

УДК 621.318.48

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ ГОРНОРУДНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ С ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕЙ

И. О. Синчук, Э. С. Гузов, А. Н. Яловая, М. А. Винник

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: speet@ukr.net

Приведены анализ и оценка уровней потребления электрической энергии отечественными предприятиями с подземными способами добычи железорудного сырья. Показана степень взаимосвязи между объемами добычи и уровнем потребления электроэнергии, доказана необходимость комплексной оценки уровней электроэнергопотребления данных видов предприятий в функции объемов добычи железорудного сырья. Проанализирована структура электроэнергопотребления по видам электроприемников за последние несколько лет. Рассмотрены особенности графиков потребления, обусловленные, с одной стороны, технологией ведения горных работ, а с другой – применением тарифов, дифференцированных по зонам суток. Приведены суточные графики электрических нагрузок наиболее энергоемких потребителей горнорудных предприятий и дан их анализ. Рекомендуются практические мероприятия по повышению электроэнергоэффективности железорудных предприятий.

Ключевые слова: электроэнергия, электроэнергоэффективность, уровни потребления, железорудные предприятия.

ОЦІНКА РІВНІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТЧИЗНЯНИМИ ГІРНИЧОРУДНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ З ПІДЗЕМНИМ ВИДОБУТКОМ

І. О. Сінчук, Е. С. Гузов, А. М. Ялова, М. А. Віннік

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»
вул. XXII Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: speet@ukr.net

Наведено аналіз та оцінку рівнів споживання електричної енергії вітчизняними підприємствами з підземним видобутком залізорудної сировини. Показана ступінь взаємозв'язку між обсягами видобутку й рівнем споживання електричної енергії, доведено необхідність комплексної оцінки рівнів електроенергоспоживання даних видів підприємств у функції обсягів видобутку залізорудної сировини. Проаналізовано структуру електроенергоспоживання за видами електричних приймачів протягом останніх років. Розглянуто особливості графіків споживання, зумовлені, з одного боку, технологією ведення гірничих робіт, а з іншого – застосуванням тарифів, диференційованих за зонами доби. Наведено добові графіки електричних навантажень найбільш енергоемних споживачів гірничорудних підприємств та їх аналіз. Рекомендуються практичні заходи, спрямовані на підвищення електроенергоефективності залізорудних підприємств.

Ключові слова: електроенергія, електроенергоефективність, рівні споживання, залізорудні підприємства.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ. Несмотря на тенденцию к уменьшению, которая наблюдается в последние годы, доля потребления электрической энергии (ЭЭ) промышленностью Украины значительна и в настоящее время составляет более 40 % от общегосударственного объема электропотребления [1, 2]. Объясняется этот факт особенностью отечественной промышленности, которая насчитывает более 50-ти весьма энергоемких предприятий. В основном это предприятия горно-металлургического комплекса, которые потребляют около половины ЭЭ всей отрасли промышленности. В свою очередь, на Днепропетровскую область приходится 16 энергоемких предприятий, доля потребляемой ЭЭ которых составляет 48 % от всего объема потребления области. Объемы потребления ЭЭ этими предприятиями и режимы работы их электрооборудования формируют график электрических нагрузок всей областной электроэнергосистемы. Свою весомую «лепту» в этот процесс вносят и предприятия железорудного комплекса (шахты, комбинаты), добывающие железорудное сырье (ЖРС) и входящие в вышеперечисленный ряд предприятий.

В соответствии с проведенной проф. Праховником А.В. и проф. Розеном В.П. классификацией

[3–5], отечественная горно-металлургическая отрасль промышленности вообще, а ее железорудная подотрасль в частности, по уровню неравномерности графиков электрических нагрузок занимает последнее место среди других производственных отраслей, при этом значительно отставая даже от такой родственной отрасли, как угольная.

Как известно, в зависимости от периодичности измерений, различают суточные, недельные, месячные и годовые графики электрических нагрузок, или уровней потребления ЭЭ [6]. Мониторинг уровней потребления электроэнергии предприятиями Криворожского железорудного бассейна показывает, что формы всех графиков электрических нагрузок всех видов железорудных предприятий по добыче ЖРС значительно разнятся [7, 8]. Более того, эта разница наблюдается и между шахтами, невзирая на идентичность технологии добычи в них ЖРС [9–11].

