

Застосування суперконденсаторів в якості накопичувача енергії в комбінованій енергосилової установці кар'єрного автосамоскида дозволить виключити роботу дизельного двигуна на допоміжних операціях транспортного циклу, і, отже, скоротити час роботи на часткових і холодних режимах. Це дозволить понизити загазованість робочої зони кар'єрів і зменшити витрату палива.

Напрямок по створенню кар'єрного автотранспорту з комбінованими енергосиловими установками технічно реалізуємий і перспективний, оскільки відповідає сучасним тенденціям автомобілебудування.

Накопичувачі, побудовані на основі конденсаторних модулів, будуть затребувані при роботі КЕУ для кар'єрного автотранспорту. У зв'язку з цим робота з дослідження ефективності застосування рекуперативного гальмування, як основного способу електричного гальмування ВКС з комбінованою електроенергетичною установкою є досить важливою і актуальною в сучасних економічних умовах.

Список літератури

1. Шевченко О.І. Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода кар'єрних самоскидів великої вантажопідйомності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн. наук: спец. 05.09.03 „Електротехнічні комплекси та системи”. – Харків, 2004.– 20 с.
2. Тарасов П.И., Бахтурин Ю.А., Глебов А.В., Ковалев Г.Е. Условия и перспективы применения комбинированных энергосиловых установок на карьерных автосамосвалах// Энергосбережение на карьерном автомобильном транспорте. Материалы международного научно-технического семинара, 24-26 июля 2003 г. -Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003.
3. Тарасов П.И., Журавлев А.Г. О создании комбинированных энергосиловых установок для карьерных самосвалов // Проблемы карьерного транспорта. Материалы VIII Международной научно-практической конференции, 20-23 сентября 2005 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
4. Яковлев В.Л., Тарасов П.И. О возможности создания карьерных автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой. – Горный журнал. –2004. – Специальный выпуск. – С. 78-80.
5. Егоров А.Н. Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов [Текст] / А.Н.Егоров, В.Т. Войтов // Горный журнал. – 2004. – Специальный выпуск к № 8. – С.75-77.
6. Филатов С.С. Вентиляция карьеров. – М.: Недра, 1981. – 206 с.
7. И.Н. Варакин, к.х.н., В.В. Менухов, В.В. Самитин, к.т.н., ЗАО «ЭЛТОН», (Троицк, Московская обл.) Перспективы применения электрохимических конденсаторов в составе комбинированных энергосиловых установок на автосамосвалах.- журнал "Горная Промышленность" №3 2008, –79 с.
8. А.Н. Егоров, В.Т. Войтов. Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов // Горный журнал. - Специальный выпуск. - 2004.
9. Тарасов П.И. Исследование влияния горнотехнических факторов на расход топлива карьерным автотранспортом: дис. к.т.н. ИГД МЧМ СССР. - Свердловск, 1982. - 238 с.
10. Тарасов П.И. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.О. Фурин // Горное оборудование и электромеханика. —2011. — № 9. — С. 2—10.

Рукопис подано до редакції 21.03.16

УДК 621.311.086.5:621.3.001.57

И.О. СИНЧУК, И.В. КАСАТКИНА кандидаты техн. наук, доц., А.Н. ЯЛОВАЯ аспирант,
Криворожский национальный университет
Н.Н. ЮРЧЕНКО д-р техн. наук, проф., Институт электродинамики НАН Украины

ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Рассмотрены методы оценки закономерностей влияния комплекса технических и технологических факторов на уровень потребления электрической энергии и обоснование выбора направлений повышения энергоэффективности добычи железорудного сырья в условиях подземных горнорудных предприятий. Предложен комплексный подход к решению задачи повышения электроэнергоэффективности добычи ЖРС путем применения системы контроля, оценки и управления этим процессом с учетом обоснованных прогнозных технологических слагаемых, который позволит достичь желаемого эффекта в анализируемой проблеме – сокращения уровня потребления электрической энергии.

Ключевые слова: энергоэффективность, электроэнергосатраты, железорудное сырье

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Продукция горно-металлургической отрасли – железорудное сырье (ЖРС) является одним из базовых источников пополнения валютных запасов Украины [1]. К сожалению, процессу добычи ЖРС свойственна негативная тенденция роста себестоимости добываемого вида сырья [2]. Слагаемыми данной тенденции является значительное число как субъективных, так и негативных факторов, одним из которых, в частности, является рост доли энергозатрат в общей себестоимости добываемого сырья [2 - 9].

