

УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Л. Петров¹, Н.М. Кузнецов², И.Н. Морозов³

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: petrovv@misis.ru

² Центр физико-технических проблем энергетики Севера Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» (ЦЭС КНЦ РАН), Апатиты, Россия

³ Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

Аннотация: На современном этапе развития электроэнергетических систем предприятий горнопромышленного сектора необходимо осуществлять переход к интеллектуальному управлению спросом на электроэнергию. Для научно-методического обеспечения интеллектуализации систем управления технологическими процессами с помощью нейросетевых технологий требуется разработка интеллектуальных систем частотно-регулируемого электропривода с возможностью контроля электротехнологических параметров. Это позволит создать программно-аналитические комплексы для управления энергоэффективностью и обеспечить надежность работы энерготехнологического оборудования. При переходе энергетических комплексов горных предприятий от традиционной организации энергосистем к новым технологиям гибкого построения и интеллектуального управления электросетевым комплексом с внедрением направлений распределенной энергетики необходимо разрабатывать механизмы управления спросом на электрическую энергию. Приоритетными направлениями создания новых технологических продуктов для управления спросом на электроэнергию являются: цифровые устройства и системы учета потребления электроэнергии; программно-аппаратные средства анализа электропотребления; облачные и распределенные системы интеллектуального анализа и управления электропотреблением. Построение интеллектуальной электрической сети горных предприятий для развития распределительного электросетевого комплекса должно включать следующие основные направления совершенствования: интеллектуализацию силового оборудования и технологии распределения электроэнергии; интеллектуализацию систем управления технологическими процессами и электропотреблением; интеллектуализацию коммуникационных и информационных устройств; интеллектуализацию автоматизированных систем учета и контроля электропотреблением. Создание интеллектуальных автоматизированных энергетических систем для крупнейших потребителей в области горного производства позволит сформировать соответствующее управление спросом на энергетические ресурсы.

Ключевые слова: горное предприятие; система электроснабжения; интеллектуальная энергетика; Smart Grid; энергопотребление; мониторинг; математическое моделирование; управление спросом, информационные системы; автоматизация.

Для цитирования: Петров В. Л., Кузнецов Н. М., Морозов И. Н. Управление спросом на электроэнергию в горнопромышленном секторе на основе интеллектуальных электроэнергетических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 2. – С. 169–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_169.

Electric energy demand management in mining industry using smart power grids

V.L. Petrov¹, N.M. Kuznetsov², I.N. Morozov³

¹ National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: petrovv@misis.ru

² Northern Energetics Research Centre Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

³ Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

Abstract: At the modern scale of development of power grids, the mining industry should change to intelligent control of electric energy demand. Toward the science-based supervision of intellectualization of process flow control using neural network technologies, it is required to develop smart variable frequency drives and to enable control of electrotechnics parameters. The analytical programs and software are required to ensure energy efficiency management and electrical equipment reliability. In transition of power grids in the mining industry from the traditional arrangement to the novel flexible architecture and intelligent control within the concept of distributed power, it is required to develop mechanisms of electric energy demand management. The top-priority trends in innovative engineering concerned with electric energy demand management are: digital counters and reporting systems in power consumption; software/hardware for the power consumption analysis; cloud and distributed systems of intelligent analysis and control in power consumption. Construction of a smart power grid in a mine should include intellectualization of: power equipment and power distribution technology control systems of process flows and power supply; communication and information facilities; automated reporting and control of power consumption. Creation of automated smart power grids for the largest power consumers in the mining industry can enable appropriate demand management in the sphere of energy resources.

Key words: mine, power supply system, intelligent power generation, Smart Grid, power consumption, monitoring mathematical modeling, demand management, information systems, automation.

For citation: Petrov V. L., Kuznetsov N. M., Morozov I. N. Electric energy demand management in mining industry using smart power grids. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(2):169-180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_169.

Введение

Централизованные электроэнергетические системы приобретают все больше интеллектуальных свойств и характеристик, что требует гармонизации в подходах внедрения интеллектуальных технологических решений на разных иерархических уровнях.