Цель исследований – оценка реального диапазона колебаний уровней потребления электрической энергии предприятиями с подземными способами добычи железорудного сырья.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. На рис. 1 представлены диаграммы потребления электрической энергии рядом отечественных желе-

зородних підприємств с підземними способами добычи ЖРС. Как видим, максимальная разница по отдельным шахтам за последние пять лет (2010–2014 гг.) лежала в пределах 40 %. При этом максимальный уровень потребления ЭЭ, как правило, соответствовал наибольшим объемам добычи ЖРС. В то же время такая связь отсутствует для условий минимальных объемов добычи ЖРС [6].

Попытки установить уровень зависимости между объемами добычи ЖРС и объемами электроэнергопотребления по конкретному железорудному комбинату – публичному акционерному обществу (ПАО) «Криворожский железорудный комбинат» и отдельным шахтам, как типовым железорудным

предприятиям, показали, что обобщенный коэффициент корреляции по ПАО «Криворожский железорудный комбинат» в период 2010–2014 гг. составил -0,43, что, в соответствии со шкалой Чеддока [6], определяется как заметная взаимосвязь.

За этот же период времени по структурным подразделениям данного комбината – шахтам – это выглядит следующим образом.

По шахте «Родина» коэффициент корреляции равен 0,203, что определяет взаимосвязь как слабую. По шахте же «Октябрьская» коэффициент корреляции равен -0,09, что определяет практическое отсутствие взаимосвязи в рассматриваемый период.

