

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

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА И ТАКТИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Изложен анализ структуры объемов энергозатрат на железорудных предприятиях с подземным способом добычи. Показано, что на долю электрической энергии приходится около 90 % всех энергозатрат. Рассмотрены пути повышения электроэнергоэффективности на данных видах горных предприятий. Предложены конкретные рекомендации по повышению электроэнергоэффективности отечественных подземных железорудных производств путем введения системы энергоменеджмента.*

**Ключевые слова:** электроснабжение, железорудное производство, электроэнергоэффективность, энергозатраты, служба энергетического менеджмента, политика энергосбережения.

### 1. Введение

К сожалению, в силу специфики технологии горно-металлургических производств, горнорудные предприятия являются наиболее энергоемкими среди всех других [1]. Этот факт оказывает существенное влияние на себестоимость продукции отечественных железорудных комбинатов, что в свою очередь сказывается на ее конкурентоспособности на мировом рынке железорудного сырья. Таким образом, снижение затрат электрической энергии даст возможность снизить себестоимость продукции [1, 2].

На настоящее время функции контроля за эффективностью использования энергоресурсов на большинстве горнодобывающих предприятий Украины, как правило, выполняют отделы главного энергетика комбината (шахты, карьера). Необходимые функции в нужных объемах структурами служб главных энергетиков не выполняются или носят необязательный декларационный характер. В том числе, в силу отсутствия реального контроля, а точнее — отсутствия управляемости процессом энергоиспользования можно констатировать факт непропорциональности энергопотребления с объемами выпуска продукции железорудными предприятиями. В связи с этим, на данный момент актуальным является вопрос разработки тактики повышения энергоэффективности энергопотребления железорудных производств [3].

### 2. Постановка проблемы

В данном аспекте вышеизложенной проблемы далеко не исчерпавшим себя направлением повышения энергоэффективности представляется, прежде всего, оценка реально имеющегося потенциала конкретного вида производства с построением системы управления и оптимизации процесса энергопотребления каждым видом (типом) потребителей [3]. Не менее важной составляемой в тактике реализации вышеизложенной проблемы является учет особенностей горнорудных производств,

которые по сути определяют эффективность того или иного из предлагаемого объема решений [4].

Проблема энергоэффективного использования всех видов энергии горнорудными предприятиями Украины, невзирая на ряд объективных, в основном, человеческих факторов, все же заключается в отсутствии реальных эффективных методов управления этим процессом [4].

**Целью статьи** является разработка тактики повышения энергоэффективности подземных железорудных производств путем внедрения современной модели службы энергетического менеджмента железорудного комбината для обеспечения наиболее эффективных путей реализации политики энергосбережения предприятия.

### 3. Анализ литературных данных

Одной из весомых особенностей подземных горнорудных производств является постоянное понижение уровня ведения работ, в связи с чем себестоимость добычи руды с каждым годом возрастает (рис. 1) [5].

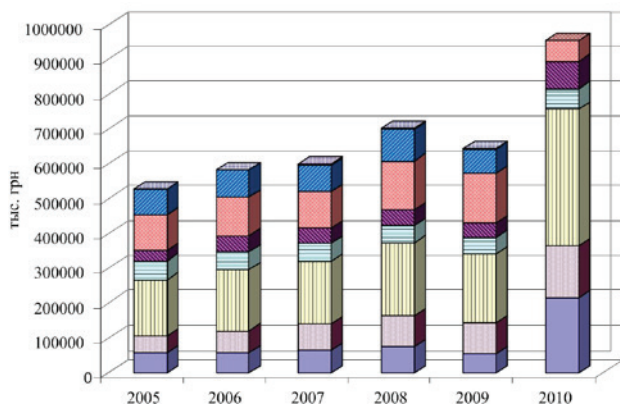
Так на предприятиях Криворожского железорудного бассейна за последние 5 лет себестоимость 1 т руды увеличилась почти вдвое [5]. Как показывает анализ слагаемых общей себестоимости, существенную роль в этом играют энергозатраты (рис. 2).