Термины Smart Grid (IntelliGrid, Future Grid и др.), относящиеся к интеллектуальным энергосистемам, определя-

ют концептуальное содержание по сути электроэнергетики будущего. В странах с развитой экономикой эта концепция реализуется на уровне государственной политики (США, Китай, ЕС). Таким системам свойственны (рисунок): активная распределительная топология; использование силовой электроники на всех уровнях напряжения; использование и комбинирование систем генерации и аккумуляции электроэнергии; новые

подходы к построению систем защиты и автоматического управления в разных режимах работы электроэнергетической системы; планирование режимов электропотребления; развитая система телекоммуникации [1]. Формирование интеллектуальных электрических систем определяет необходимость совершенствования информационно-диагностических систем, автоматизированных систем управления технологическими процессами, потребления и распределения энергии. Международный опыт создания таких систем показывает, что на национальном уровне используют разные целевые задачи их развития [2].

В странах Евросоюза концентрируются на интеграции возобновляемых источников энергии, вопросах энергоэффективности, а также интеграции рынков Евросоюза при реализации проектов безуглеродной экономики. США центральное место уделяют вопросам надежности энергоснабжения, управления пиковыми нагрузками и жизненным циклом технологических объектов. В Китае в

качестве приоритетов выделяют интенсивное и быстрое развитие энергетической системы и ее подсистем, интеграцию региональных систем или обеспечение взаимодействия между ними.

Технологии интеллектуальных сетей можно определить как самодостаточные системы, которые сокращают участие человека в принятии решений и обеспечивают полную функциональность электроснабжения [3].

Единый комплекс генерации электроэнергии, сетевых решений, алгоритмического и программного обеспечения, потребления, мониторинга и управления определяют интеллектуальное содержание Smart Grid.

С увеличением объемов добычи полезных ископаемых, темпов освоения новых месторождений, производительности и энерговооруженности горного оборудования по добыче и переработке минерального сырья усиливается роль электроэнергетических систем горнопромышленного комплекса [4–6]. Они призваны обеспечить надежное элект-



Структура интеллектуальной энергетической системы предприятия
Структура интеллектуальной энергетической системы предприятия

роснабжение горных производств с выполнением всех стандартов технологической и экологической безопасности и, безусловно, с приемлемыми экономическими показателями [7 – 10].

Электроэнергетические системы предприятий горнопромышленного комплекса подчиняются в своем развитии общим закономерностям, которые свойственны для централизованных электроэнергетических систем, но с учетом требований и специфики горных производств.

При переходе энергетических комплексов горных предприятий от традиционной организации энергосистем к новым технологиям гибкого построения и интеллектуального управления электросетевым комплексом с внедрением направлений распределенной энергетики необходимо разрабатывать механизмы управления спросом на электрическую энергию.

Для управления спросом на электроэнергию потребителей горнопромышленного сектора необходимо совершенствование следующих направлений развития интеллектуального электротехнологического комплекса:

- интеллектуализация систем управления технологическим производством;
- создание новых технических средств электрических сетей горных предприятий;
- интеллектуализация автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии;
- мониторинг и диагностика электрических сетей и электроустановок.

Интеллектуализация систем управления технологическим производством

К основным задачам построения новых автоматических систем управления технологическим производством относятся:

- разработка интеллектуальных систем автоматического регулирования (управления) электроприводами основных энерготехнологических установок горных предприятий с частотно-регулируемым приводом (дробилки, конвейеры, мельницы, насосы и др.) с возможностью контроля электротехнологических и механических параметров работы электроустановок;

- разработка программно-аналитических комплексов (автоматической системы поддержки принятия решений) в целях управления энергоэффективностью, надежностью энерготехнологического оборудования и качеством электроэнергии на горных предприятиях.