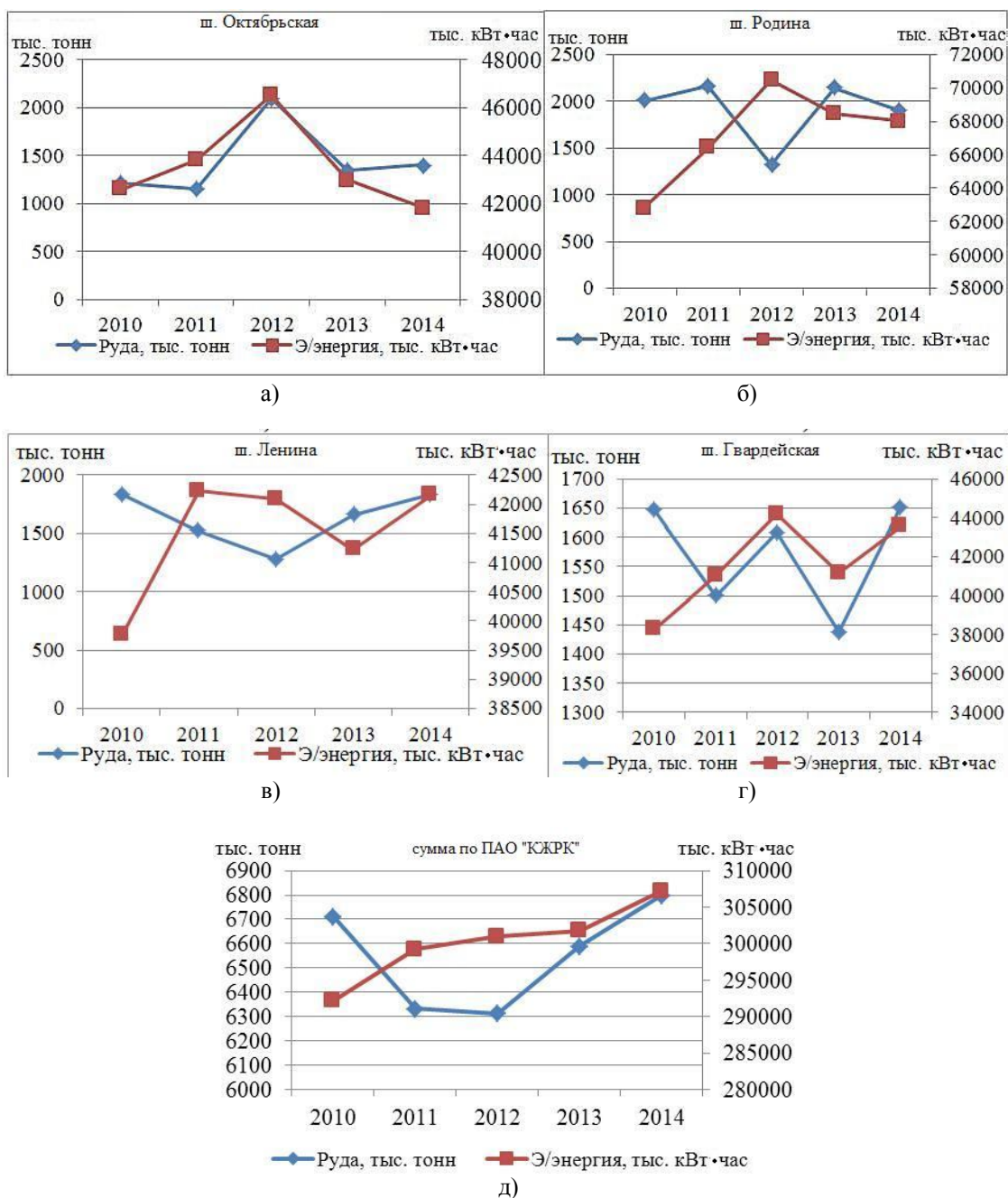


Рисунок 1 – Графики годовых объемов добычи железорудного сырья и потребления электрической энергии по шахтам ПАО «Криворожский железорудный комбинат»

По шахте «Гвардейская» коэффициент корреляции соответствует величине 0,11, что говорит о слабой взаимосвязи. По шахте им. В.И. Ленина коэффициент корреляции равен -0,53, что соответствует хорошей связи.

Вместе с тем самый высокий коэффициент корреляции относится в целом к комбинату, а значения для его структурных слагаемых – шахт – располагаются ниже.

Всё это говорит о неадекватной проблеме комплексности оценки уровней электроэнергопотребления по железорудным предприятиям в функции объемов добычи ЖРС.

Потребление ЭЭ все по тому же комбинату ПАО «Криворожский железорудный комбинат» с 2010 по 2014 гг. возросло не более чем на 10 %, а по каждой отдельно взятой шахте этого комбината за это же время объемы потребления не изменились более чем на 7 %. Этот хотя и незначительный, но все же парадокс в разнице потребления ЭЭ комбината в целом и его структурных слагаемых – шахтах – объясняется не колебаниями объемов добычи ЖРС, а увеличением условно постоянной составляющей общего сегмента потребления энергии самим комбинатом [7, 8].

В то же время, как это следует из рис. 2, на этих предприятиях за последние пять лет (2010–2014 гг.) практически не изменилась структура электроэнергопотребления по видам электроприемников, а имеющиеся незначительные колебания не превысили 2 % по комбинату.

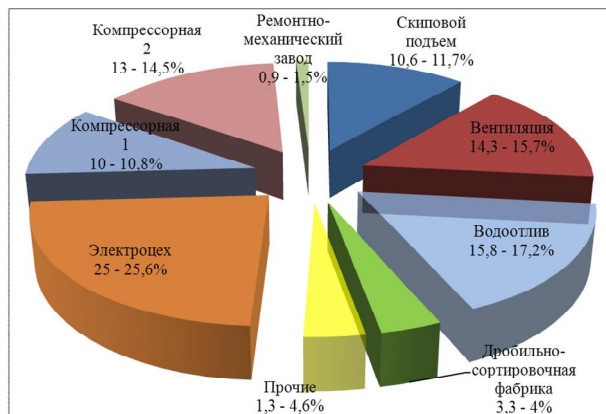


Рисунок 2 – Диаграмма диапазонов колебаний уровней потребления электрической энергии по видам потребителей ПАО «Криворожский железорудный комбинат» в период 2010–2014 гг.

Практически та же тенденция наблюдается и по отдельно взятым шахтам комбинатов, хотя здесь колебания достигают порядка 7 %, но всё же и это нельзя отнести к значительным по величине. В силу этого можно сделать вывод, что основной акцент в анализе и поиске путей повышения электроэнергоэффективности добычи ЖРС должен быть сделан на

основную технологическую ячейку – шахту. Этот вывод верен и для выбора тактики энергосберегающих мероприятий.

Добавим, что железорудные предприятия, войдя в период рыночной экономики, несколько изменили своё отношение к электроэнергетической составляющей экономики своих предприятий. Как известно, форма расчетов предприятий за потребляемую ЭЭ за этот период изменилась, перейдя от двухставочных тарифов к одноставочным с дифференцированной оплатой по времени суток [9].

