

УДК 621.314

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. С. ВОЛТКОВСКАЯ

*Политехнический институт (филиал)
Северо-Восточного федерального университета
имени М. К. Аммосова, г. Мирный, Республика Саха
(Якутия), Российская Федерация*

А. С. СЕМЕНОВ

*Северо-Восточный федеральный университет
имени М. К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация*

О. В. ФЕДОРОВ

*Нижегородский государственный технический
университет имени Р. Е. Алексеева, Российская Федерация*

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, горнодобывающее предприятие, система электроснабжения, частотно-регулируемый электропривод, контроль качества электроэнергии, математические модели.

Введение

В последние годы энергосбережение стало одним из основных направлений технической политики во всех промышленно развитых странах. Устойчивое развитие экономики требует увеличения производства и потребления топливно-энергетических ресурсов [1]. В условиях установившейся тенденции роста цен на энергоносители, увеличения их доли в структуре себестоимости товарной продукции и услуг эффективное их использование является существенным внутренним резервом, позволяющим повысить конкурентоспособность валового продукта и уровень жизни населения страны [2]. Принимая во внимание тот факт, что при производстве горных работ доля затрат, связанных с энергосбережением, составляет 40–60 %, можно сделать вывод, что реализация организационных и технических мероприятий по энергосбережению может привести к заметной экономии топливно-энергетических ресурсов [3].

Факторы энергосбережения укрупненно можно подразделить на внешние и внутренние. К внешним факторам относятся: темпы роста мировой экономики, динамика цен на мировом рынке углеводородных ресурсов, мировой спрос и объем экспорта российских углеводородов, экологическая обстановка в мире. Внутренние факторы энергосбережения разделены на две группы: группу обеспечивающих факторов и группу результативных факторов, имеющих в основном два тесно взаимосвязанных и взаимообусловленных аспекта – увеличение запасов ресурсов и сокращение их потребления [4].

Энерго- и ресурсосбережение является одной из приоритетных задач [5] при управлении энергоемким горным производством. Мероприятия по энергоэффективности и энергосбережению в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий можно условно разделить на несколько направлений: электрические сети, электрический привод, контроль и учет энергопотребления.

Таким образом, целью исследования настоящей работы будет являться формулировка мероприятий по энергоэффективности и энергосбережению в системах

электроснабжения горнодобывающих предприятий. Для этого будут решены следующие задачи и рассмотрены следующие вопросы: оценка технического состояния электрических сетей региона; перспективы внедрения систем автоматизированного электропривода (АЭП) на технологических установках горнодобывающего предприятия; результаты внедрения автоматизированной системы контроля и управления энергосбережением (АСКУЭ) на одном из участков горного предприятия.

Объекты и методики исследования. В качестве объектов исследования выбраны подземный рудник и обогатительная фабрика по добыче и переработке алмазосодержащего сырья, расположенные в Западной Якутии и относящиеся к Мирнинскому горно-обогатительному комбинату (МГОК) предприятия АК «АЛРОСА» ПАО. Выбранные рудник и фабрика находятся вблизи г. Мирный Республики Саха (Якутия) и получают электроэнергию от поставщика «Западные электрические сети» (ЗЭС) ПАО «Якутскэнерго».

В качестве методик исследования, помимо теоретических и экспериментальных исследований существующих автоматизированных информационно-управляющих систем предприятия, будут применены методы математического моделирования систем автоматизированного электропривода и электроснабжения [6]–[8] и инструментального контроля качества электрической энергии [9]–[11] при помощи современных прикладных программ и анализаторов.

Основная часть

Коротко опишем текущее состояние энерго- и ресурсосбережения на горных предприятиях. Были проанализированы работы отечественных и зарубежных авторов в этой области.

В работах [12] и [13], на первый взгляд, подробно описаны методы и средства повышения уровня энергосбережения и энергоэффективности на горных предприятиях, но не представлено конкретных предложений по оценке технико-экономической эффективности предложенных методов.

В работе [14] представлены технические решения по снижению уровня высших гармоник, в частности, использование полупроводниковых преобразователей с активным выпрямителем.

В работе [15] приведен перспективный способ повышения энергоэффективности в горной промышленности за счет применения нетрадиционных возобновляемых источников и комбинированных накопителей энергии.