При этом необходимо учитывать неопределенность исходной информации, проводить: анализ энергетических потоков по технологическим переделам; разработку моделей электропотребления; обеспечивать регулирование режимов электропотребления в часы максимума и минимума нагрузки; моделировать межремонтные циклы по состоянию электрооборудования; контроль и регулирование показателей качества электроэнергии в узлах электрической нагрузки на основе экспертной оценки.

Научно-методическое обеспечение интеллектуализации систем управления технологическими процессами в разрезах представленных ограничений основывается на гибких или самообучающихся алгоритмах.

В качестве примеров можно привести алгоритмы, основанные на нечетком управлении или нейросетевых технологиях [11].

Создание новых технических средств электрических сетей горных предприятий

Общие направления развития оборудования распределительных электрических сетей, электрооборудования и

систем управления технологическими процессами включают:

- повышение качества электроэнергии и надежности электроснабжения;
- улучшение показателей управляемости электрических сетей, снижение потерь электроэнергии;
- снижение всех видов затрат на обслуживание систем электроснабжения;
- сокращение числа ступеней трансформации.

Следовательно, объективно требуется внедрение определенных технических средств:

- интеллектуальных самодиагностирующих силовых трансформаторов и распределительных устройств;
- сетевых силовых устройств, например, статических тиристорных компенсаторов, фильтрокомпенсирующих устройств, автоматизированных батарей конденсаторов, ограничителей токов короткого замыкания, накопителей электроэнергии и т.д.);
- систем управления, защиты, мониторинга, сбора данных, учета электроэнергии, программно-аппаратных комплексов;
- оборудования на основе высокотемпературной сверхпроводимости.

Обеспечение системного контроля состояния за всеми системами оборудования трансформатора (обмотками, маслом, охлаждением, регулированием напряжения, технологическими защитами) создает предпосылки его интеллектуализации наряду с внедрением систем его диагностики в реальном времени и в условиях нормального функционирования.

Комплектные распределительные устройства должны встраиваться в интеллектуальную систему подстанции и электрической сети. Внедрение в распределительных силовых сетях интеллектуальных устройств позволит повысить надежность электроснабжения потреби-

телей горных предприятий, уменьшить потери мощности и электроэнергии в электрических сетях, улучшить показатели качества электроэнергии.

Для ограничения токов короткого замыкания и поддержания на номинальном уровне напряжения в узлах электросети необходимо применение токоограничителей на основе высокотемпературных сверхпроводников. Применение высокотемпературных сверхпроводящих кабелей позволит увеличить рабочие токи передающих электроэнергию линий, повысить их безопасность и экологичность.

Применение накопителей электрической энергии совместно с распределенной генерацией на местных возобновляемых источниках энергии существенно повысит надежность электроснабжения, позволит активно изменять нагрузку предприятия и выравнять график электропотребления, уменьшая оплату за потребленную электроэнергию.

Технические средства электрических сетей должны адаптироваться к работе внешней энергосистемы, управлять энергопотреблением и обеспечивать надежность работы технологических процессов горных предприятий. При этом горное оборудование должно соответствовать современным требованиям энергетической, экономической и экологической эффективности, обеспечивая оптимизацию энергопотребления на основе внедрения энергосберегающих технологий и местных возобновляемых источников энергии.

Интеллектуализация автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии

Для решения задач энергетического менеджмента и повышения энергоэффективности на горных предприятиях необходима интеллектуализация автома-

тизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

Можно сформулировать главную задачу АСКУЭ — мониторинг и анализ режимов потребления электрической энергии по оборудованию, технологическим переделам, подразделениям предприятия. Она должна быть интегрирована в автоматизированную систему управления предприятием совместно с автоматизированной системой управления технологическим процессом производства продукции. При этом должны решаться следующие задачи энергосбережения и повышения программ энергосбережения:

- контроль показателей энергоэффективности;
- анализ влияния мероприятий на уровень электропотребления с целью повышения экономической эффективности предприятия;
- моделирование потребления электрической энергии при изменении режимов технологических процессов и режимов работы электроустановок;
- формирование мероприятий и программ энергосбережения с учетом наилучших энергосберегающих технологий и возможности их анализа;
- формирования отчетных документов.