Предприятия пытаются в основном за счёт организационных мероприятий строить суточный график электроэнергопотребления таким образом, чтобы в ночную смену работали наиболее энергоёмкие агрегаты: водоотлив и частично скиповой подъём, а во внепиковое время – другие потребители.

На рис. 3 приведен суточный график потребляемой мощности на 30-минутном интервале, что подтверждает вышеизложенное.

Анализ потребления электрической энергии подтвердил, что как по отдельно взятым шахтам, так и по комбинату в целом наблюдается снижение потребления электрической энергии в начале месяца и повышение в среднем примерно на 30 % потребления в конце месяца [9–12].

Вследствие работы насосных установок в тарифной зоне «ночь», хотя ее продолжительность составляет семь часов, потребление электрической энергии составило 40 %. Потребление энергии в часы тарифной зоны «полупик» продолжительностью 11 часов составило 38 %, а в часы «пик» продолжительностью шесть часов – 22 % (рис. 4).

Наибольшее потребление электрической энергии в часы «пик» и «полупик» приходится на вентиляторы главного проветривания и подъемные установки, меньше всего – водоотлив. Ночью наоборот – наибольшее количество электрической энергии потребляет водоотлив, доля которого по отдельным шахтам может достигать в ночные часы до 90 %.

Проанализируем кратко каждый из вышеприведенных электрических приемников и их графики потребления ЭЭ.

Как видно из приведенных графиков (рис. 5, 6), с целью снижения платы за электроэнергию, используемую на работу электропривода скипового подъема, в ночное время происходит рост интенсивности его работы. Когда необходимо доставить на поверхность значительный объем горной массы, происходит работа скипового подъема и в дневное время. В часы «пик» утром и вечером скиповой подъем не работает из-за максимальных тарифов на электроэнергию. Основными характеристиками графиков электрических нагрузок являются коэффициент заполнения и коэффициент максимума [2]. Произведенные расчёты показали, что коэффициент заполнения графика для этих приемников составил 0,41–0,53, а коэффициент максимума – 2,44–1,9.

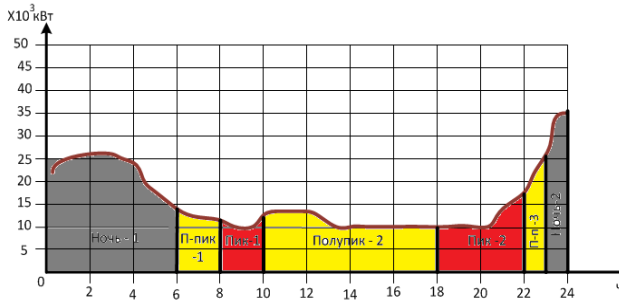


Рисунок 3 – Суточный график потребляемой мощности по ПАО «Криворожский железорудный комбинат»

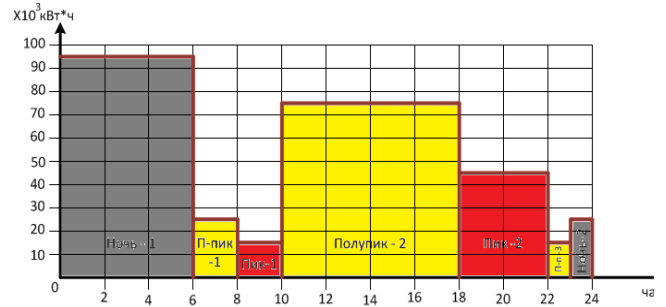


Рисунок 4 – График уровней потребления электрической энергии по тарифным зонам суток по ПАО «Криворожский железорудный комбинат»

Вместе с тем можно утверждать, что возможности повышения эффективности использования ЭЭ этими видами потребителей железорудных шахт практически исчерпаны.

Главные вентиляторные установки. По назначению вентиляторные установки подразделяются на главные, вспомогательные и местного проветривания.

Вентиляторные установки работают постоянно с небольшими понижениями или повышениями потребляемой мощности.

Обобщенные расчеты графиков электрических нагрузок вентиляторных установок всех шахт ПАО «Криворожский железорудный комбинат» показали, что для них $K_{зап}=0,87-0,97$, а $K_m=1,15-1,03$, т.е. регулирование уровней потребления ЭЭ здесь практически отсутствует. Это уже говорит о том, что здесь имеется значительный потенциал повышения энергоэффективности.