При этом весомым моментом для строения системы контроля и управлением процессом энергопотребления является и факт, что колебания себестоимости добываемой железной руды — железорудного сырья для металлургической промышленности, как впрочем, и других полезных ископаемых не носят явной корреляционной связи [6].

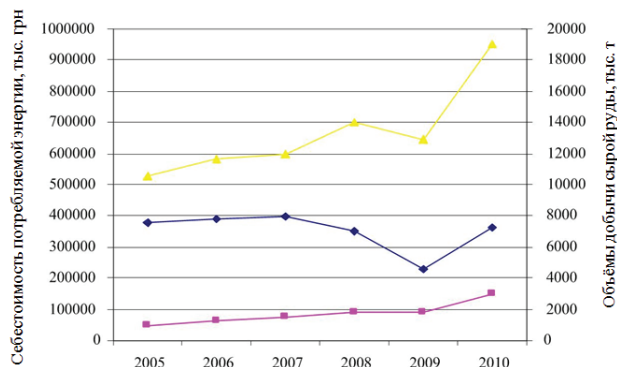
Установлено [7], что основным видом энергии, потребляемой железорудными шахтами является электрическая, на долю которой приходится около 90 % общих энергозатрат (рис. 3).

Наиболее энергоемкими потребителями электрической энергии (ЭЭ) железорудных шахт (ЖРШ) явля-

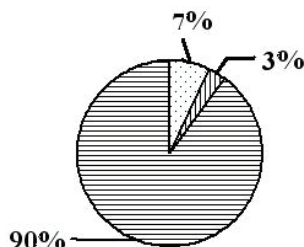
ются стационарные установки — водоотлив, вентиляция, подъем, компрессорные — вместе потребляющие свыше 80 % всей потребляемой ЭЭ шахты. Особенно велики затраты на выработку сжатого воздуха центральными компрессорными станциями (ЦКС), составляющие более 30 % от всей потребляемой комбинатом электроэнергии [6].



**Рис. 1.** Основные составляющие себестоимости железной руды по ПАО «Криворожский железорудный комбинат»: ■ — технологические перевозки; ■ — затраты на содержание и эксплуатацию оборудования; ■ — другие (общерудничные производственные); ■ — налоги и сборы; ■ — амортизация; ■ — затраты на оплату труда с начислениями; ■ — энергия на технологические цели; ■ — вспомогательные материалы



**Рис. 2.** Графики изменения производственной себестоимости потребляемой энергии и объемов добычи сырой руды: ■ — энергия на технологические цели; ■ — объем сырой руды; ■ — производственная себестоимость



**Рис. 3.** Диаграмма слагаемых энергозатрат по железорудным предприятиям с подземным способом добычи руды: ■ — природный газ; ■ — тепловая энергия; ■ — электрическая энергия

Сжатый воздух от центральных компрессорных станций, находящихся на поверхности шахт, транспортируется по трубопроводам к местам использования (к забоям шахт) на расстояние нескольких километров. При этом естественно, что и значительная часть энергии в ходе транспортировки теряется. В результате с учетом всех потерь КПД пневматического привода в железорудных шахтах составляет всего 8–10 % [6, 7].

В этой связи большие возможности снижения энергозатрат открывает замена пневматического привода электрическим, имеющим КПД на порядок выше, — для погрузочных и буровых машин, ударного инструмента. Это даст возможность сократить или вообще отказаться от применения сжатого воздуха, от центральных компрессорных станций и длинных пневматических трубопроводов. Вместе с тем, при необходимости можно использовать передвижные компрессорные установки небольшой производительности непосредственно в местах потребления сжатого воздуха — в подземных выработках шахт и на поверхности [8].

Эксплуатируемые в настоящее время системы электропитания железорудных предприятий характеризуются значительным завышением мощностей силовых трансформаторов, установленных как на поверхности, так и на подземных подстанциях. Соответственно завышаются параметры аппаратуры и сечения кабелей, увеличиваются капитальные затраты. Низкий коэффициент загрузки силовых трансформаторов также является одной из причин работы оборудования в неэкономичных режимах. Это происходит на стадии проектирования из-за завышения расчетных электрических нагрузок [9]. Причиной такого положения является несовершенство, как самих методов расчета, так и некорректность используемых расчетных коэффициентов. При выполнении расчетов электрических нагрузок потребители искусственно разделяются на группы с однотипным режимом работы, хотя реально мы имеем технологические группы потребителей с различными режимами работы: потребители технологических участков, цехов, предприятий в целом. Другими словами, логика построения применяемых методик расчета не соответствует структуре строения систем электроснабжения [9, 10].