В работе [16] авторами описаны новые коммутационные аппараты, позволяющие сократить переходные процессы и улучшить электромагнитную совместимость в системе электроснабжения угольных шахт, но они пока находятся на стадии испытаний и всяческая информация об их применении в РФ отсутствует.

В работе [17] автором подробно изложен анализ перспектив внедрения частотно-регулируемого электропривода во все возможные сферы экономики страны, обозначена значимость энергоэффективности и энергосбережения при переходе на инновационное энергообеспечение производства.

В работах [18] и [19] разработана и опробована на горном предприятии отличная методика по снижению влияния высших гармоник тока и напряжения на работу электрооборудования, но она применима только к вновь вводимым участкам, так как в противном случае капитальные затраты на установку активных фильтров высших гармоник будут слишком большими.

Таким образом, исходя из результатов анализа научной литературы, можно смело заявлять, что методики, предложенные в этой работе, будут иметь новизну и практическую значимость для горных предприятий.

Система энергоснабжения Западной Якутии. Первое направление в области энергосбережения связано со специфическими условиями Западного региона Якутии и ЗЭС, имеющих протяженность электрических линий свыше тысячи километров. Отметим, что ЗЭС не имеют электрической связи с другими энергосистемами республики, работают в автономном режиме, практически не располагают резервными электростанциями, а линии электропередачи (ЛЭП) имеют большую протяженность, ограниченную пропускную способность и фактически работают без резерва. Техническое состояние основного оборудования электростанций и ЛЭП находится на низком уровне надежности, а штаты электростанций и ремонтных бригад не полностью укомплектованы обслуживающим персоналом. Подробно о структуре ЗЭС и техническом состоянии основных объектов изложено в [20], [21]. Здесь приведем лишь фрагмент схемы электрических соединений (рис. 1) исследуемых объектов горных предприятий (рудник и фабрика).