Для измерения электрических параметров распределительной сети и потребления электрической энергии потребителями необходимо внедрение интеллектуальных счетчиков, которые должны обеспечивать управление параметрами режима электропотребления в реальном времени. Силовая цепь счетчика должна обеспечивать отключение потребителей электроэнергии при возникновении аварийных режимов и при управлении нагрузкой в пиковые часы энергосистемы. Измерительная цепь обеспечивает контроль режима электропотребления. Цифровая сеть используется для синх-

ронизации измерений и управляющих сигналов, содержит вычислительные ресурсы для системы управления и память для фиксации измерений и управляющих воздействий.

Мониторинг и диагностика электрических сетей и электроустановок

Современные технологии мониторинга и диагностики технического состояния и рабочих характеристик подстанций, линий электропередачи, электрооборудования обеспечивают повышение уровня контроля, оказывают определяющее воздействие на уменьшение затрат при эксплуатации и ремонте.

Система мониторинга режимов работы электрической сети и электрооборудования горных предприятий, учета потребления электроэнергии позволяет анализировать энергоэффективность предприятия, поддерживать оптимальный режим электропотребления и разрабатывать план мероприятий по энергосбережению. При этом она должна обеспечивать анализ качества электроэнергии для выбора необходимых мер по повышению надежности функционирования системы электроснабжения. Для обеспечения надежности работы энерготехнологического комплекса система мониторинга должна обеспечивать анализ качества электроснабжения, анализ режимов работы электроустановок и автоматических выключателей, контроль изоляции кабельных линий.

Применение интеллектуального мониторинга показателей качества электроэнергии на горных предприятиях обеспечивает идентификацию оборудования, которое является источником электромагнитных помех и снижает показатели качества электроэнергии [12].

Наряду с инновационными решениями для мониторинга состояния электрооборудования требуется внедрение

устройств диагностики аварийных ситуаций в электрических сетях: индикаторов короткого замыкания, приборов, регистрирующих тепловое излучение повреждений в контактах, нарушения в работе автоматических выключателей и двигателей (тепловизоров).

В значительной степени это направление развития интеллектуализации систем электроснабжения горных предприятий позволит создать подсистемы прогнозирования состояния системы в целом.

Управление спросом. Практика проектов

Управление спросом (Demand Response) является одним из новых источников гибкости в энергосистемах горного предприятия, позволяющим активно изменять потребление электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на ценовую рыночную ситуацию (сигналы).

Важное значение в реализации проектов, связанных с повышением уровня интеллектуализации электроэнергетических систем, имеют региональные проекты [4, 13–15].

В качестве примера решения задач управления спросом рассмотрим Мурманскую область.

С 2019 г. в Мурманской области для развития механизма ценозависимого потребления электроэнергии внедряется проект, задачей которого является отработка методик и алгоритмов управления спросом промышленных потребителей электроэнергии.

На первом этапе проекта предполагается определить:

- возможность оперативного снижения нагрузки;
- возможность дистанционного снятия и передачи данных.

Для горно-обогатительных предприятий регулирование режимов электропот-

ребления можно осуществлять изменением параметров технологического процесса и горно-геологических факторов, которые влияют на расход электроэнергии. В настоящее время ПАО «ТГК-1» заключило свободный договор купли-продажи электроэнергии, вырабатываемой гидроэлектростанциями в объеме 100 МВт, с горно-обогатительным комбинатом АО «Апатит» (Кировский филиал АО «Апатит», группа «ФосАгро»). Для горно-обогатительного комбината это позволит существенно снизить долю углеродной составляющей в продукции и получить дополнительные конкурентные преимущества по оплате за электроэнергию.

