

УДК 621.311.086.5:621.3.001.57

Синчук О. Н., доктор техн. наук, проф.,
Синчук І. О., канд. техн. наук, доц.,
Касаткина І. В., канд. техн. наук, доц.,
Ялова А. Н., викладач

ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІДПРИЄМСТВАМИ З ПІДЗЕМНИМ СПОСОБОМ ВИДОБУВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ

***Анотація.** У статті викладені результати досліджень з аналізу та оцінки рівня споживання електричної енергії залізорудними підприємствами з підземними способами ведення горних робіт. Доведено, що коливання рівнів споживаних електричних можливостей аналізованих підприємств являються значними. Встановлено найбільш сміливі споживачі електричної енергії, які рекомендовано використовувати як споживачі-регулятори цього виду енергії, оцінена необхідність і можливість управління рівнем споживання електричної енергії, Запропоновано алгоритм управління та прогнозна модель цього процесу.*

***Ключові слова:** електрична енергія, управління, впусти споживання, залізорудні підприємства.*

Sinchuk O. N., doctor. tehn. Sciences, prof.,
Sinchuk I. O., Ph.D. Associate Professor
Kasatkina I. V., Ph.D. Associate Professor
Yalova A. N., teacher

FORECASTING LEVELS OF CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY ENTERPRISES WITH UNDERGROUND MINING OF IRON ORE

***Annotation.** The article presents the results of research on the analysis and assessment of the level of electric power consumption of iron ore enterprises with underground mining methods. Bring that fluctuations in levels of consumed electric opportunities analyzed enterprises yavlyayutsya significant. Established the most intensive consumers of electrical energy, which is recommended to be used as potrebiteli- regulators of this type of energy, evaluate the need and the ability to control the level of consumption of electric energy, the control algorithm is proposed and predictive model of the process.*

***Keywords:** electric power, control, dropping consumption, iron ore businesses.*

Синчук О. Н., доктор техн. наук, проф.,
Синчук І. О., канд. техн. наук, доц.,
Касаткина І. В., канд. техн. наук, доц.,
Ялова А. Н., преподаватель

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ С ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

***Аннотация.** В статье изложены результаты исследований по анализу и оценке уровня потребления электрической энергии железорудными предприятиями с подземными способами ведения горных работ. Доведено, что колебания уровней потребляемых электрических возможностей анализируемых предприятий являются значительными. Установлены наиболее емкие потребители электрической энергии, которые рекомендовано использовать как потребители-регуляторы этого вида энергии, оценена необходимость и возможность управления уровнем потребления электрической энергии, Предложен алгоритм управления и прогнозная модель этого процесса.*

***Ключевые слова:** электрическая энергия, управление, урони потребления, железорудные предприятия.*

Введение: Проблема необходимости постоянного совершенствования процесса

энергопотребления технологической линейки: «енергосистема – предприятия потребители» с каждым годом приобретает особую значимость как для каждого отдельно взятого предприятия так и для страны в целом [1].

© Синчук О.М., Синчук І.О., Касаткина І.В., Ялова А.Н., 2016

Актуальность исследований. Несмотря на тенденцию к уменьшению, которая наблюдается в последние годы, доля потребления электрической энергии (ЭЭ) промышленностью Украины составляет 42% от общегосударственного уровня. Особенностью отечественной промышленности является наличие в ней 51 энергоёмкого предприятия (горно-металлургического и нефтехимического), которые потребляют около половины ЭЭ всей промышленной отрасли [1]. При этом почти 33% (16-ть предприятий) энергоёмких производств находятся в Днепропетровской области, потребляя 48% от всего объема потребления электрической энергии данной области. В свою очередь, большая часть объема электропотребления вышеупомянутой области относится к горно-металлургическим предприятиям Криворожского железорудного бассейна, продукцией которых является железорудное сырье (ЖРС). Такая концентрация количества данных видов предприятий в отдельно взятом территориальном регионе - области существенно влияет как на перспективы прогнозирования длительных периодов загрузки энергосистемы по мощности (год, квартал) так и на более «короткие» часы суток.