Анализ исследований и публикаций. За последние 10 лет энергозатраты в общем сегменте себестоимости добываемого ЖРС отечественными горнорудными предприятиями с подземным способом добычи в целом достигли уровня 30% [4]. Следовательно усложняется и без того непростая тенденция конкурентоспособности данного вида отечественного сырья на мировом рынке. Если учесть, что за период 2014 – 2015 г. г. повышение тарифов на электроэнергию (ЭЭ) достигло более чем 1,5 кратных размеров, что, в свою очередь, привело к повышению производственной себестоимости ЖРС, которая увеличилась на 40%, то проблема сдерживания роста энергозатрат при добыче ЖРС становится более чем очевидной и актуальной [4].

Установлено [5,6], что около 90% от общих энергозатрат в себестоимости добываемого ЖРС подземным способом составляют электроэнергетические, т.е. задача уменьшения себестоимости добываемого железорудного сырья по сути сводится к задаче уменьшения или, что точнее, оптимизации энергозатрат при добыче, которые за период 2005 – 2014 г. увеличились на 18% и имеют негативную тенденцию дальнейшего увеличения [6,7].

Постановка задачи. Основные направления повышения электроэффективности добычи полезных ископаемых известны [8,9]. Однако они, как правило, относятся к вновь проектируемым или глобально переоборудуемым горным предприятиям и то, в большей своей части, к угольным видам горных производств [10,11]. Относительно же железорудных объектов, и особенно действующих, то эта проблема пока находится лишь в стадии ожидания подхода к своему решению [7].

Вместе с тем, учитывая то, что в ближайшие 35-45 лет, строительство новых железорудных предприятий в Украине не планируется, то именно в направлении совершенствования комплекса: система электроснабжения – система электропотребления действующих горнорудных производств, и необходимо направить вектор научных исследований.

В разрезе реализации вышеизложенного тезиса, как показывают результаты исследований, реальными направлениями повышения электроэффективности действующих железорудных шахт являются: модернизация систем электроснабжения и оптимизация процессов электроэнергопотребления с возможностью адаптивного управления этими процессами.

Первое направление, в той или иной степени, исследовано и содержит действенные и, скорее, технические аспекты своего разрешения, особенно во все в тех же условиях действующих горнорудных предприятий. Поэтому не отрицая, а, точнее наряду с изложенным направлением поиска путей повышения эффективности самих систем электроснабжения, актуальным представляется все же вопрос проведения комплекса исследований с акцентом именно на втором направлении – оптимизации и управлении этим процессом в конкретных условиях действующего того или иного железорудного производства.

Изложение материала и результаты. Первым шагом в получении ответа на поставленную цель исследований было установление зависимости объемов потребления ЭЭ от объемов добычи ЖРС. Логичным при этом выглядит оценка удельного расхода ЭЭ в функции объемов добываемого сырья.

В ходе «рамочного», но все же вполне достаточного для данной цели исследований, анализа и попыток оценить уровень зависимости объемов добычи железорудного сырья от уровня потребления электроэнергии выявлено следующее.

Первое это то, что в основном подтвердились выводы, полученные проф. Калиниченко В.Ф. еще в 60-х годах прошлого столетия и проф. Синчуком О.М. в 10-х годах нашего столетия, что эти зависимости носят сложно прогнозируемый характер [4,11].

В процессе настоящих исследований авторами установлено, что уменьшение объемов добычи ЖРС приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии.

Так, к примеру, уменьшение объема добычи железорудного сырья по ш. Октябрьская (ПАО «Криворожский железорудный комбинат») в 2011 г. привело к увеличению удельного расхода электроэнергии на 15,9% по сравнению с предыдущим годом.

Аналогичное состояние в разные годы прослеживается и по абсолютно всем другим железорудным шахтам (рис. 1).