Водоотливные установки. Выделяют несколько видов водоотливных установок – центральные (главные), участковые (вспомогательные) и проходческие (временные). При большой протяженности шахтных полей может использоваться несколько центральных водоотливных установок.

Для приводов водоотливных установок применяются центробежные насосы с приводами мощностью до 800 кВт. На каждом из горизонтов шахт может работать до шести насосов.

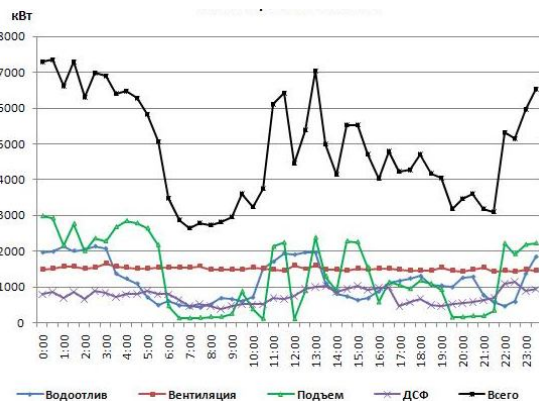


Рисунок 5 – Суточные графики электрических нагрузок технологических установок шахты «Октябрьская»

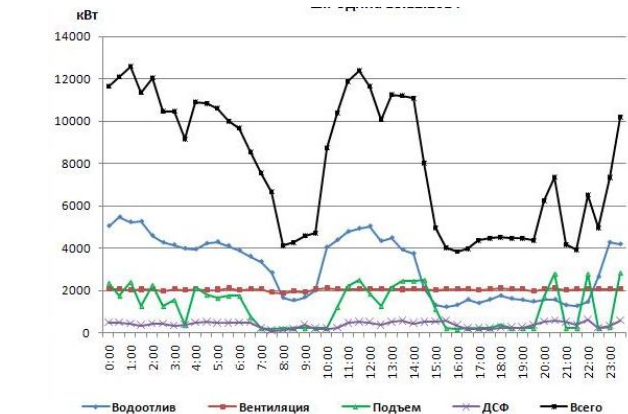


Рисунок 6 – Суточные графики электрических нагрузок технологических установок шахты «Родина»

На графиках (рис. 5, 6) видно, что насосы работают не постоянно, а включаются раз или несколько раз в сутки для откачивания воды. Когда водосборники имеют достаточный объем для накопления воды, то откачка воды осуществляется полностью в ночное время. Когда этот объем не достаточен для сбора всей воды, то персонал вынужден включать водоотливные установки и в дневное время (шахты «Родина» и «Октябрьская»).

Анализ графиков водоотливных установок тех же шахт показал соответственно: $K_{зап}=0,49-0,57$, ($K_m=2,04-1,75$). Такие значения коэффициентов обусловлены режимом работы преимущественно в часы минимального тарифа (ночные) для снижения платы за электроэнергию. Но для реализации этого режима требуется примерно двукратный запас электрической мощности и производительности насосных установок, а также повышенная емкость водосборников.

Более глубокое регулирование осуществляется на шахтах «Гвардейская» и им. Ленина, менее глубокое – на шахтах «Родина» и «Октябрьская».

Обобщая вышесказанное, отметим, что, как следует из графиков годовых объемов энергопотребления приемниками железорудных шахт, разница по месяцам годов не превышает 15–20 % и, более того, к 2014 году эта разница достигла минимального показателя в сравнении с пятью предыдущими годами.

Вместе с тем за текущие пять лет (2010–2014 гг.), как, впрочем, и в последующие годы [4], колебания уровней потребления электрической энергии (max–min) по отдельно взятым шахтам ПАО «Криворожский железорудный комбинат» достигали более чем двукратные значения, в то же время в целом по комбинату – 1,3 раза.

В целом по шахтам расчеты дали следующие результаты: $K_{зап}=0,63-0,66$, ($K_m=1,59-1,5$) и в целом по комбинату $K_{зап}=0,65-0,71$ ($K_m=1,54-1,41$). Эти данные показывают, что, несмотря на большое число потребителей, вследствие регулирования электропотребления по тарифным зонам суток, существенного снижения K_m не происходит, и это следует учитывать при проектировании систем электрообеспечения и оценке потенциала повышения электроэнергоэффективности железорудных предприятий.