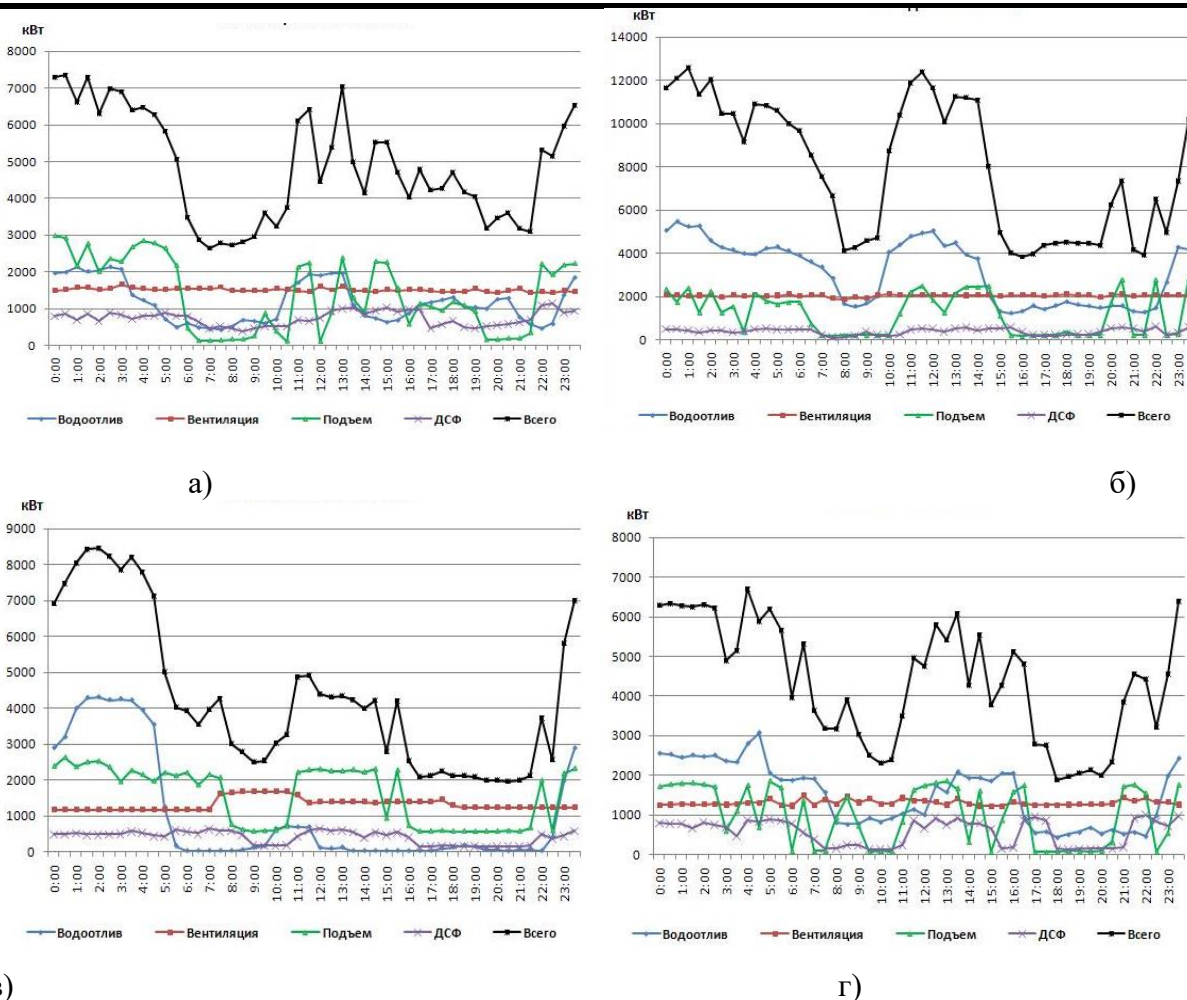
Более того, формы суточных графиков электрических нагрузок энергетической компании «Днепроэнерго», так и энергосистемы Украины в целом, влияют на показатели эффективности использования транспортируемой от отечественных энергосистем до потребителей электроэнергии. Более того, в свою очередь, режимы потребления ЭЭ в силу разницы в тарифах оплаты за потребленную энергию в зависимости от времени суток, существенно влияет на себестоимость выпускаемой продукции - железорудное сырье (ЖРС), один из основных источников пополнения валютных запасов Украины [2]. При этом, невзирая на разные, а точнее противоположные экономические позиции в роли суточных уровней электрических нагрузок энергосистем и потребителей (в данном случае железорудных предприятий) все обе стороны интересуется вопрос равномерности объемов потребления ЭЭ за аналогичный период,