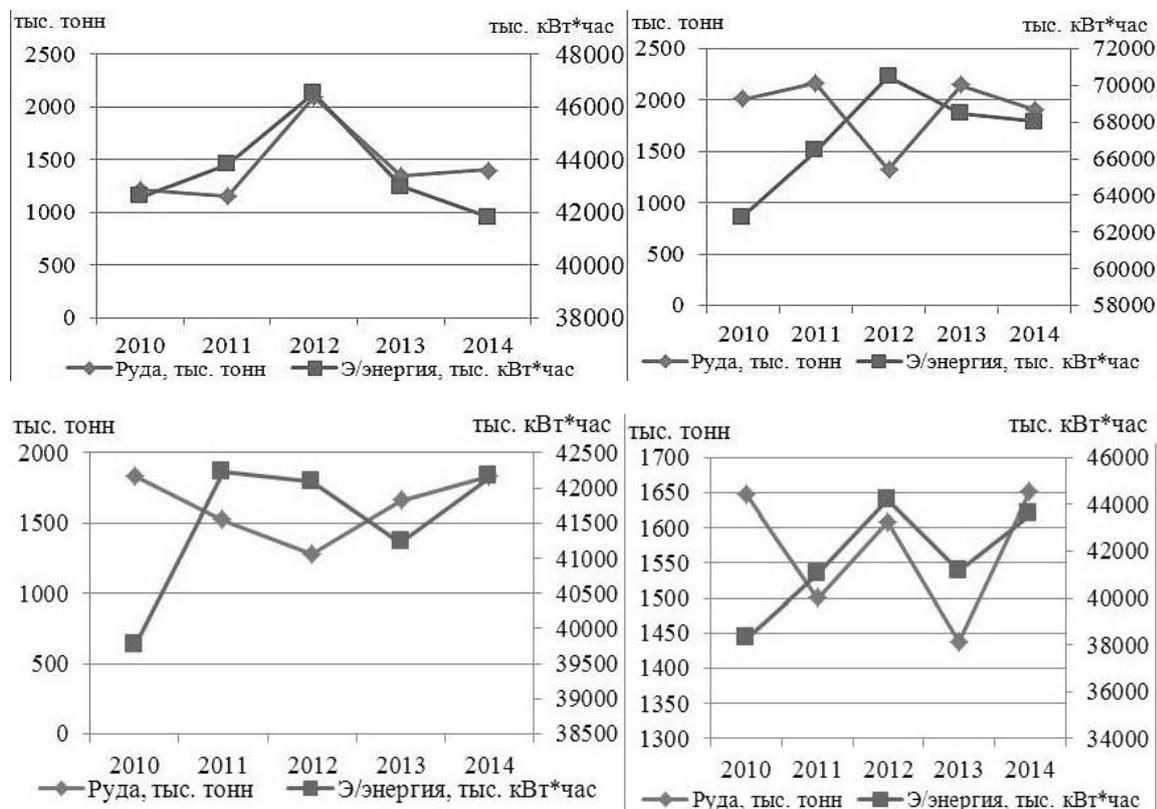


Рис.1. Графики годовых объемов добычи железорудного сырья и потребления электрической энергии по шахтам ПАО «Криворожский железорудный комбинат»: а) ш. Октябрьская; б) ш. Родина, в) ш. Ленина; г) ш. Гвардейская.

С целью определения качественной стороны этого вопроса, а также оценки взаимосвязи между объемами добычи железорудного сырья и расходом электроэнергии была использована известная шкала Чеддока [12].

Установленные уровни зависимости между объемами добычи ЖРС и объемами электроэнергопотребления по конкретному железорудному комбинату - ПАО «Криворожский железорудный комбинат» и отдельным шахтам, как типовым железорудным предприятиям, показали следующие результаты.

Обобщенный коэффициент корреляции по ПАО «Криворожский железорудный комбинат»: период 2010-2014 год составил - 0,43 что определяется как заметная обратная взаимосвязь.

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

По шахте «Родина» коэффициент корреляции равен 0,203, что определяет взаимосвязь, как слабую. По шахте «Октябрьская» соответственно коэффициент корреляции равен -0,09, что определяет практически отсутствие взаимосвязи.

По шахте «Гвардейская», коэффициент корреляции соответствует величине 0,11, что говорит о слабой взаимосвязи.

По шахте «Ленина» коэффициент корреляции равен -0,53, что соответствует хорошей обратной связи (рис. 2).