На следующих этапах развития проекта предстоит развивать концепцию активного потребителя, которая должна вписываться в технологию интеллектуальной информационной энергосистемы. Интеллектуальная информационная энергосистема должна обеспечить:

- гибкость (адаптация к реальному по времени уровню потребления электрической энергии, адекватная реакция на внутренние и внешние воздействия);
- интеллектуализацию (реагирование на запросы потребителей электроэнергии);
- интеграцию (размещение объектов генерации электроэнергии);
- «сетевую центричность» (управление генерацией электроэнергии и энергопотреблением на основе разветвленной электрической сети);
- эффективность (использование оборудования, соответствующего требованиям энергетической, экономической и экологической эффективности, включая максимальное использование местных и возобновляемых источников энергии);
- конкурентоспособность (поддержание экономической эффективности локальных систем и доступность электроэнергии для всех потребителей, кото-

рые могут управлять спросом на электропотребление);

- надежность (восстановление и самовосстановление работы энергосистемы).

Выводы

Построение интеллектуальной электрической сети горных предприятий для развития распределительного электросетевого комплекса должно включать следующие основные направления совершенствования [4, 16 – 19]:

- интеллектуализацию силового оборудования и технологии распределения электроэнергии;
- интеллектуализацию систем управления технологическими процессами и электропотреблением;
- интеллектуализацию коммуникационных и информационных устройств;
- интеллектуализацию автоматизированных систем учета и контроля электропотребления.

Все вышеизложенное позволяет утверждать о перспективности и эффективности создания интеллектуальных ав-

томатизированных энергетических систем для крупнейших потребителей в области горного производства, что несомненно позволит сформировать соответствующее управление спросом на энергетические ресурсы [20 – 21].

Полученные результаты исследований имеют важное значение для учебного процесса подготовки горных инженеров по электроэнергетическому и электромеханическому профилям, в рамках образовательных программ которых была проведена апробация [22 – 24].

Вклад авторов

Петров В.Л. — генерация идеи исследования, выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

Кузнецов Н.М. — постановка задачи исследования, выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

Морозов И.Н. — написание текста статьи, выполнение работы по систематизации материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы* / Под ред. А. В. Кириленко. — Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. — 408 с.
2. *The Modern Grid Initiative. Modern Grid v2.0 Powering Our 21st – Century Economy.* United States Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2007.
3. Bayindir R., Colak I., Fulli G., Demirtas K. Smart grid technologies and application // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2016, vol. 66, pp. 499–516. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.002.
4. Кузнецов Н. М., Минин В. А., Селиванов В. Н. Развитие Кольской энергосистемы в интересах горнопромышленного комплекса Мурманской области // *Горный журнал.* — 2020. — № 9. — С. 96 – 100. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.14.
5. Кузнецов Н. М., Морозов И. Н. Применение нейросетевого регулирования в управлении водоотливными установками // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева.* — 2018. — № 4(123). — С. 135 – 142. DOI: 10.46960/1816-210X_2018_4_135.
6. Ключев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электроснабжения развивающихся участков добычи руд на высокогорном руднике // *Горные науки и технологии.* — 2021. — Т. 6. — № 3. — С. 211 – 220. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-211-220.
7. Ким М. Л., Певзнер Л. Д., Темкин И. О. Разработка системы автоматического управления движением БПЛА с учетом шахтных условий // *Горные науки и технологии.* — 2021. — Т. 6. — № 3. — С. 203 – 210.

8. *Vostrikov A. V., Prokofeva E. N., Goncharenko S. N., Gribanov I. V.* Analytical modeling for the modern mining industry // *Eurasian Mining*. 2019, no. 2, pp. 30 – 35. DOI: 10.17580/em.2019.02.07.

9. *Гончаренко С. Н., Коростелев Д. Б.* Системный анализ и прогноз показателей и индикаторов эффективности деятельности в сфере охраны окружающей среды и природопользования // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 9. – С. 104 – 110. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-104-110.

10. *Гончаренко С. Н., Коростелев Д. Б.* Методы и модели комплексной оценки системных связей показателей результативности природоохранной политики и принятия управленческих решений в сфере природопользования // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 11. – С. 70 – 76. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-70-76.