т. е равномерность во времени суток прежде всего. Этот показатель наглядно виден в графиках потребления ЭЭ данного энергопотребителя. Между тем, как свидетельствуют результаты исследований проф. А.В. Праховника, В.П. Розена, колебания уровней потребления ЭЭ железорудными предприятиями являются максимальными по сравнению с другими отраслями промышленности в т.ч. угольной [4-6]. Причина таких колебаний лежит в самой природе технологии добычи ЖРС, а точнее ее специфики [7]. Очевидно, что для решения проблемы «выравнивания» графиков электрических нагрузок предприятий надо подойти со стороны управления этим процессом в функции все тех же технологических факторов.

Цель исследования: Разработка методики строения прогнозных моделей системы контроля и управления уровнем потребления электрической энергии отечественными железорудными предприятиями.

Материалы исследований: На рис. 1 представлены полученные авторами в ходе экспериментальных исследований графики уровней потребляемых электрических мощностей в течение времени суток рядом типовых отечественных железорудных предприятий с подземным способом добычи ЖРС. Более того, как показали исследования [7-9], предприятия, планируя ожидаемый уровень расхода ЭЭ на 1т добываемого ЖРС делают это, как правило, со значительной погрешностью, в силу чего планируемые и фактические объемы отличаются (рис.2).

Это приводит к экономической неустойчивости функционирования железорудных предприятий, так как вышеприведенное несоответствие показателей закладывается в себестоимость добычи, а значит и в ошибку полной прогнозной стоимости ЖРС. Логично, что после вышеприведенного анализа в разрезе достижения поставленной цели исследований следующим исследовательским этапом должен в т.ч.



в) г)
 Рисунок 1 – Суточные графики электрических нагрузок технологических установок: а - ш. Октябрьская, б - ш. Родина, в - ш. Гвардейская, г - ш. им. Ленина ПАО «Криворожский железорудный комбинат»

для конкретики оценки причин вызывающих также колебания уровнем потребляемых мощностей анализируемыми видами промышленных предприятий должен следовать этап оценки и формирования наиболее емких электрических потребителей. Эти приемники должны взять на себя роль регуляторов уровнем потребления ЭЭ, т.е. приемников – регуляторов этого вида электроэнергии с дальнейшей разработкой направлений по оптимизации потребляемых ними уровней потребления ЭЭ с возможностью управления этим процессом в зависимости от условий функционирования конкретного производства. Анализ все тех же графиков (рис.1) позволил выявить таких потребителей ЭЭ. Это: главный водоотлив, скиповой подъем ЖРС с подземных горизонтов на поверхность, вентиляторы главного проветривания и компрессорные установки.

Вместе с тем, те же исследования убедили нас в том, что аппроксимировать уровни потребления ЭЭ этими приемникам не простая задача, ибо эти уровни зависят от режима технологии ведения горных работ предприятия в целом. Одним из направлений решений этой задачи является прогноз ежедневного уровня потребления ЭЭ в ряде технологических факторов контролируемого предприятия. В свою очередь это невозможно без применения комплекса прогнозных процедур [8,9].

Для решения этой части исследований, т.е. для прогнозирования ожидаемого уровня электропотребления целесообразно создать (иметь) информационную базу данных уровней электропотребления конкретного горнорудного предприятия. Для этого исходную информацию удобнее, с точки зрения расчетов, представлять в матричном виде [6,8,9].