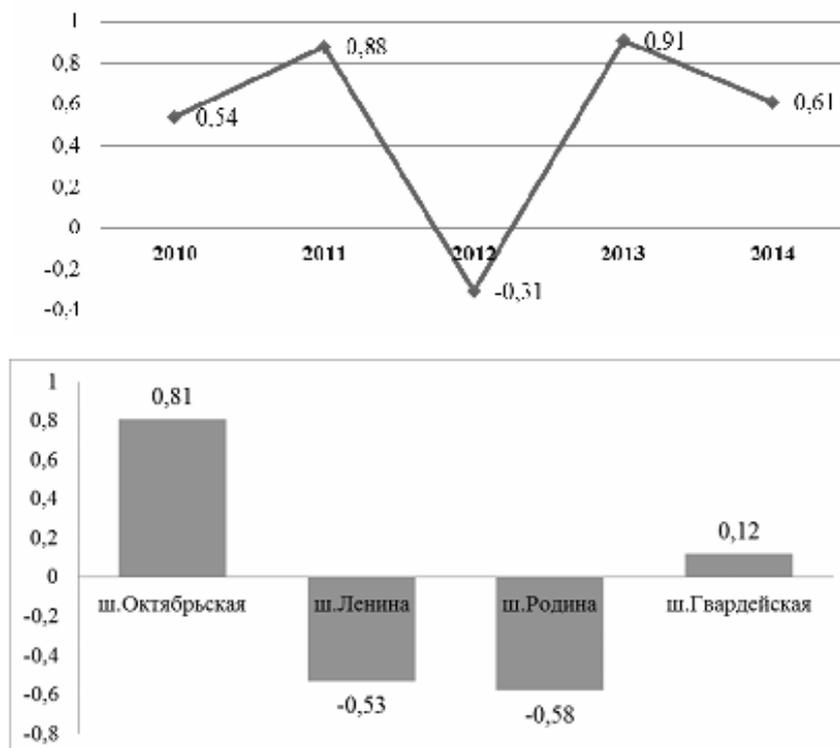


Рис. 2. Значения коэффициентов корреляции удельных расходов электрической энергии и объемов добычи железорудного сырья шахт ПАО «Криворожский железорудный комбинат»: а - по комбинату; б - усредненный показатель по шахтам за период 2010-2014 гг.

Вместе с тем интересен факт, что самый высокий коэффициент корреляции относится к комбинату в целом, а значения для его структурных слагаемых – шахтам располагаются ниже этих показателей.

Это позволяет сделать вывод, что основной акцент в анализе и поиске путей повышения электроэнергоэффективности добычи ЖРС должен быть сделан на основную технологическую ячейку – шахту.

Следующим исследовательским шагом при такой неоднозначной ситуации было установление электробаланса предприятий. Как выявлено он (электробаланс), по сути, не изменялся практически по всем подземным железорудным предприятиям более 15-20 лет, т.е. в этом вопросе наблюдается достаточная стабильность [4,6,7].

Среди потребителей электрической энергии в железорудных шахтах доминируют электрические двигатели технологического оборудования, потребляющие в среднем до 94 % всей ЭЭ [4].

В свою очередь, среди всех типов электрических двигателей железорудных шахт выделяются синхронные, потребляющие почти 40 % от общепотребляемой энергии (рис. 3).

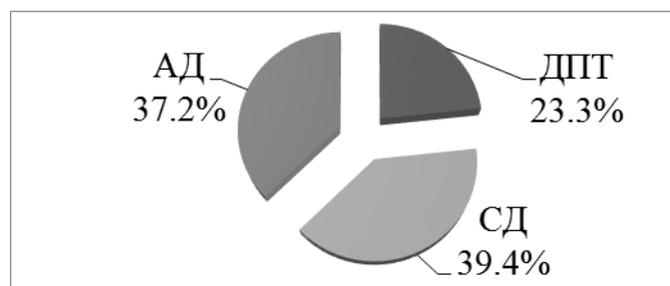


Рис. 3. Диаграмма соотношений установленных мощностей по видам электрических двигателей (ПАО «Криворожжелезрудком», 2010-2014 год)

В алгоритме дальнейших исследований интересным представляется вопрос установления наиболее энергоемких потребителей и оценка их веса в общей доле потребления ЭЭ предприятием.

В ходе исследований установлено, что таковыми для железорудных шахт являются: водотлив, вентиляция, скиповый подъем ЖРС и компрессорные установки, которые вместе потребляют свыше 80% всей электроэнергии шахты (рис.4).

Особенно велики електроенергозатрати на выработку сжатого воздуха центральными компрессорными станциями, которые составляют около 30% от всей потребляемой комбинатом электроэнергии.