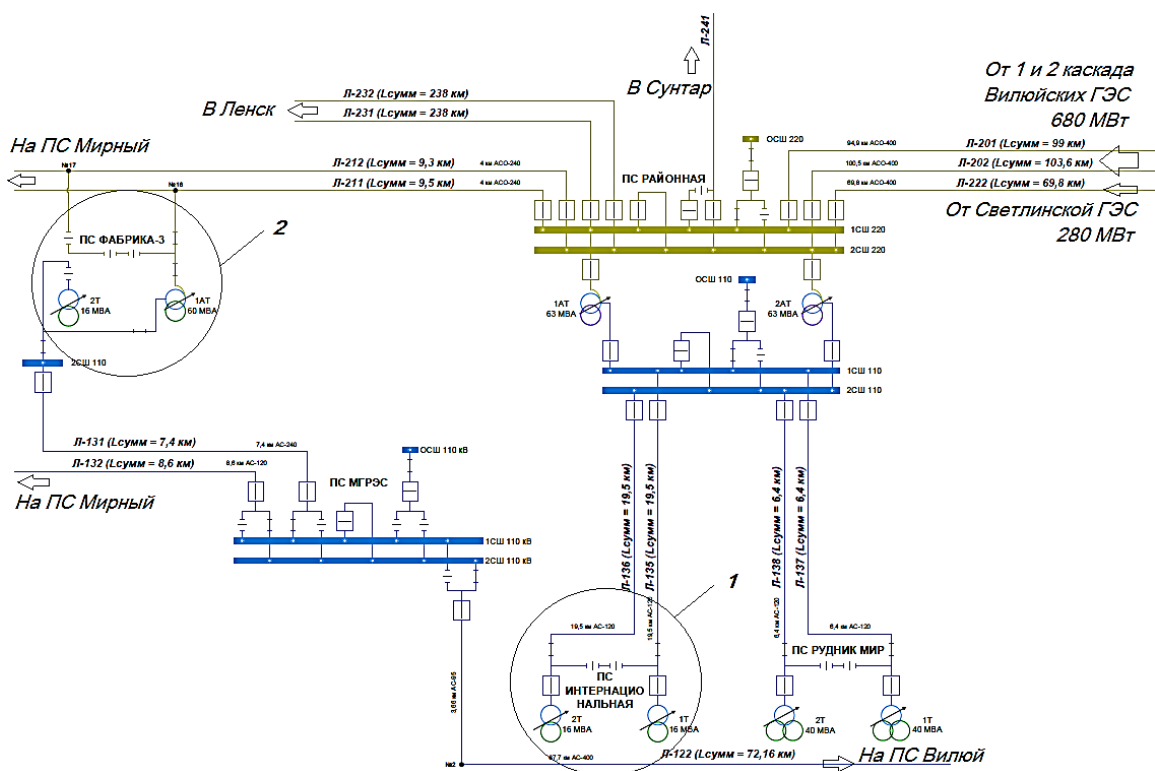


Рис. 1. Схема электрических соединений исследуемых объектов:
1 – подземный рудник; 2 – обогатительная фабрика

В настоящее время расход электроэнергии по региону стабилизировался на уровне 6,5 млрд кВт · ч в год, из которого потребление промышленными предприятиями составляет более 70 %. В последнее время каскад Вилюйских ГЭС превосходит проектную производительность благодаря повышенным притокам в водохранилище, но весьма вероятно их снижение в перспективе. Для обеспечения потребителей первой категории бесперебойным питанием имеются маломощные резервные газораспределительные электростанции и автономные дизель-генераторные электростанции.

Анализ потребности в электроэнергии промышленных предприятий региона показывает, что потребление должно возрастать на 10–15 % в год за счет ввода новых предприятий и освоения новых месторождений компаниями АК «АЛРОСА» ПАО, ООО ТЮНГД, ООО РНГ и др. Возможности энергосистемы определяются необходимостью: повышения эффективности резервных и автономных электростанций; повышения на-

дежности и пропускной способности ЛЭП за счет модернизации существующих и ввода новых ЛЭП на металлических опорах; снижения потребления электроэнергии при переводе отопительного оборудования на газовое топливо. Конечно, многое зависит от организационных мероприятий, экологической обстановки в регионе, самих энергетиков (надежность и качество электроснабжения) и потребителей (компенсация реактивной мощности, экономия электроэнергии, соблюдение лимитов и графиков).

Автоматизированный (частотно-регулируемый) электропривод. Второе направление в области энергосбережения связано с развитием и совершенствованием электроприводов (ЭП) технологических установок горных предприятий, которые являются главными потребителями электроэнергии в промышленности. Сейчас ЭП потребляет около 65 % всей вырабатываемой электроэнергии, и такое потребление сохранится и в будущем (может даже возрасти). На долю ЭП приходится и основная часть общих потерь электроэнергии в системе электроснабжения горных предприятий (ГП). Для современных крупных ГП потери электроэнергии в ЭП могут достигать 60–70 % от суммарных потерь в системе их электроснабжения. Из этого следует, что основной эффект энергосбережения может быть получен в области рационального использования ЭП.

На предприятиях АК «АЛРОСА» ведется целенаправленная работа по внедрению частотно-регулируемого электропривода (ЧРП). Подробно об этих мероприятиях авторами изложено в [22]. Однако основным препятствием здесь является высокая стоимость полупроводниковых преобразователей частоты (ПЧ). Например, стоимость ПЧ мощностью 200 кВт может варьироваться от 1 до 1,5 млн р., при этом необходимы еще дополнительные затраты. Поэтому внедрению ЧРП должны предшествовать расчеты, показывающие величину экономии электроэнергии при плавном регулировании скорости и эффективность такого способа регулирования. Причем при технико-экономическом обосновании необходимо учитывать повышение цен на электроэнергию и при принятии окончательного решения принимать во внимание, что внедрение ЧРП является одним из лучших средств снижения счетов потребления за нее.

Абсолютно по-другому рассматривается вопрос внедрения ЧРП, когда речь идет о так называемом техническом перевооружении производства, когда замене подлежат механизмы и их сопутствующие системы, которые уже морально устарели и их срок эксплуатации (назначенный ресурс) подходит к концу. В этом случае внедрение ЧРП неизбежно (сколько бы это ни стоило), и тогда остается главная задача – обоснованный выбор внедряемой системы с точки зрения не только экономии электроэнергии, но и электромагнитной совместимости.