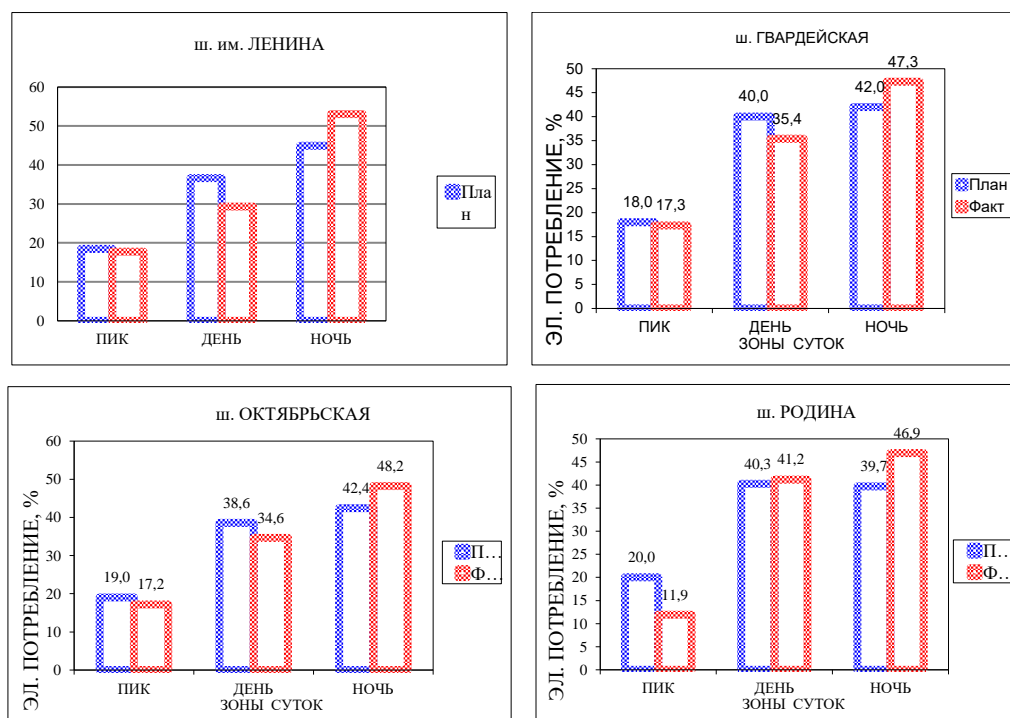


Рисунок 2 – Соотношение плановых и фактических суточных показателей удельного потребления электрической энергии по ряду железорудных шахт

В соответствии с этим определение прогнозных уровней электропотребления должно включать в себя следующие этапы:

1. Сбор, передачу, формирование базы данных и хранение информации об электроэнергии;
2. Синтез математических моделей процессов электропотребления горного предприятия;
3. Определение с помощью полученных моделей прогнозных значений электропотребления на месячном и годовом уровнях;
4. Адаптация моделей при изменении факторов и корректировка прогнозных значений электропотребления.

Последовательность реализации каждого этапа следующая.

Первый этап. Сбор данных об ЭП осуществляется на горном предприятии по показаниям счетчиков коммерческого и технического учета, по отчетным данным о производственной деятельности предприятия. Передача данных на ВЦ осуществляется в виде ежемесячного отчета об использовании электроэнергии за прошедший месяц. Формирование базы данных в матричном виде.

Второй этап. Обработка данных об электропотреблении и синтез математической модели электропотребления осуществляется на базе разработанной методики, математические процедуры которой реализуются на ЭВМ. На рис. 3,4 приведены блок-схемы алгоритмов получения временных и факторных моделей с использованием типовых модулей программы АСНИ.

Таким образом, для моделей ЭП можно с определенной вероятностью построить интервальный прогноз, причем с увеличением надежности уменьшается точность прогнозирования. Достаточно надежный прогноз может быть получен при определенном интервале $\Delta W^*(I + L, J)$, который необходимо ввести в модель ЭП как интервал корректировки.