Повышение энергоэффективности отечественных железорудных предприятий — это задача комплексная, для решения которой требуются не только технические, но и организационные мероприятия, и прежде всего разработка и внедрение в практику работы этих предприятий действенной структуры энергоменеджмента [11].

#### 4. Основные направления в реализации процесса снижения энергозатрат на отечественных железорудных шахтах

Наиболее перспективным путем снижения энергозатрат на ЖРШ является снижение электропотребления и энергозатрат в стационарных установках и особенно в центральных компрессорных установках (ЦКС) [6].

Энергоэффективность может быть также существенно повышена путем применения регулируемого электропривода для таких потребителей как конвейеры, вентиляторные установки и др. Так, вентиляторы главного проветривания потребляют до 20 % электроэнергии, что показывает низкую энергоэффективность вентиляционных систем. Применение регулируемого электропривода позволит регулировать подачу воздуха в соответствии с потребностями проветривания. Дополнительно за счет снижения подачи воздуха снижается также общешахтная депрессия, и соответственно, уменьшаются внешние и внутренние утечки воздуха [6–8].

Затраты за потребляемую электрическую энергию могут быть существенно снижены путем регулирования электропотребления по тарифным зонам суток. Учитывая,

что в ночные часы цена электроэнергии в 4,8 раза ниже, чем в часы максимума энергосистемы, разрабатываются планы-графики регулировочных мероприятий, внедрение которых позволит снизить нагрузку в часы утреннего и вечернего максимумов нагрузки энергосистемы [9]. В условиях шахт в качестве потребителей-регуляторов наиболее эффективно использовать водоотливные установки, которые должны работать главным образом в часы минимальной цены электроэнергии — в ночные часы. Емкости водосборников обычно имеют достаточный запас, при необходимости емкости могут быть увеличены.

Остается актуальным вопрос компенсации реактивной мощности для повышения эффективности систем электроснабжения [9]. Рассмотрены особенности компенсации реактивной мощности в условиях железорудных комбинатов с использованием синхронных машин с учетом их режимов работы и дополнительных потерь энергии, обусловленных генерацией реактивной мощности.

Силовые трансформаторы на главных подстанциях железорудных комбинатов имеют низкий коэффициент загрузки (30–40 %) в силу чего и работают в неэкономичных режимах [9, 10]. Оценка снижения потерь при выводе в «холодный» резерв одного из трансформаторов в зависимости от результирующего коэффициента загрузки оставшегося в работе трансформатора показала, что вывод в «холодный» резерв одного из трансформаторов экономически целесообразен при результирующем коэффициенте загрузки меньше 0,6.

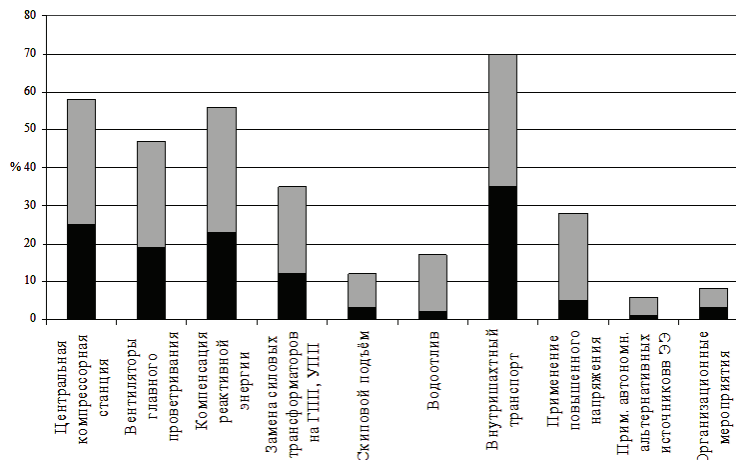
Среди подземных потребителей наиболее сложным и энергоемким электротехническим комплексом является электровозный транспорт, имеющий низкую эффективность энергоиспользования. Применение реостатных систем управления приводит к тому, что 30–40 % электроэнергии бесполезно теряется в регулировочных реостатах тяговых электротехнических комплексов электровозов. Современное развитие промышленной электроники позволяет значительно улучшить технические характеристики электровозов и в 1,5 раза сократить расход электроэнергии [9].