Ярким примером такой модернизации является замена вентиляторной установки главного проветривания подземного рудника «Интернациональный», которая поэтапно продолжалась с 2015 по 2017 г. Сначала в 2015 г. была произведена замена системы ЧРП: морально устаревший преобразователь частоты ПЧВС был заменен на Power Flex 7000. Затем в 2016 г. была приобретена новая вентиляторная установка TLT Turbo TAF-36/21,5-1, которая заменила старый вентилятор ВОД-50. И наконец, в 2017 г. был заменен старый синхронный двигатель СДСЗ-18-39-20РУХЛ4 на асинхронный двигатель А5L710P44-08КВExpz. Авторами в работе [23] была произведена подробная оценка эффективности произведенной модернизации методами математического моделирования и инструментального контроля.

Здесь важно отметить, что до такой полной модернизации (до 2015 г.) запуск вентиляторной установки главного проветривания сопровождался большими провалами напряжения в системе электроснабжения рудника, которые влияли и на бытовые потребители, находящиеся в системе электроснабжения г. Мирный (ПС Мирный 220/110/6 кВ). Так, на рис. 2 зафиксирован один из таких провалов напряжения при смене вентиляторных установок (их смена происходит по регламенту один раз в месяц). Анализатор ка-

чества электроэнергии был установлен на ПС МГРЭС в период с 26 по 30 марта 2012 г. Провал был зафиксирован 28 марта в 11 ч 18 мин и длился чуть менее секунды.

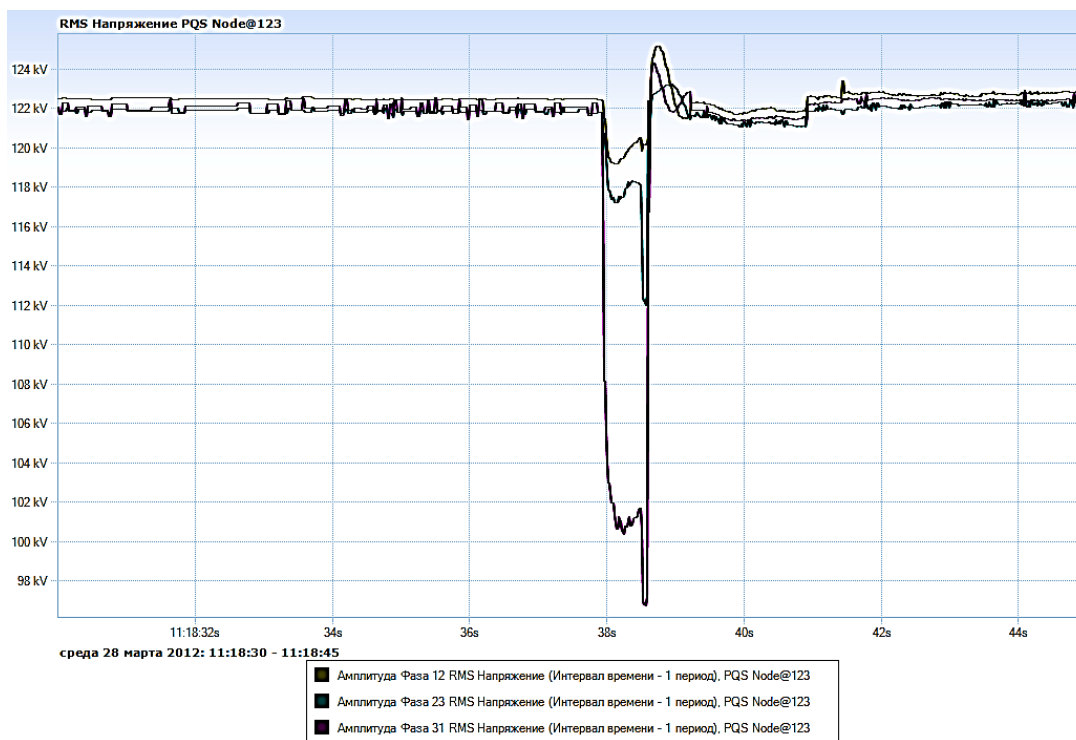


Рис. 2. Провал напряжения на ПС МГРЭС при смене вентиляторных установок на руднике «Интернациональный»

Еще один пример анализа энергоэффективности внедрения ЧРП на пульпонасосную установку обогатительной фабрики методом математического моделирования приведен в [24]. В работе рассмотрено снижение затрат только лишь за счет снижения энергоемкости процесса перекачивания пульпы. Вместе с тем применение ЧРП приводит к значительному снижению эксплуатационных затрат. Достигается это в основном за счет увеличения срока службы узлов и элементов системы путем обеспечения плавности работы насосного агрегата в динамических режимах.