11. *Садридинов А. Б.* Анализ энергетических показателей работы горнопроходческих комплексов угольной шахты // *Горные науки и технологии*. – 2020. – Т. 5. – № 4. – С. 367 – 375. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-367-375.

12. *До Тхань Лич* Исследование, оценка и предложения по решению проблемы качества электроэнергии для системы электроснабжения глиноземного завода в Лам Донге, Вьетнам // *Горные науки и технологии*. – 2021. – № 2. – С. 121 – 127. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-121-127.

13. *Кириллов И. Е., Морозов И. Н., Мурашев П. М., Богатилов В. Н.* Построение диаграмм состояния информационной системы мониторинга горно-обогатительных предприятий // *Вестник экономической безопасности*. – 2021. – № 1. – С. 292 – 295. DOI: 10.24412/2414-3995-2021-1-292-295.

14. *Кириллов И. Е., Морозов И. Н., Мурашев П. М., Богатилов В. Н.* Построение информационной модели горно-обогатительных предприятий // *Вестник Московского университета МВД России*. – 2021. – № 2. – С. 288 – 291. DOI: 10.24412/2073-0454-2021-2-288-291.

15. *Волотковская Н. С., Семенов А. С., Бебихов Ю. В., Шевчук В. А., Федоров О. В.* Перспективы развития энергетического комплекса Северо-Востока России // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2021. – Т. 23. – № 3. – С. 58 – 69. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-3-58-69.

16. *Волотковская Н. С., Волотковская Ю. А., Семенов А. С.* Мировой рынок энергетических ресурсов: анализ производства и спроса на энергоносители, перспективы сектора // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право*. – 2020. – № 6. – С. 12 – 17. DOI: 10.37882/2223-2974.2020.06.03.

17. *Баев И. А., Соловьева И. А., Дзюба А. П.* Управление затратами на услуги по передаче электроэнергии в промышленном регионе // *Экономика региона*. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 955 – 969. DOI: 10.17059/2018-3-19.

18. *Мусаев Т. А., Федоров О. В., Шагеев С. Р., Прохорова М. В.* Интеллектуальные системы учета как инструмент снижения потерь электрической энергии // *Строительство: новые технологии – новое оборудование*. – 2021. – № 2. – С. 52 – 55.

19. *Semenov A. S., Semenova M. N., Fedorov O. V.* The results of the implementation of the system for monitoring the quality of electricity in mining enterprises // *Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*. Lipetsk, 2019, pp. 644 – 649. DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947601.

20. *Волотковская Н. С., Семенов А. С., Федоров О. В.* Энергоэффективность и энергосбережение в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. – 2019. – № 3(78). – С. 52 – 62.

21. *Musaev T., Shageev S., Fedorov O.* Intelligent measuring system's data usage in electricity rate pricing process // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2021, vol. 729 LNEE. – pp. 933 – 941. DOI: 10.1007/978-3-030-71119-1_90.

22. Верчеба А. А. Подготовка кадров для горно-геологической отрасли России // Горные науки и технологии. — 2021. — Т. 6. — № 2. — С. 144–153. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-144-153.

23. Rybak J., Ivannikov A., Egorova A., Ohotnikova K. Fernandes I. Some remarks on experience based geotechnical education // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 17. 2017, vol. 12, pp. 1003–1012. DOI: 10.5593/sgem2017/12/S02.127.

24. Климов И. Ю. Анализ эффективности реализации компетентностного подхода в программе опережающего обучения горнодобывающей компании // Горные науки и технологии. — 2020. — Т. 5. — № 1. — С. 56–68. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-1-56-68. **ГИАБ**

REFERENCES

1. *Intellektual'nye elektroenergeticheskie sistemy: elementy i rezhimy*. Pod red. A. V. Kirilenko [Intelligent electric power systems: elements and modes. Kirilenko A. V. (Ed.)], Kiev, In-t Elektrodinamiki NAN Ukrainy, 2014, 408 p.