## 5. Апробация результатов исследований

На рис. 4 представлена обоснованная авторами картограмма потенциалов повышения электроэнергоэффективности слагаемых систем электроснабжения и электропотребления железорудных шахт. При этом под электроэнергоэффективностью понимается потенциал (в процентах) возможного сокращения потребления или потерь ЭЭ конкретными потребителями или слагаемым систем электроснабжения [6, 7].

Реализация рекомендуемых способов позволит по железорудной шахте (комбинату) сократить расход ЭЭ в оптимистическом варианте на 35–40 %, в пессимистическом — на 15–20 %.

Вместе с тем отметим, что для комплексного решения проблемы повышения электроэнергоэффективности отечественных железорудных предприятий прежде всего необходима разработка действенной структуры



**Рис. 4.** Сопоставление оптимистического и пессимистического потенциалов повышения электроэнергоэффективности слагаемых систем электроснабжения и электрооборудования железорудных шахт: ■ — пессимистический потенциал; □ — оптимистический потенциал

энергоменеджмента и ее внедрение в практику работы этих предприятий на всех уровнях иерархии их строения (рис. 5) [6, 7].

Главными функциями при создании службы энергетического менеджмента должны быть:

- планирование;
- учет и отчетность;
- нормирование;
- контроль;
- анализ и принятие решений;
- регуляция;
- организация;
- мотивация.

Для этого предприятие должно разработать политику энергосбережения — публично декларируемые принципы и обязанности, которые связанные с аспектами энергосбережения деятельности предприятия и обеспечивают основу для установления его целей и задач энергосбережения [11].

Руководство предприятия должно гарантировать, что политика энергосбережения:

- соответствует общим целям организации;
- включает обязательство действовать в соответствии с требованиями и при непрерывном улучшении результативности систем энергосбережения (СЭМ);
- служит основой для формирования и анализа целей в сфере энергосбережения;
- известна персоналу и является понятной в рамках организации, а также анализировалась с целью подтверждения ее соответствия.

Составляющей политики энергосбережения должна стать программа энергосбережения и программа энергетического менеджмента, которая должна содержать:

- общие положения;
- ответственность руководства;
- характеристику и перспективы развития предприятия;
- современное состояние энергопотребления и прогнозируемые нужды предприятия в ТЭР;
- состояние, потенциал и приоритеты энергосбережения на предприятии;
- первоочередные малозатратные и перспективные энергосберегающие мероприятия;

- технико-экономическую оценку энергосберегающих мероприятий;
- задание подразделениям относительно внедрения энергоэффективного оборудования и технологий;
- систему управления контрольно-измерительным оборудованием;
- стимулирование персонала;
- подготовка кадров;
- мониторинг и контроль исполнения программ;
- механизм реализации программы [12].

Разработка программы энергоменеджмента включает в себя:

- обоснование целей и задач энергосбережения (плановых значений соответствующих показателей) на определенный период времени для установленных приоритетных аспектов деятельности предприятия в сфере энергосбережения;
- производство организационных, технико-технологических и экономических мероприятий и действий (как беззатратных и малозатратных, так и долгосрочных, требующих значительных капиталовложений) для достижения принятых предприятием целей и задач энергосбережения;
- оформление программы энергетического менеджмента в виде самостоятельного документа и установление порядка его систематической корректировки и дополнения [6, 11].

Программа энергоменеджмента должна устанавливаться [12]:

- основные положения;
- цель;
- область применения;
- порядок разработки, оформления, согласования, выполнения политики энергосбережения и ее мониторинга.