Для проведения подобных комплексных расчетов необходимо иметь соответствующие математические модели и основанные на них методики исследования экономической эффективности ЧРП. В настоящее время такие модели и методики для горной отрасли отсутствуют. Отсутствие стандартных методик исследования и налаженной системы информации о достигнутых результатах приводят к тому, что значительная часть потенциальных потребителей, не располагая необходимыми сведениями и необоснованно опасаясь последствий применения сложных современных систем ЧРП, продолжают нести убытки, прибегая к крайне неэффективным способам регулирования.

Сейчас такие работы по созданию моделей и основанных на них методик исследования экономической эффективности автоматизированных электроприводов с учетом специфики горных предприятий проводятся в специализированном тресте (СТ) «Алмазавтоматика» и институте «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» ПАО. Основная трудность – это необходимость рассмотрения системы электроснабжения частотно-регулируемого электропривода рабочей машины, технологического объекта как единой электромеханической системы (ЭМС), где должно обязательно учитываться взаимное влияние всех элементов друг на друга.

Результатом одной из таких совместных работ кафедры «Электроэнергетики и автоматизации промышленного производства» СВФУ им. М. К. Аммосова и СТ «Алмазавтоматика» АК «АЛРОСА» ПАО стала разработка достаточно сложной математической модели, которая учитывает все основные особенности элементов конкретной ЭМС, потери электроэнергии в подводящих линиях, электромагнитные процессы в электродвигателе, наличие в технологическом объекте нелинейного звена и т. д. Речь идет о скиповой подъемной установке слепого скипового ствола подземного рудника «Интернациональный», на которой с начала промышленной эксплуатации (с 2017 г.) были зафиксированы неоднократные выходы из строя узлов и деталей преобразователя частоты. 29 августа 2018 г. был зафиксирован первый выход из строя конденсатора фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ). Это событие послужило поводом для проведения длительных и сложных научно-технических изысканий совместного коллектива. В ходе исследований, а также консультаций с заводом-изготовителем преобразователя частоты в качестве основной причины выхода из строя конденсатора было предположено значительное снижение срока службы конденсатора под влиянием высших гармонических составляющих в питающей сети. С целью опровержения или подтверждения выдвинутого предположения проведен инструментальный контроль показателей качества электрической энергии и разработана сложная математическая модель, включающая методику математической обработки и анализа результатов измерений высших гармоник тока и напряжения в электрических сетях. Поскольку основные материалы научной работы еще не опубликованы, здесь приведем лишь ссылку на публикацию, описывающую моделирование статических и динамических режимов работы двигателя постоянного тока подъемной установки в пакете программ MatLab [25] и график изменения фазных токов в момент возникновения отказа в работе подъемной машины (рис. 3), вызванного ошибкой преобразователя частоты «DC Link overvoltage», которая происходит в конце разгона при интенсивной работе скиповой подъемной установки.