2. *The Modern Grid Initiative. Modern Grid v2.0 Powering Our 21st – Century Economy*. United States Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2007.

3. Bayindir R., Colak I., Fulli G., Demirtas K. Smart grid technologies and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, vol. 66, pp. 499–516. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.002.

4. Kuznetsov N. M., Minin V. A., Selivanov V. N. Kola power network development for the mining industry in the Murmansk region. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 9, pp. 96–100. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.14.

5. Kuznetsov N. M., Morozov I. N. Application of neural network controller in the control of pump plant. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*. 2018, no. 4(123), pp. 135–142. [In Russ]. DOI: 10.46960/1816-210X_2018_4_135.

6. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 3, pp. 211–220. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-211-220.

7. Kim M. L., Pevsner L. D., Temkin I. O. Development of an automatic UAV motion control system taking into account mine conditions. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 3, pp. 203–210. [In Russ].

8. Vostrikov A. V., Prokofeva E. N., Goncharenko S. N., Griбанov I. V. Analytical modeling for the modern mining industry. *Eurasian Mining*. 2019, no. 2, pp. 30–35. DOI: 10.17580/em.2019.02.07.

9. Goncharenko S. N., Korostelev D. B. System analysis and prediction of performance efficiency figures and indicators in the area of environmental protection and nature management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 9, pp. 104–110. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-104-110.

10. Goncharenko S. N., Korostelev D. B. Methods and models for integrated estimation of system connection between the nature protection policy efficiency and managerial solutions in the field of use of natural resources. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 11, pp. 70–76. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-70-76.

11. Sadridinov A. B. Analysis of energy performance of heading sets of equipment at a coal mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020, vol. 5, no. 4, pp. 367–375. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-367-375.

12. Do Tkhan Lich Research, assessment and proposals on resolving power quality problem for the power supply system of Lam Dong alumina refinery, Vietnam. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, no. 2, pp. 121–127. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-121-127.

13. Kirillov I. E., Morozov I. N., Murashev P. M., Bogatikov V. N. Construction of diagrams of the information system for monitoring of mining and processing enterprises. *Vestnik ekonomicheskoi bezopasnosti*. 2021, no. 1, pp. 292 – 295. [In Russ]. DOI: 10.24412/2414-3995-2021-1-292-295.

14. Kirillov I. E., Morozov I. N., Murashev P. M., Bogatikov V. N. Building an information model for mining and processing enterprises. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*. 2021, no. 2, pp. 288 – 291. [In Russ]. DOI: 10.24412/2073-0454-2021-2-288-291.

15. Volotkovskaya N. S., Semenov A. S., Bebikhov Y. V., Shevchuk V. A., Fedorov O. V. Prospects for the development of the energy complex of the North-East of Russia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2021, vol. 23, no. 3, pp. 58 – 69. [In Russ]. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-3-58-69.

16. Volotkovskaya N. S., Volotkovskaya Yu. A., Semenov A. S. The global energy market: analysis of energy production and demand, sector prospects. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo*. 2020, no. 6, pp. 12 – 17. [In Russ]. DOI: 10.37882/2223-2974.2020.06.03.

17. Baev I. A., Solovyeva I. A., Dzyuba A. P. Cost-effective management of electricity transmission in an industrial region. *Ekonomika regiona*. 2018, vol. 14, no. 3, pp. 955 – 969. [In Russ]. DOI: 10.17059/2018-3-19.

18. Musaev T. A., Fedorov O. V., Shageev S. R., Prokhorova M. V. Intelligent metering systems as a tool for reducing electrical energy losses. *Stroitel'stvo: novye tekhnologii – novoe oborudovanie*. 2021, no. 2, pp. 52 – 55. [In Russ].

19. Semenov A. S., Semenova M. N., Fedorov O. V. The results of the implementation of the system for monitoring the quality of electricity in mining enterprises. *Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*. Lipetsk, 2019, pp. 644 – 649. DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947601.