В соответствии с этим предлагается следующий алгоритм интервального прогнозирования электропотребления. В основу алгоритма положены синтез моделей электропотребления (см. рис.3 – 5), а также определение доверительного интервала прогнозирования.

Указанный алгоритм для интервального прогнозирования с использованием временных моделей приведен на рис. 4.

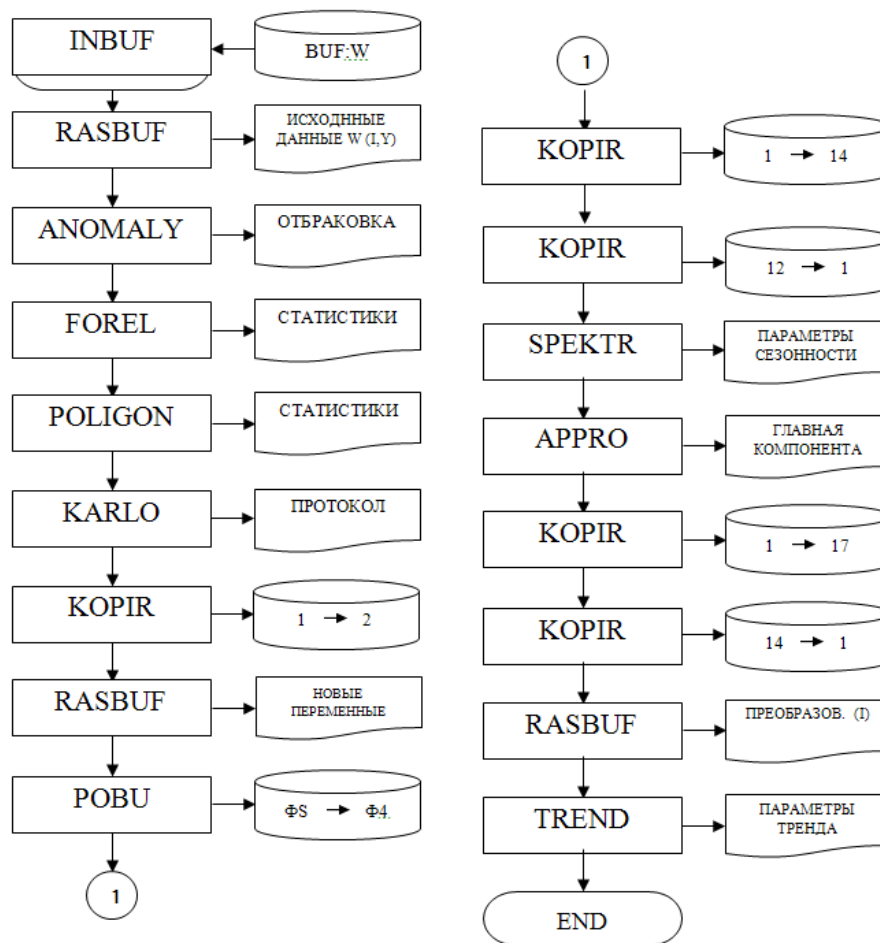


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма получения временной модели электропотребления

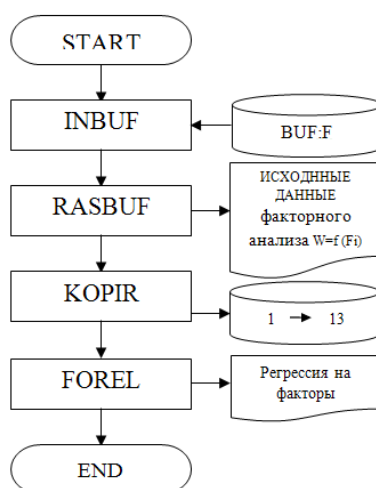


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма получения факторных моделей электропотребления