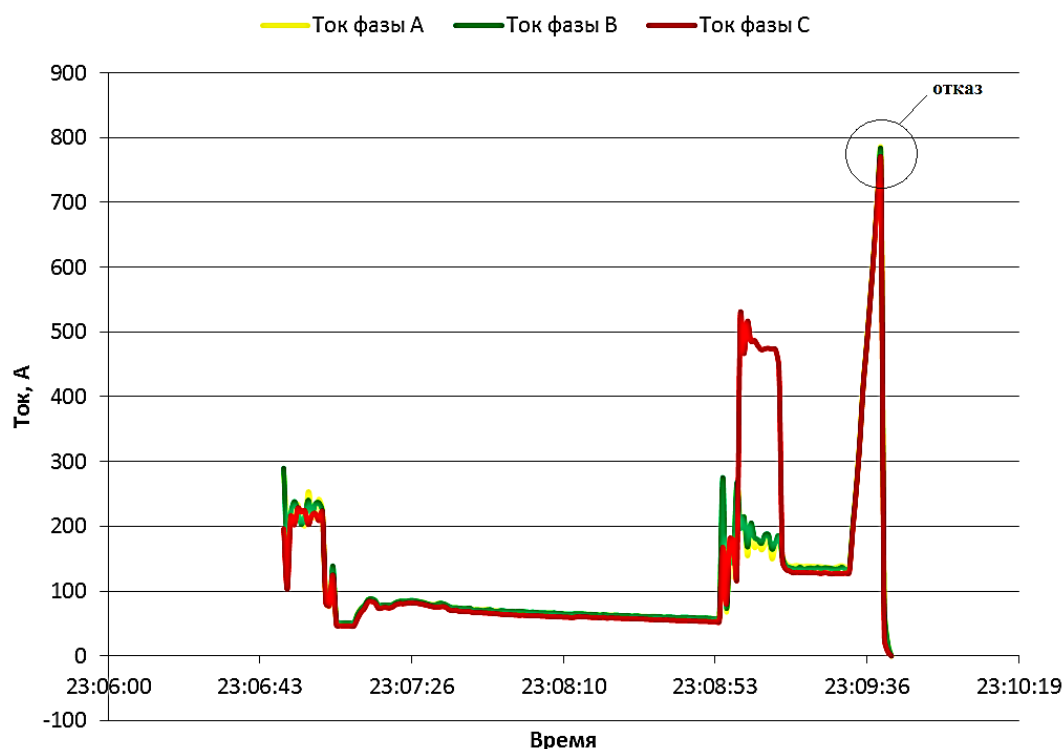


Рис. 3. График изменения фазных токов в момент возникновения отказа в работе подъемной машины

Таким образом, во всех рассмотренных случаях расчеты показали, что потребление электроэнергии при внедрении систем автоматизированного (частотно-регулируемого) электропривода уменьшается в 1,5÷2 раза.

Автоматизированная система контроля и управления энергосбережением. Третье направление в области энергосбережения связано с вводом автоматизированных систем учета потерь электроэнергии, ее качества и распределения по предприятиям согласно нормам, лимитам и графикам. Информационно-управляющие системы строятся как иерархические распределенные комплексы, состоящие из четырех основных функциональных подсистем: одной автоматической системы противоаварийного управления (АСПУ) и трех автоматизированных – системы диспетчерского управления (АСДУ), системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и системы производственно-технической деятельности (АСПТД). Эти подсистемы могут существовать как в виде отдельных продуктов, так и в комплексе – в виде автоматизированной системы управления энергосбережением предприятия (АСУЭП). Среди них можно также найти не только специализированные аппаратно-программные комплексы, но и модульные системы общего назначения. Первые учитывают специфику инфраструктуры, в которую интегрируются, а продукты на базе модульной архитектуры требуют вложения гораздо больших средств и времени на внедрение.

Стоимость АСУЭП определяется масштабами горного предприятия и рассчитывается исходя из необходимого количества счетчиков, аппаратных мощностей и в зависимости от расстояния между автоматизированными рабочими местами и счетчиками, а также вида каналов связи. Необходимо отметить, что внедрение на предприятиях АСУЭП при условии правильной эксплуатации системы всегда экономически оправданно. АСУЭП дает возможность вести учет и контроль не только электроэнергии, но и потоков практически всех возможных энергоносителей: воздуха, пара, воды, топлива и т. д., а также позволяет контролировать безопасность. Так, в работе [26] рассмотрено внедрение газоаналитических систем нового поколения для защиты рудников, которые относятся к АСДУ и реализованы на базе протокола газовой защиты «МИКОН III». А в работах [27] и [28] описываются методы и автоматизированные системы контроля распределения пылевого осадка и пылевой взвеси и приборы для определения массы отложившейся и взвешенной в воздухе пыли на добычном участке угольной шахты.