20. Volotkovskaya N. S., Semenov A. S., Fedorov O. V. Energy efficiency and energy saving in power supply systems of mining enterprises. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2019, no. 3(78), pp. 52 – 62. [In Russ].

21. Musaev T., Shageev S., Fedorov O. Intelligent measuring system's data usage in electricity rate pricing process. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2021, vol. 729 LNEE. pp. 933 – 941. DOI: 10.1007/978-3-030-71119-1_90.

22. Vercheba A. A. Personnel training for the mining and geological sector of Russia. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, vol. 6, no. 2, pp. 144 – 153. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-144-153.

23. Rybak J., Ivannikov A., Egorova A., Ohotnikova K., Fernandes I. Some remarks on experience based geotechnical education. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 17*. 2017, vol. 12, pp. 1003 – 1012. DOI: 10.5593/sgem2017/12/S02.127.

24. Klimov I. Y. Analysis of soft skills-based approach effectiveness in advanced training program for mining company. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020, vol. 5, no. 1, pp. 56 – 68. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-1-56-68.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Вадим Леонидович – д-р техн. наук,
профессор, проректор, НИТУ «МИСиС»,
e-mail: petrovv@misis.ru, ORCID ID: 0000-0002-6474-5349,

Кузнецов Николай Матвеевич – канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник,
Центр физико-технических проблем энергетики Севера
Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр РАН» (ЦЭС КНЦ РАН),
e-mail: n.kuznetsov@ksc.ru, ORCID ID: 0000-0002-9440-8677,

Морозов Иван Николаевич — канд. техн. наук, доцент,
Мурманский арктический государственный университет,
e-mail: moroz.84@mail.ru.
Для контактов: Петров В.Л., e-mail: petrovv@misis.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.L. Petrov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-Rector,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: petrovv@misis.ru,
ORCID ID: 0000-0002-6474-5349,
N.M. Kuznetsov, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher,
Northern Energetics Research Centre Kola Science Centre
of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia,
e-mail: n.kuznetsov@ksc.ru, ORCID ID: 0000-0002-9440-8677,
I.N. Morozov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Murmansk Arctic State University (MAGU),
183038, Murmansk, Russia, e-mail: moroz.84@mail.ru.
Corresponding author: V.L. Petrov, e-mail: petrovv@misis.ru.

Получена редакцией 24.11.2021; получена после рецензии 21.12.2021; принята к печати 10.01.2022.
Received by the editors 24.11.2021; received after the review 21.12.2021; accepted for printing 10.01.2022.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ЗАГАЗОВАННОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

(№ 1248/02-22 от 17.12.2021; 7 с.)

Жилов И.А.¹, Шаповалов М.А.¹, Добагов Р.Р.¹, Дагхма Басель¹, Таумурзаев И.К.¹

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
Институт информатики, электроники и робототехники.

Современное горное производство предполагает использование технологий взрывного дробления скальных вмещающих пород и полезного ископаемого и использование самоходной горной техники на проходческих и добычных работах. Использование этих современных технологий сопровождается выделением вредных газообразных веществ, отрицательно влияющих на рабочую среду и условия работы человека в подземных условиях.

Ключевые слова: автономное питание, мониторинг процессов загазованности, система вентиляции, горные предприятия.

DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR GAS POLLUTION MONITORING TO CONTROL VENTILATION SYSTEM

I.A. Zhilov¹, M.A. Shapovalov¹, R.R. Dobagov¹, Dagkhma Basel¹, I.K. Taumurzaev¹

¹ H.M. Berbekov Kabardino-Balkar State University,
Institute of Computer Science, Electronics and Robotics, 360004, Nalchik, Russia.

Modern mining involves the use of technologies for explosive crushing of rock enclosing and mineral resources and the use of self-propelled mining equipment for tunneling and mining operations. The use of these technologies is accompanied by the release of harmful gaseous substances that negatively affect the working environment and human working conditions in underground conditions.

Key words: autonomous power supply, monitoring of gas contamination processes, ventilation system, mining enterprises.