ВЫВОДЫ. 1. Потребление ЭЭ носит резкопеременный характер, когда даже по шахтам одного и того же комбината с практически одинаковыми объемами добычи ЖРС диапазон изменения электропотребления достигает нередко 1,5-кратных значений. При этом базовыми графиками следует считать суточные.

2. Около 40 % энергии, потребляемой железорудным комбинатом, приходится на вентиляторные и компрессорные установки, имеющие нерегулируемые приводы. Применение регулируемых электроприводов для этих установок позволит существенно повысить эффективность энергоиспользования.

3. Для прогнозирования с достаточной точностью реально достижимого уровня электроэнергопотребления железорудных предприятий необходимо решение многокритериальной задачи с учетом технологических факторов, влияющих и во многом определяющих уровни электропотребления.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І. Геоекономіка та геополітика України: навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 282 с.
2. Шидловський А.К., Вагин Г.Я., Куренний Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электрообеспечения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
3. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.

4. Розен В.П., Давиденко Л.В., Волинець В.І. Оцінювання енергоефективності електроспоживання вугільних шахт // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2012. – С. 130–132.

5. Праховник А.В., Находов В.Ф. Проблеми, методи і засоби управління використанням електричної енергії // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – Вип. 1. – С. 41–48.

6. Синчук І.О., Гузов Э.С., Ялова А.Н., Бойко С.Н. Потенциал електроенергоєфективності і пути его реалізації на производствах с подземними способами добычи железорудного сировья: монографія / Под ред. докт. техн. наук, професора О.Н. Синчука. – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В., 2015. – 296 с.

7. Бабец Е.К., Штанько Л.А., Салганик В.А. и др. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009–2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004–2011 гг. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011. – 329 с.

8. Азарян А.А., Вілкул Ю.Г., Капленко Ю.П. и др. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.

9. Сердюк Т.В., Франишина С.Ю. Особливості реалізації політики енергозбереження в Україні: досягнення та шляхи вдосконалення // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – Вип. 1. – С. 52–56.

10. Синчук І.О., Беридзе Т.М., Ялова А.Н., Винник М.А. Практика определения уровней прогрессивного электропотребления горных предприятий с подземными видами добычи железорудного сировья // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков, 2015. – Вып. 4/1 (24). – С. 7–14.

11. Пархоменко Р.А., Ялова А.Н., Баулина М.А. К вопросу оценки процесса электропотребления горнорудных предприятий в условиях неопределенности и неполноты информации // Электромеханичні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів – Кременчук, КрНУ, 2013. – С. 190–191.

12. Hoshide R.K. Energy Conservation Measures (ESMs): Which Projects Should We Select // Strategic Planning for Energy and the Environment. – 2007. – Iss. 16 (4). – PP. 6–17.

TO THE PROBLEM OF ASSESSING THE LEVELS OF CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY DOMESTIC MINING ENTERPRISES

I. Sinchuk, E. Guzov, A. Yalovaya, M. Vinnik

State Institution of Higher Education «Kryvyi Rih National University»

ul. XXII Partsyezda, 11, Krivoy Rog, 50027, Ukraine. E-mail: speet@ukr.net

The article describes the assessment of levels of electrical energy consumption of domestic iron ore mines with underground mining. The degree of relationship between production and consumption is shown, as well as the necessity of

a comprehensive assessment of the levels of electrical energy consumption for iron ore businesses in the functions of production of iron ore. The structure of electrical energy consumption on types of consumers over the last few years was analyzed. The authors consider the features of graphs of consumption, which is due on the one hand the technology of mining and the application of tariffs differentiated by time zones. One provided daily schedules of electrical loads of the most energy intensive consumers of the mining enterprises and their analysis. The practical recommendations for improving energy efficiency functioning of iron ore mines are recommended.

Key words: electricity, energy efficiency, levels of consumption, iron ore company.