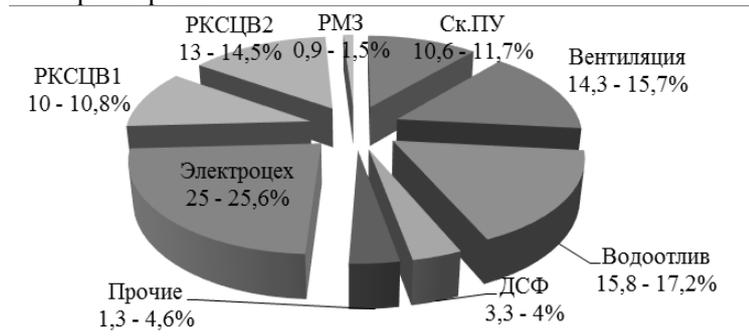


Рис. 4. Диаграмма диапазонов колебаний уровней потребления электрической энергии по видам потребителей железорудных комбинатов Украины в период 2010-2015 год

где: РКСЦВ – районная компрессорная станция центрального водоотлива; РМЗ – ремонтно-механический цех; Ск.ПУ – скиповые подъемные установки; ДСФ – дробильно-сортировочная фабрика

На рис. 5. представлены типовые (реальные) диаграммы потребления ЭЭ изложенными потребителями. Как видим, несмотря на близость тенденции потребления ЭЭ этими потребителями, все же для каждой шахты имеют свои отличия в уровнях потребления.

И все же, очевидно, что исходя из полученных данных, наиболее реальным путем снижения энергозатрат для всех без исключения железорудных шахт является снижение электропотребления и энергозатрат именно в этих установках и, особенно, в центральных компрессорных установках [6].

В значительной степени, до 20% снижения уровня потребления ЭЭ можно достигнуть путем применения в этих электромеханических системах энергоэффективных видов энергоприводов [4,6,10].

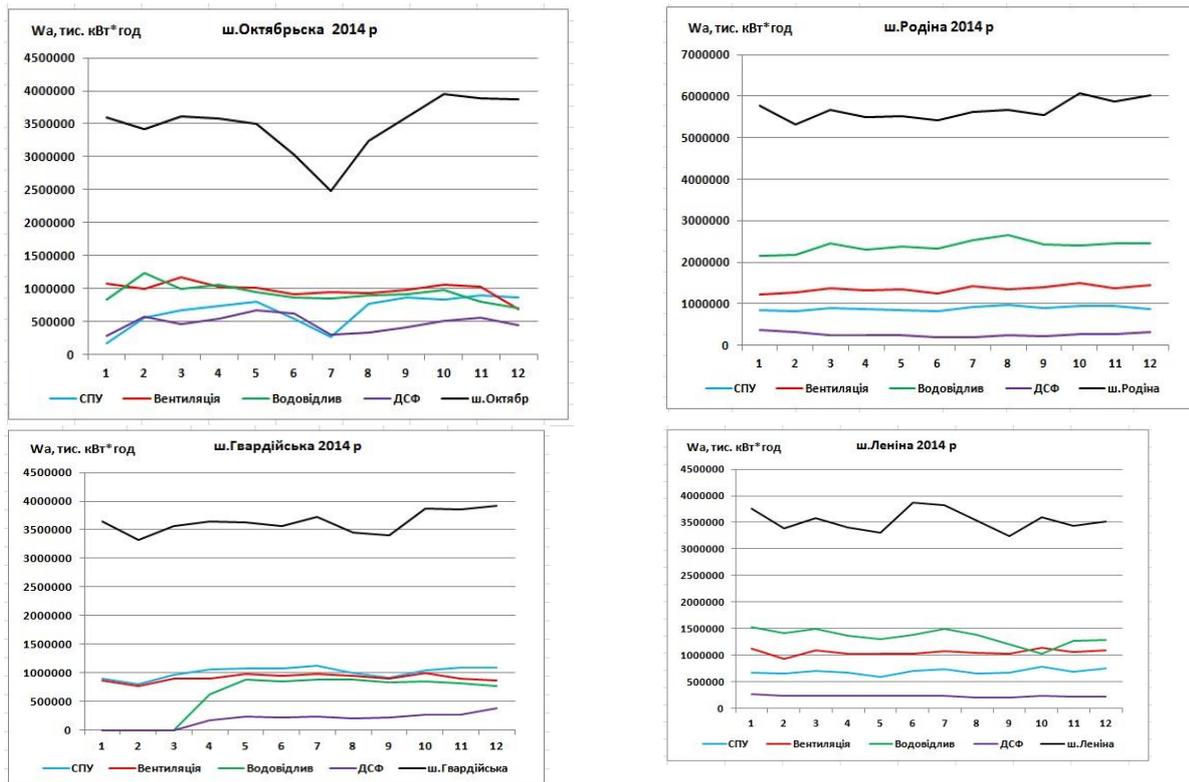


Рис. 5. Годовые графики энергопотребления структурных подразделений шахт ПАО «Криворозжский железорудный комбинат»