Основными этапами внедрения системы энергоменеджмента на предприятии являются:

- оценка текущего состояния и потенциала энергосбережения;
- технико-экономическое обоснование необходимости внедрения СЭМ на предприятии;
- разработка и декларация политики энергосбережения предприятия;
- разработка программы энергосбережения;
- разработка системы финансирования СЭМ;
- разработка программы внедрения СЭМ;
- формирование службы ЭМ;
- разработка программ мотивации, информирования и обучения персонала в сфере энергоменеджмента;
- внедрение системы целевого энергетического мониторинга;
- внедрение системы измерения и контроля затрат ТЭР по каждому подразделению;
- создание пакета внутренних стандартов и правил службы ЭМ;
- проведение внутренних энергоаудитов;
- анализ со стороны руководства;
- проведение внешнего энергоаудита СЭМ;
- сертификация СЭМ.

Рекомендуемая модель системы энергоменеджмента приведена на рис. 6.

Основные решаемые вопросы:

- проблема финансирования наиболее эффективных направлений внедрения энергосберегающих мероприятий;
- обоснование задач, которые должны решаться в системе энергетического менеджмента, с определением алгоритмов решения, программного обеспечения и организационной структуры энергетических служб;

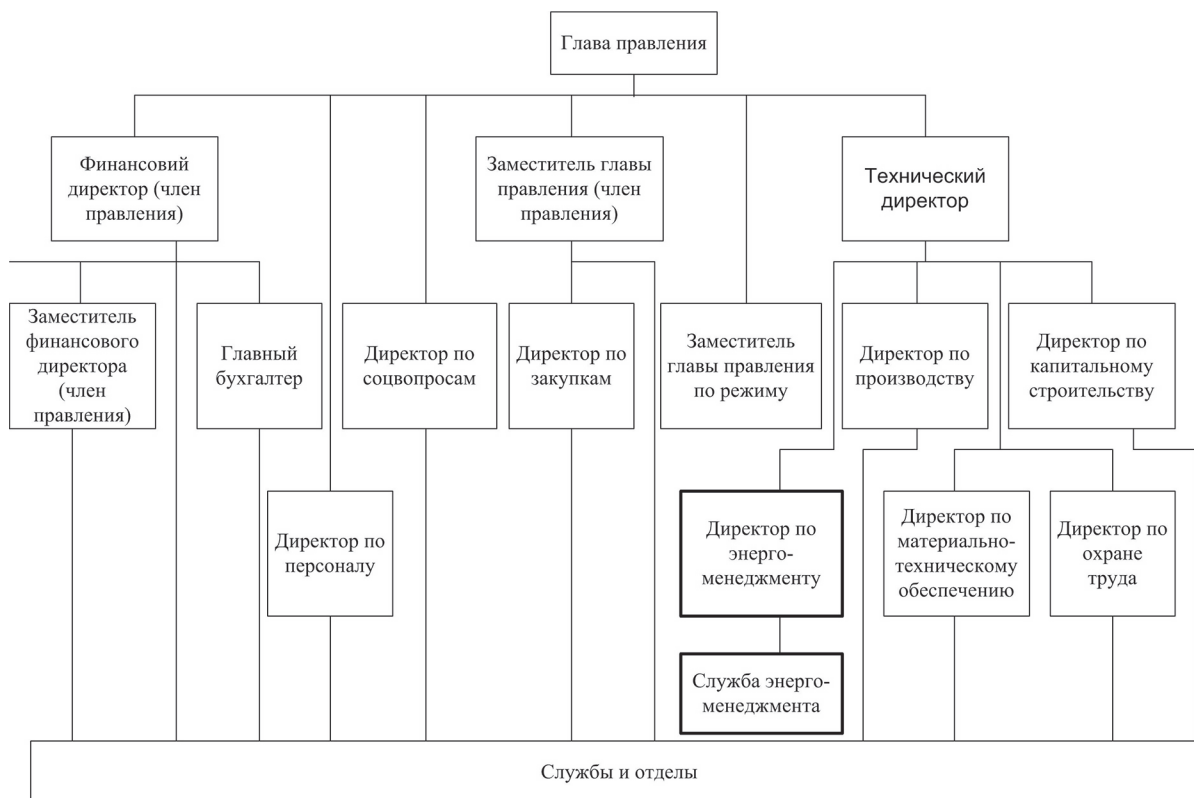


Рис. 5. Упрощенная схема организационной структуры ПАО «Криворожский железорудный комбинат»



- проблема кадрового обеспечения энергетических служб предприятий и проблема мотивации энергосбережения;
- реализация концепции энергетического менеджмента и осознание необходимости ее реализации на высшем уровне управления экономикой.



