик} - W_{нас} \cdot C_{ноч}$  - стоимость 1 кВт·ч в ночные часы.

С учетом составляющих выражение можно представить, грн.

$$\Delta = \frac{mgH}{3,6 \cdot 10^6} \left( C_{макс} \eta_{ген} - \frac{C_{ноч}}{\eta_{нас}} \right). \quad (8)$$

В общем случае экономия пропорциональна массе перекачиваемой воды и перепаду высоты, а для концентрации воды, откачиваемой с горных выработок ночью и предполагаемого реверса днем, необходимо наличие водосборника на дневной поверхности объемом около 6000 м. По факту такие водоприемники уже имеются в структурах отечественных шахт.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** 1. Применение минигидроэлектростанций использующих энергию естественного водопритока в системах электроснабжения железорудных шахт позволит существенно выравнять суточные графики электропотребления, повысит эффективность использования энергии и значительно снизить оплату генерирующим организациям за потребленную электроэнергию этих видов предприятий.

2. Реализация в практику работы горнорудных предприятий предложенных мероприятий в ближайшей перспективе, к примеру, применительно к конкретной шахте – ш. «Родина» (ПАО «Кривбассжелезрудком») позволит получить годовой экономический эффект, равный уровню 3-х месячной платы за электроэнергию конкретной шахты.

#### Список литературы

1. Дослідження техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України та ефективності їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізорудної сировини: [монографія] / [С.К. Бабець та ін. ; за ред. С.К. Бабця]; НДГРІ ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг: Вид. Роман Козлов, 2015. – 391 с.
2. Сінчук О.М. Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження / О.М. Сінчук, А. Г. Бажал. – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.
3. Ковшуля А.А. Рациональная глубина разработки криворожских месторождений богатых железных руд / А.А. Ковшуля // Металлургическая и горнорудная промышленность Украины. – 1963. – №4. – С. 34–37.
4. Азарян А.А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою керування та оптимізації гірничорудних виробництв // А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул, Ю.П. Капленко, Ф.І. Караманиць, В.О. Колосов, В.С. Моркун, П.І. Пілов, В.Д. Сидоренко, А.Г. Темченко, П.Й. Федоренко. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 261 с.
5. Сінчук О.М. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения : [монография] / О.М. Сінчук, И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко. – Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH, 2016. – 346с.
6. Праховник А.В. Исследование электрических нагрузок и разработка экономически целесообразных графиков электропотребления ЦПП угольных шахт: дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 05.281 / А.В. Праховник – Киев.: КПИ, 1971. – 192 с.
7. Розен В.П. Оцінювання енергоефективності електроспоживання вугільних шахт / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.І. Волинець // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах. –

Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2012. - С. 130-132.

8. Сінчук О.М. Відновлювані та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник. - Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270с.

Рукопись постуила в редакцию 19.03.17

УДК 33.054.23: [622.013: 622.34]

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., М.П. СЕРГЄЄВА, старший викладач,  
Криворізький національний університет

## **ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВТРАТ БАЛАНСОВО-ПРОМИСЛОВИХ ЗАПАСІВ І РОЗУБОЖЕННЯ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У ЗАЛІЗОРУДНІЙ МАСІ**

**Мета.** Метою даної роботи є розробка метода і методики визначення збитку гірничовидобувному підприємству від величини втрат балансово-промислових запасів і розубоження за вмістом якісних показників корисних копалин, які економічно доцільні з позицій галузі або народного господарства в цілому, на основі визначення мінімуму народногосподарських наслідків від втрат балансово-промислових запасів.

**Методи дослідження.** При виконанні досліджень використано аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень у галузі економічної оцінки від експлуатаційних втрат балансово-промислових запасів, які складаються зі збільшення витрат на виконання частини виробничих процесів, збиток від розубоження за вмістом якісних показників корисних копалин, що визначаємо сумою непродуктивних витрат на видобувні процеси і збагачення, а також зменшення вмісту якісних показників корисного компоненту, який вилучається з надр.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є встановлення збитку від втрат балансово-промислових запасів на конкретному гірничо-видобувному підприємстві, в залежності від того, які можливості для мінливості виробничої потужності по видобутку корисних копалин є на підприємстві при мінливості втрат балансово-промислових запасів. У різних випадках збиток від втрат балансово-промислових запасів визначаємо за різними методами, що враховують відмінності економічних і гірничотехнічних умов.

**Практична значимість.** Розроблена методика визначення збитку гірничовидобувному підприємству в будь-яких гірничо-геологічних умовах і при переході на більш перспективні системи дозволяє знизити втрати балансово-промислових запасів до технічно можливого рівня.

**Результати.** Методика економічної оцінки від втрат балансово-промислових запасів гірничовидобувному підприємству у розрахунку на 1 т балансово-промислових запасів розроблена для умов, коли при різних варіантах видобутку забезпечується однакове річне зниження робіт і погашення балансово-промислових запасів. При різних втрахах балансово-промислових запасів будуть різними виробнича потужність шахти (кар'єру), і витрати, що залежать від виробничої потужності шахти (кар'єру) і збагачувальної фабрики і будуть відрізнятися терміни відпрацювання родовища, покладу, рудного тіла чи дільниці масиву твердих корисних копалин.

**Ключові слова:** запаси, видобування, втрати, розубоження, методика, економічна оцінка.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-51-56

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Існуюча система економічних відносин у цілому така, що економічні інтереси підприємств, галузей і всього народного господарства в області раціонального використання природних ресурсів дуже часто не збігаються. У силу цього й економічна доцільність зниження або збільшення втрат балансово-промислових запасів буде різною для різних рівнів керування. Економічно доцільний з позиції інтересів усього народного господарства рівень використання надр може виявитися не вигідним для гірничовидобувної галузі і навіть збитковим для підприємства. Стосовно до умов економічної політики теперішнього часу, коли на повному госпрозрахунку знаходяться не тільки підприємства, але й галузі, термін «госпрозрахункові наслідки» не можна вважати вдалим. Краще розділити види збитку або економічних наслідків від втрат балансово-промислових запасів на конкретному гірничому підприємстві для наступних трьох рівнів ієрархії, це збиток від втрат балансово-промислових запасів на конкретному гірничовидобувному підприємстві; для даного підприємства; з обліком наслідків для галузі; з урахуванням наслідків для народного господарства в цілому.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Економічно оцінити можна лише ті частини втрачених балансово-промислових запасів, які при сучасному рівні розвитку гірничовидобувного виробництва технічно можливо і економічно доцільно видобувати з надр для використання в народному господарстві. Тому економічними наслідками (збитком або ефектом) від втрат балансово-промислових запасів можна вважати лише цілком реальні, але втрачені можливості одержати пе-