Эффективным мероприятием является также перевод времени функционирования максимально возможного количества анализируемых энергоемких потребителей ЭЭ. Однако такой поход, несущий значимый эффект, нельзя признать достаточно полным в решении проблемы повышения электроэнергоэффективности железорудных производств, тем более с их индивидуальностью [5].

В этом комплексе научных задач, подлежащих решению, должен присутствовать головной компонент влияния на электроэнергоэффективность - технологические параметры добычи ЖРС данного предприятия или группы предприятий. Весь этот контрольный и управленческий комплекс должна взять на себя АСУ [4,7].

При этом уровень эффективности управления будет определяться адекватностью обработки АСУ соответствующего многофакторного алгоритма, где базовыми принципами строения алгоритма должна быть: оценка, контроль и управление уровнем электроэнергопотребления железорудного предприятия, в т. ч. с помощью потребителей-регуляторов электрической энергии.

Функционирование такой АСУ должно базироваться на принятии решений на основе метода факторного анализа, базирующегося на статистической информации, обработанной с помощью методов моделирования и математической статистики (рис.6) [12].

Для этого необходимо определить систему факторов, влияющих на эффективность потребления ЭЭ приемниками, которые в последствии необходимо ранжировать на группы для структурно – логического представления и классификации их [7].

На рис. 7 представлена рекомендуемая блок-схема алгоритма получения факторных моделей электропотребления.

Алгоритм работы системы управления энергопотреблением железорудного предприятия представлен на рис. 8.

Это база для разработки АСУ «Энергопотребление: прогноз-реальность» с целью повышения электроэнергоэффективности при добыче ЖРС.

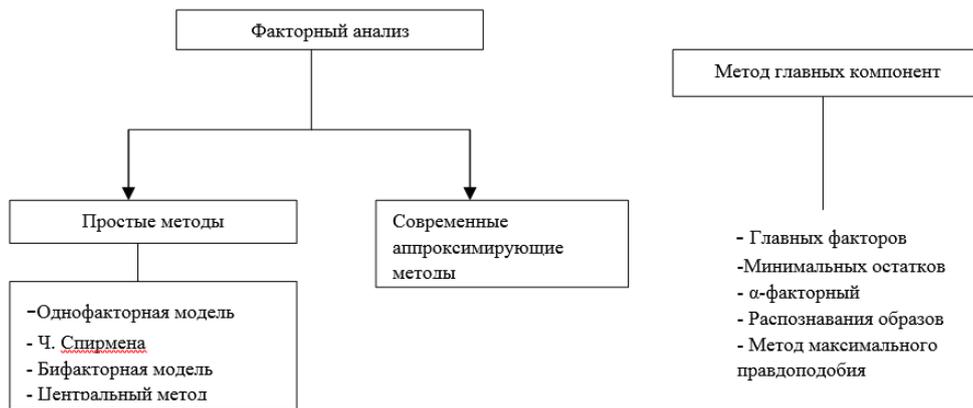


Рис. 6. Структурно-логическое представление классификации методов факторного анализа