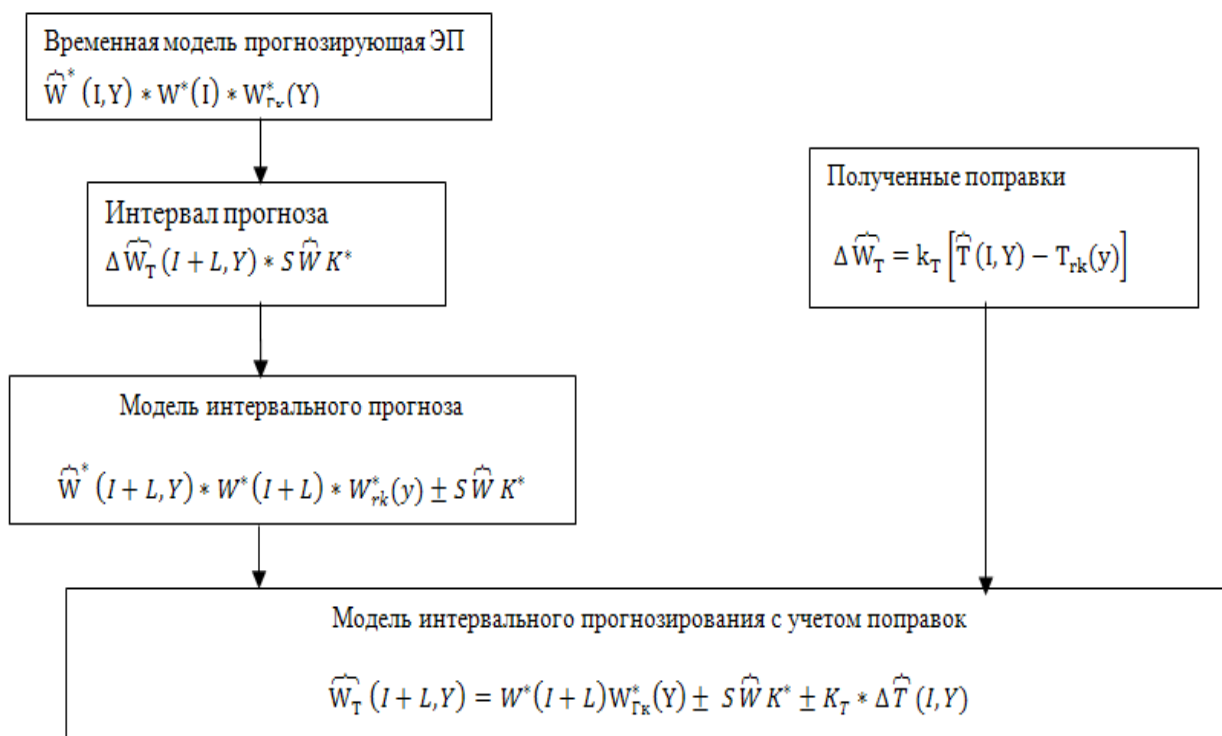


Рисунок 5 – Алгоритм интервального прогнозирования электропотребления

Третий и четвёртый этапы в методологическом плане базируются на результатах, получаемых в ходе статистического анализа, математических моделей, а также точечных оценках режимов электропотребления.

Таким образом, для прогнозирования электропотребления горным предприятием за счет выявления резервов экономии энергоресурсов, обоснования норм расхода электроэнергии на технологические процессы является составление и нормализация его электробаланса.

При составлении расходной части электробалансов доля энергии, затрачиваемая на прямые технологические нужды, может определяться следующими методами: расчетным, экспериментальным и расчетно-экспериментальным. Наиболее целесообразным из перечисленных методов является комбинированный, расчетно-экспериментальный метод [10].

Электробалансы отдельных агрегатов следует относить к смене и характерным рабочим суткам. Последнее определяется по средней производительности технологических

установок. В практических условиях требуется сосредоточить все измерения в период наиболее загруженной смены. Однако, учитывая возможную неустойчивость в работе отдельных смен, суммарная положительность замеров должна быть не менее $M_{с.м.}=3÷4$ смен.