Рис. 6. Рекомендуемая модель системы энергоменеджмента горнорудного комбината

Функциональные обязанности персонала предприятия в сфере энергоменеджмента:

- участие в осуществлении мероприятий и действий программы энергетического менеджмента в соответствии с основными производственными обязанностями;
- инициативное участие в разработке и реализации безрасходных и малорасходных мероприятий по рациональному использованию энергетических ресурсов, снижения потерь, предотвращения негативного влияния на окружающую среду.

Основными экономическими выгодами от внедрения системы энергетического менеджмента на предприятии является:

- деятельность в сфере энергосбережения начинает соответствовать основным целям руководства предприятия;
- систематически снижаются производственные и эксплуатационные расходы, теряется меньше энергии и ресурсов, уменьшаются расходы, связанные с влиянием предприятия на окружающую среду;
- получение дополнительного дохода, связанного с энергосберегающими аспектами деятельности предприятия;
- повышается конкурентоспособность предприятия на внутреннем и внешнем рынках;
- предприятие получает дополнительные возможности быть признанным на международном уровне и мировом рынке;
- создание дополнительных рабочих мест.

Основными барьеры, возникающие при внедрении СЭМ:

- нормативно правовая несогласованность статуса энергоменеджера и службы энергоменеджмента;

- отсутствие политики энергосбережения, которая бы отвечала лучшим образцам развитых стран мира;
- недостаточное финансирование мероприятий по энергосбережению;
- отсутствие стимулирования руководством работников предприятия к энергосбережению;
- недостаточная поддержка со стороны руководства предприятия;
- необходимость реорганизации структуры предприятия на стадии внедрения СЭМ;
- недостаточная информированность персонала о внедрении СЭМ;
- отсутствие на предприятии необходимых средств учета энергопотребления [11, 12].

## 6. Выводы

1. Наиболее энергоемкими потребителями на железорудных предприятиях являются стационарные установки — водоотливные, вентиляционные, подъемные, компрессорные — потребляющие свыше 80 % всей потребляемой электроэнергии. В связи с этим целесообразно и энергоэффективно применение регулируемого электропривода для этих видов потребителей электрической энергии.

2. Материальные затраты на оплату за потребляемую электрическую энергию могут быть существенно снижены путем регулирования электропотребления по тарифным зонам суток. Наиболее эффективно в качестве потребителей — регуляторов использовать главные водоотливные установки.

3. Внедрение служб энергетического менеджмента на горнорудных предприятиях даст возможность постоянно анализировать состояние использования энергии, организовать объективный учет и контроль состояния затрат всех видов энергоресурсов, критически оценить энергетическую эффективность основных и вспомогательных (общепромышленных) технологий, активизировать и объединить уже существующие на предприятии многочисленные возможности и средства для практического решения приоритетных проблем рационального использования энергоресурсов.

## Литература

- Сінчук, О. М. Основи енергозберігаючого керування електроенергетичними системами та комплексами [Текст] / О. М. Сінчук, І. О. Сінчук та ін. — Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2010. — 340 с.
- Гойхман, В. М. Регулирование электропотребления и экономия электроэнергии на угольных шахтах [Текст] / В. М. Гойхман, Ю. П. Миновский. — М.: Недра, 1988. — 320 с.
- Розен, В. П. Оцінювання енергоефективності електроживлення вугільних шахт [Текст] / 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.
- Сердюк, Т. В. Особливості реалізації політики енергозбереження в Україні: досягнення та шляхи вдосконалення [Текст] / Т. В. Сердюк, С. Ю. Францишина // Вісник Хмельницького національного університету. — 2009. — № 1. — С. 52–56.
- Азарян, А. А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих технологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв [Текст] / А. А. Азарян, Ю. Г. Вілкул та ін. — Кривий Ріг: Мінерал, 2006. — 219 с.
- Праховник, А. В. Проблеми, методи і засоби управління використанням електричної енергії [Текст] / А. В. Праховник, В. Ф. Находов // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2007. — № 1. — С. 41–48.