Значительный вклад в разработку и внедрение АСКУЭ на горных предприятиях был сделан авторами в работе [29]. Результатом одной из таких совместных научно-исследовательских работ МПТИ (ф) СВФУ, МЭИ, МГГУ и АК «АЛРОСА» ПАО стала разработка и внедрение в систему электроснабжения подземного рудника на участке шахтного подъема и технологического закладочного комплекса автоматизированной системы непрерывного мониторинга контроля качества электроэнергии, структурная схема которой изображена на рис. 4.

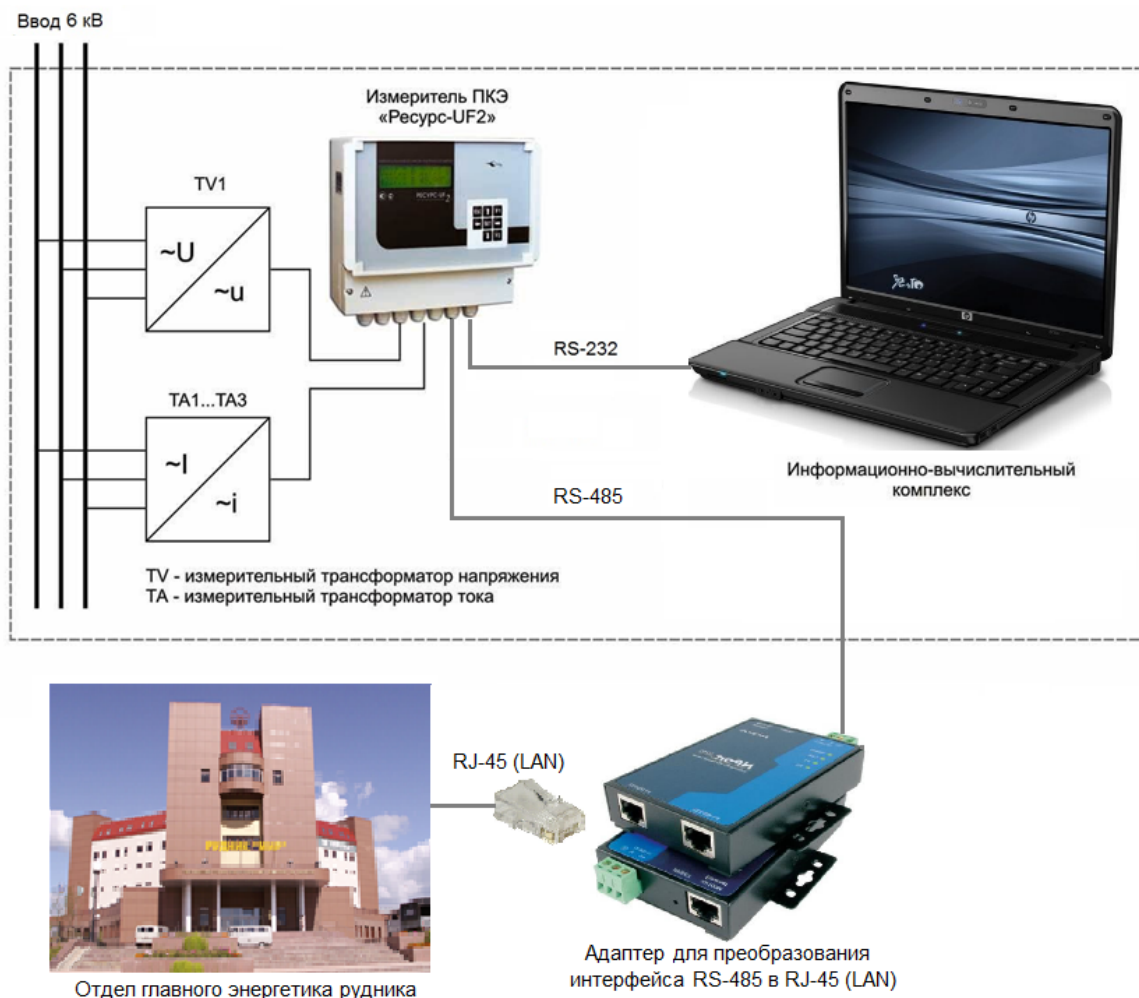


Рис. 4. Структурная схема автоматизированной системы непрерывного мониторинга контроля качества электроэнергии