Расходная часть электробалансов вентиляторных, водоотливных и компрессорных установок состоит из следующих составляющих: технологического расхода, постоянных потерь, нагрузочных потерь и потерь в питающей кабельной сети. Расходная часть электробалансов подъемных установок имеет дополнительно к вышеперечисленным составляющим пусковые и тормозные потери.

Для анализа электробаланса требуется определить энергетические характеристики технологических приемников, статистические данные и законы распределений составляющих балансов, а также их зависимости от технологических факторов.

Основным резервом экономии электроэнергии при рационализации электробалансов является снижение доли постоянных потерь за

счет большей загрузки технологических приемников.

На основании установленных составляющих электробалансов можно выполнить по-статейный анализ норм расхода электроэнергии на технологический прогресс, дифференцировав их по статьям электробалансов.

Дифференцированный анализ индивидуальных норм расхода электроэнергии на основе данных электробалансов позволяет установить рациональные нормы и контролировать сверхнормативные потери электроэнергии.

Для практического использования на железорудных шахтах предлагается применение модернизированной авторами известной автоматизированной системы состояния электропотребления «Энергопрогноз» [11] на основе компенсирующего адресного использования программных комплексов MS Office EXCEL и STATISTICA. С помощью системы на основании аналитических и статистических данных формируются прогнозные модели и получают прогнозные значения спроса (Yd_i) и цены (Yp_i) на энергоносители на заданный период (следующий месяц, квартал, год и тому подобное).

Выводы. Предложенный алгоритм расчета оценки эффективности управления электроэнергопотреблением железорудных предприятий дает возможность построить интегральный показатель. Он позволяет проводить определение необходимого уровня энергопотребления как на все стадии жизненного цикла развития предприятия так и прогнозируемой части осуществлять прогнозирование изменения его до и после проведения реинжиниринга. При этом при решении практических задач преимуществом такого подхода является отсутствие конкретного числа уровня устойчивости системы, что не является значимым, а представляет интерес лишь общая динамика. При этом нормальный уровень устойчивости для каждого предприятия свой и приспособлен к условиям его функционирования.

Реализация рекомендуемых способов позволит по железорудному предприятию (шахте, комбинату) сократить расход ЭЭ в оптимистическом варианте на 35 – 40%, в пессимистическом – на 25 – 30%.

Список литературы

1. Стогній Б.С. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк, В.О. Негодуйко, П.П. Пертко, І.В. Блінов – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
2. Бабец Е.К. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009 – 2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004 – 2011 гг. / Е.К. Бабец, Л.А. Штанько, В.А. Салганик и др. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011 – 329 с.
3. Пучков Л.О. Електрифікація гірничого виробництва: Підручники для ВНЗ у 2-х т. / За редакцією Л.О. Пучкова, Г.Г. Півняка. – Д.: Нац. гірн. університет, 2010, т. 1. – 503 с.
4. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев – М.: Недра, 1985 - 232 с.
5. 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: Матеріали ІV міжнародної науково-технічної конференції – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2012. – С. 130 – 132.
6. Синчук И.О. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монография. / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко// под ред. докт. техн. наук, профессора О.Н. Синчука. – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В., 2015. – 296 с.
7. Пархоменко Р.А. К вопросу оценки процесса электропотребления горнорудных предприятий в условиях неопределенности и неполноты информации / М.А. Баулина, Р.А. Пархоменко, А.Н. Яловая // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КрНУ, 2013. – С.190-191.

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

9. Ялова А.М. Споживання електричної енергії та вплив на цей процес системи чинників формування факторного простору в умовах залізорудних підприємств / А.М. Ялова // *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету*. – Кіровоград, 2014 – Випуск 27, частина II. – С.339-349.

10. Айвазян. С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности [Текст] / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин – М.: Финансы и статистика, 1989 - 607 с.

11. Денісюк С.П. ISO 50001: Цілі стандарту та особливості його впровадження в Україні. Навчальний посібник /С.П.Денісюк; [Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»]- К.: ТОВ «СІК ГРУПІ УКРАЇНА», 2015.-208 с.