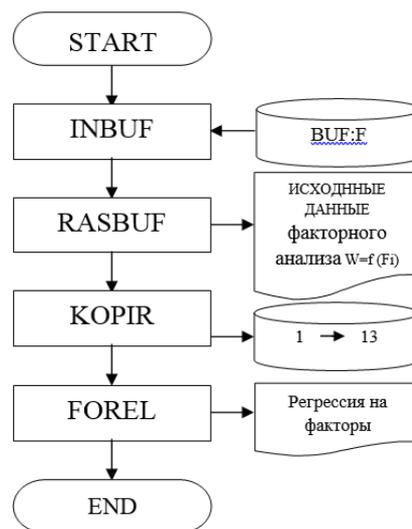


Рис. 7. Блок-схема алгоритма получения факторных моделей электропотребления

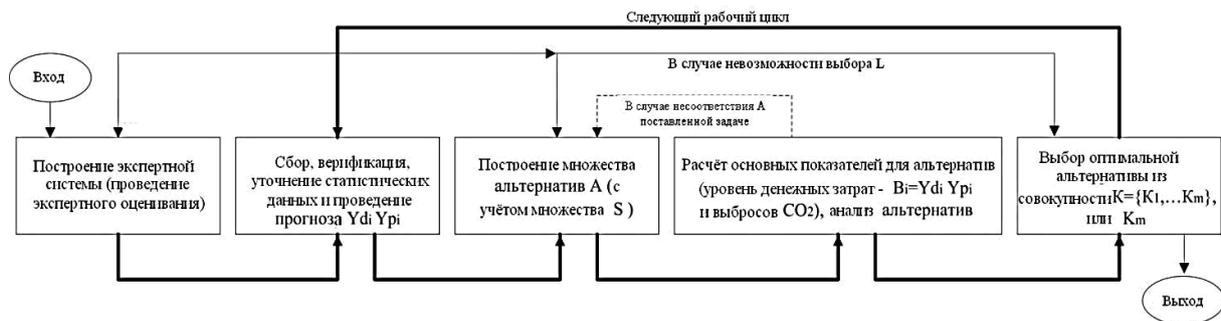


Рис. 8. Алгоритм работы системы

Реализация рекомендованных способов позволит сократить потери электроэнергии по железорудной шахте (комбинату) за оптимистическим потенциалом на 35-40%, за пессимистическим - на 15-20%.

Выводы и направление дальнейших исследований. Для реального снижения удельных показателей расхода электрической энергии на тонну добываемого железорудного сырья отечественными горнорудными предприятиями необходимо:

оценить дифференцированно возможности корректировки уровней потребления электрической энергии в функциях ряда переменных факторов, влияющих на все слагаемые комплекса: электроснабжение – электропотребление как объекта регулирования каждой отдельно взятой шахты;

внедрить в практику работы горнорудных предприятий систему контроля, учета и управления процессом потребления электрической энергии в комплексе АСУ технологическим процессом как по отдельно взятой шахте так и при необходимости по производственным объединениям, (комбинатам) в целом.

Список литературы

1. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року [Текст] / **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. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009 – 2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004 – 2011 гг. [Текст] / **Е.К. Бабец, Л.А. Штанько, В.А. Салганик** и др. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011 – 329 с.
3. **Сінчук О.М.** Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. Монографія [Текст] / **О.М. Сінчук, А.Г. Бажал** – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.
4. **Сінчук І.О.** Потенціал електроенергоєфективності и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монографія [Текст] / **І.О. Сінчук, Э.С. Гузов, А.Н. Ялова, С.Н. Бойко**// под ред. докт. техн. наук, профессора О.Н. Сінчука. – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В, 2015. – 296 с.
5. **Пархоменко Р.А.** К вопросу оценки процесса электропотребления горнорудных предприятий в условиях неопределенности и неполноты информации [Текст] / **М.А. Баулина, Р.А. Пархоменко, А.Н. Ялова** // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: Збірник матеріалів конференції Міжнародної 3 науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КрНУ, 2013. – С.190-191.
6. **Сінчук О.Н.** Метод оцінювання ефективності споживання електричної енергії залізрудними підприємствами [Текст] / **О.Н. Сінчук, І.О. Сінчук, Т.М. Берідзе, А.М. Ялова** // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеський НПУ. – 2013. – С.49-57.
7. **Ялова А.М.** Споживання електричної енергії та вплив на цей процес системи чинників формування факторного простору в умовах залізрудних підприємств [Текст] / **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.
8. **Праховник А.В.** Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий [Текст] / **А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев** – М.: Недра, 1985 - 232 с.
9. Електрифікація гірничого виробництва: Підручники для ВНЗ: у 2-х т. [Текст] / За редакцією **Л.О. Пучкова, Г.Г. Півняка**. – Д.: Нац. гірн. університет, 2010, т. 1. – 503 с.
10. **Розен В.П.** Оцінювання енергоєфективності електроспоживання вугільних шахт [Текст] / **В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.І. Волинєць** // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: Матеріали IV-ої міжнародної науково-технічної конференції – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2012. – С. 130 – 132.
11. **Калиниченко В.Ф.** Определение нагрузки на шинах главной подземной подстанции шахты [Текст]: Бюллетень НТИ. / **В.Ф. Калиниченко** – НТИ. – 1980.
12. **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.
Рукопись подана в редакцию 26.02.16