REFERENCES

1. Shidlovskiy, A.K., Pivnyak, G.G., Rogoza, M.V. and Vipanaseiko, S.I. (2007), *Geoekonomika ta geopolitika Ukrainy* [Geo-economy and geopolitics of Ukraine], Natsionalniy girnichiy universitet, Dnipropetrovsk. (in Ukrainian)
2. Shidlovskiy, A.K., Vagin, G.Ya. and Kurennyi, Ye.G. (1992), *Raschet elektricheskikh nagruzok sistem elektrosnabzheniya promyshlennyykh predpriyatiy* [Calculations of electrical loads of the power supply systems of industrial enterprises], Energoatomizdat, Moscow. (in Russian)
3. Prahovnik, A.V., Rozen, V.P. and Degtyarev, V.V. (1985), *Energoberegayushchie rezhimy elektrosnabzheniya gornodobyvayushchikh predpriyatiy* [Energy saving modes of supply of mining companies], Nedra, Moscow. (in Russian)
4. Rozen, V.P., Davydenko, L.V. and Volynets, V.I. (2012), "Evaluation of power efficiency of consumption of coal mines", *Pidvyshchennya rivnya efektyvnosti enerhospozhyvannya v elektrotekhnichnykh prystroyah i systemah*, pp. 130–132. (in Ukrainian)
5. Prakhovnyk, A.V. and Nahodov, V.F. (2007), "Problems, methods and facilities of management the using of electric energy". *Naukovy visti NTUU «KPI»*, Vol. 1, pp. 41–48. (in Ukrainian)
6. Sinchuk, I.O., Guzov, Ye.S., Yalovaya, A.N. and Boyko, S.N. (2015), *Potentsial elektroenergoeffektivnosti i puti ego realizatsiyi na proizvodstvah s podzemnyimi sposobamy dobychi zhelezorudnogo syrya. Monografiya* [The potential efficiency electric power and its implementation in industries with underground methods of mining iron ore. Monograph], ChP Sherbatikh A.V., Kremenchug. (in Russian)
7. Babets, E.K., Shtanko, L.A., Salganik, V.A. et al. (2011), *Sbornyk tekhniko-ekonomicheskyykh pokazateley hornodobivaiushchykh predpriyatiy Ukrainy v 2009–2010 gg. Analiz myrovoy konyuktury rinka ZhRS 2004–2011 gg.* [Collection of technical and economic indexes of mining enterprises of Ukraine in 2009–2010. Analysis of world situation at the market of iron-ore raw material in 2004–2011], Vidavnichiy Dim, Kryviy Rih. (in Russian)
8. Azaryan, A.A., Vilkul, Yu.G., Kaplenko, Yu.P. et al. (2006), *Kompleks resurso- i enerhozberihaiuchykh heotekhnolohii vydobutku ta pererobky mineralnoy syrovyny, tekhnichnykh zasobiv yikh monitorynhu iz systemoyu upravlinnya i optymizatsiyi hirnychorudnykh vyrobnystv* [A complex of resources and energy-keeping geotechnologies of booty and processing of mineral raw material, technical equipments of their monitoring is from a sistem management and optimization of mining productions], Mineral, Kryviy Rih. (in Ukrainian)
9. Serdyuk, T.V. and Franyshyna, S.Yu. (2009), "Features of implementation of energy saving policy in Ukraine: achievements and ways to improve", *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, Vol. 1, pp. 52–56. (in Ukrainian)
10. Sinchuk, I.O., Beridze, T.M., Yalovaya, A.N. and Vinnik, M.A. (2015), "Practice define progressive levels of electricity consumption by mining companies with underground kinds of mining iron ore", *Tehnologicheskyy audit i rezervy proizvodstva*, Vol. 4/1, no. 24, pp. 7–14. (in Russian)
11. Parhomenko, R.A., Yalova, A.M. and Baulina, M.A. (2013), "To issue process evaluation of the energy consumption of the mining enterprises in the conditions of uncertainty and incomplete information", *Elektromekhanichny ta energetichny systemy, metodi modeljuvannya ta optymizatsiyi. Zbirnik materialiv Mizhnarodnoy naukovy-tehnichnoy konferentsiyi molodih uchenih i specialistiv*, KrNU, Kremenchuk, pp. 190–191. (in Russian)
12. Hoshide, R.K. (2007), "Energy Conservation Measures (ESMs): Which Projects Should We Select", *Strategic Planning for Energy and the Environment*, Vol. 16, no. 4, pp. 6–17.

Стаття надійшла 11.10.2015.