Получено: 28.04.2016

References

1. Stogniy B.S., Kirilov O.V., Prakhovnik A.V., Denisyuk S.P., Negoduyko V.O., Pertko P.P., Blinov I.V. Osnovni parametric energozabezpechennya natsionalni Economy on period to 2020 roku [In. elektrodinamiki the National Academy of Sciences of Ukraine], (2011). Kiev, Ukraine, 275 p.

2. Babets E.K., Shtanko L.A., Salganik V.A . Sbornik technical and economic indices of mining companie a bearing of Ukraine in 2009 - 2010. Analysis iron ore market conjuncture of 2004 - 2011 gg. (2011), Krivoy Rog, Ukraine, 329 p.

3. Puchkova L.O., Pivnyaka G.G. Electrification of mining production: Pidruchniki for BIS,

[Nat. girn. University], (2010), Moskow, Russian, 503 p.

4. Prakhovnik A.V. Rosen V.P., Degtyarev V.V. Energy saving modes power supply of mining enterprises. (1985), Moskow, Russian, 232 p.

5. Rosen V.P., Davydenko L.V., Volinets V.I. Evaluation of energy efficiency electricity consumption in coal mines [The effectiveness of energopol stay in electrical devices and si-systems: proceedings of the IV international scientific-technical conference], (2012),- Lutsk, Russian, RVV LDTU, pp. 130 - 132.

6. Sinchuk I.O., Guzov E.S., Yalova A.N., Boyko S.N. The potential of electroenergoinvest and its implementation in production work with underground methods of mining iron ore. Monograph. (2015), Kremenchug, Ukraine, 296 p.

7. Parkhomenko R.A., MA Baulina M.A., AN Yalovaya A.N. To the question of assessing the process of power consumption of mining enterprises in the conditions of uncertainty and incompleteness of information. [Electromechanical and energy systems, modeling techniques and optimization: proceedings of the International scientific-technical conference of young scientists and specialists.]. (2013), Kremenchuk, Ukraine, pp.190-191.

8. Sinchuk O.N., Sinchuk I.O, Beridze T.M., Yalova A.M. Method of evaluation of efficiency of electrical energy consumption iron ore mines. Electrical and computer systems. (2013). Odesky NPU, Ukraine,pp.49-57.

9. Yalova A.M. Consumption of electric energy and influence on this process of the system of factors of formation of the factor space in terms of iron ore mines. [Technology in agricultural production, industrial engineering, automation. Collection of scientific papers Kirovogradskaja national technical University], (2014), Kirovograd, Ukraine, pp. 339-349.

10. Ayvazyan S.A. Buchshaber I.S., Enyukov I. S., Meshalkin L.D. . Applied statistics: Clas-

sification and reduction of dimensionality. [Finance and Statistics], (1989), Moskow, Rossian, 607 p.

11. Denisyuk S.P. ISO 50001: The purpose of the standard and features of its implementation in Ukraine. Tutorial. [Institute of energy saving

and Energomera-demento National technical un-verse-theta of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"], Kiev, Ukraine, 208 p.



Синчук
Олег Николаевич,
д-р техн. наук,
профессор, зав. кафедры
АЭМС, ГВУЗ «Криворож-
ский национальный уни-
верситет»,
Украина, г. Кривой Рог ул.
XXII партсъезда, 11, Е-
mail: speet@ukr.net



Синчук
Игорь Олегович,
канд. техн. наук, доцент
кафедры АЭМС, ГВУЗ
«Криворожский нацио-
нальный университет»,
Украина, г. Кривой Рог ул.
XXII партсъезда, 11,
E-mail: speet@ukr.net



Касаткина
Ирина Витальевна,
канд. техн. наук, доцент
кафедры АЭМС, ГВУЗ
«Криворожский нацио-
нальный университет»,
Украина, г. Кривой Рог ул.
XXII партсъезда, 11,
E-mail: speet@ukr.net



Яловая
Алёна Николаевна
преподаватель, Коксохи-
мический техникум Наци-
ональная металлургиче-
ская академия
Украина, г. Кривой Рог ул.
XXII партсъезда, 11,
E-mail: speet@ukr.net