7. Климова, Г. Н. Оценка потенциала энергосбережения региона. Проблемы энергетики [Текст] / Г. Н. Климова, В. А. Литвак // Известия высших учебных заведений. — 2010. — № 3. — С. 42–48.
8. Technik: podręcznik opracowany według niemieckiego pierwowzoru, wydawanego przez Stowarzyszenie «Hütte». T. 1 [Electronic resource]. — Gebethner i Wolff, 1905 (orig. ed.). — 2012 (digital ed.). — 1213 p. — Available at: \www/ URL: <http://212.182.64.85/dlibra/docmetadata?id=746&from=pubindex&dirids=31&lp=140>. — 20.05.2014.
9. Синчук, О. Н. Совершенствование методов расчета электрических нагрузок при проектировании и модернизации систем электроснабжения железорудных предприятий [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, Р. А. Пархоменко // Вісник Кременчуцького національного університету. — 2013. — Вип. 1(78). — С. 28–32.
10. Hoshide, R. K. Energy Conservation Measures (ESMs): Which Projects Should We Select [Text] / Robert K. Hoshide // Strategic Planning for Energy and the Environment. — 2007. — Vol. 16, No. 4. — P. 6–17.
11. Мамалыга, В. М. Организация службы энергоменеджмента промышленного предприятия [Текст] / В. М. Мамалыга // Энергетика и электрификация. — 2011. — № 3. — С. 42–50.
12. Випанасенко, С. І. Системи енергоменеджменту вугільних шахт [Текст] / С. І. Випанасенко. — Д.: Національний гірничий університет, 2008. — 106 с.

#### ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛУ ТА ТАКТИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ВИРОБНИЦТВ

Викладений аналіз структури об'ємів енерговитрат на залізорудних підприємствах з підземним способом добування. Показано, що на долю електричної енергії припадає біля 90 % всіх енерговитрат. Розглянуті шляхи підвищення електроенергоєфективності на даних видах гірських підприємств. Запропоновані конкретні рекомендації по підвищенню електроенергоєфективності вітчизняних підземних залізорудних виробництв шляхом введення системи енергетичного менеджменту.

**Ключові слова:** електроспоживання, залізорудне виробництво, електроенергоєфективність, енергозатрати, служба енергетичного менеджменту, політика енергозбереження.

*Синчук Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Синчук Игорь Олегович, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Гузов Эдуард Семёнович, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Яловая Алёна Николаевна, аспирант, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Баулина Марина Анатольевна, аспирант, кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Синчук Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Синчук Ігор Олегович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Гузов Едуард Семенович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Ялова Альона Миколаївна, аспірант, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Бауліна Марина Анатоліївна, аспірант, кафедра автоматизованих електро механічних систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Sinchuk Oleg, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Sinchuk Igor, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Guzov Eduard, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Yalova Al'ona, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Baulina Marina, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

УДК 621.187.16

**Кишневский В. А.,  
Чиченин В. В.,  
Савич С. Л.**

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА БЛОЧНЫХ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ АЭС

*В статье предложен метод и алгоритм расчета ряда водно-химических режимов комплексных оборотных систем охлаждения ТЭС и АЭС.*

*Усовершенствована методика расчета углекислотного равновесия, позволяющая получать расчетные значения pH и формы щелочности в циркуляционной воде для исследуемых систем, практически не отличающаяся от аналитически измеренных величин.*

**Ключевые слова:** оборотные системы охлаждения, конденсаторы ТЭС и АЭС, скорость отложений, водно-химические режимы.

### 1. Введение

На стадии проектирования комплексных оборотных систем охлаждения (КОСО) необходимо выбрать:

структурную схему соединений водоподготовительной установки (ВПУ), охладителей и конденсаторов; необходимые теплогидравлические и физико-химические условия их эффективной работы; водно-химический