Анализ результатов измерений системы мониторинга уже за первый год работы на объектах потребления мощности (скиповая подъемная установка скипового ствола и шаровая мельница участка дробления технологического закладочного комплекса) рудника позволил определить один из слабых участков энергосистемы. Расчет по данным внедренной системы мониторинга показал низкий коэффициент загрузки трансформаторов ТМ-1000 и, следовательно, значительные потери электроэнергии на холостой ход трансформатора. В работе [30] была подсчитана экономия средств на оплату электроэнергии за счет уменьшения потерь холостого хода в трансформаторах при увеличении коэффициента их загрузки, которая за пять лет составила 1,8 млн р., что в четыре раза превышает стоимость внедренной системы.

Заключение

В результате вышеизложенного можно сделать вывод, что основными направлениями в энергосбережении и энергоэффективности на горных предприятиях являются: повышение надежности и качества электроснабжения; переход к частотно-регулируемому электроприводу; комплексная автоматизация всех производственных систем. Эти направления в настоящее время интенсивно развиваются в АК «АЛРОСА» ПАО и других крупных горнодобывающих предприятиях. Это прежде всего связано с ростом стоимости энергоносителей и желанием компаний сэкономить в этой области, а также с успе-

хами в области силовой преобразовательной техники, микроэлектроники и средств автоматизации.

Авторам представляется, что дальнейшие широкомасштабные и скрупулезные исследования в области энергоэффективности и энергосбережения на горных предприятиях должны развиваться именно по средствам внедрения ЧРП. Для этого следует вести работу по следующим направлениям: формулировка технологических требований к механизмам горнодобывающих предприятий; описание особенностей эксплуатации преобразователей частоты на этих предприятиях; фундаментальные основы построения силовых схем преобразователей частоты; фундаментальные принципы управления частотно-регулируемым электроприводом; технико-экономический анализ рынка современных преобразователей частоты; разработка методов сбора, обработки и анализа информации о работе систем ЧРП; разработка методик диагностики силовой полупроводниковой преобразовательной техники; разработка математических моделей ЭМС горных предприятий.

Литература

1. Бондарев, В. А. Оценка основных факторов энергосбережения / В. А. Бондарев, А. С. Семенов // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2014. – № 5-1. – С. 228–229.
2. Киушкина, В. Р. Энергетическая безопасность и современные тренды развития мировой и российской энергетики / В. Р. Киушкина // *Глав. энергетик*. – 2017. – № 8. – С. 47–50.
3. Евсеенко, В. В. Электроснабжение и энергосбережение в АК «АЛРОСА» / В. В. Евсеенко, А. В. Юрченко, О. А. Юрченко // *Горный информ.-аналит. бюл.* – 2003. – № 8. – С. 151–152.
4. Голубцов, Н. В. Инновации в энергетике : монография / Н. В. Голубцов. – М. : ИНФРА-М, 2010. – 250 с.
5. Федоров, О. В. Ресурсосбережение в энергетике : монография / О. В. Федоров, Н. В. Голубцов, И. И. Гребенюк. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 246 с.
6. Разработка универсальной математической модели системы электроснабжения участка промышленного предприятия / Ю. В. Бебихов [и др.] // *Естеств. и техн. науки*. – 2018. – № 12 (126). – С. 387–394.
7. Капанский, А. А. Особенности сбора и обработки данных для построения вероятностно-статистических моделей энергопотребления / А. А. Капанский, Е. Л. Шенец // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2017. – № 1/2 (14). – С. 12–22.
8. Семенов, А. С. Особенности математического моделирования систем электроприводов технологических установок горных предприятий / А. С. Семенов, А. Н. Егоров // *Каротажник*. – 2018. – № 11 (293). – С. 85–99.
9. Зеленкова, Л. И. Методика мониторинга качества электроэнергии в электросетях / Л. И. Зеленкова // *Глав. энергетик*. – 2017. – № 5/6. – С. 77–82.
10. Пономаренко, И. С. Инструментальный контроль показателей качества электроэнергии в электрических сетях при переходе на новый ГОСТ (стандарт) / И. С. Пономаренко, О. И. Пономаренко, О. В. Большаков // *Автоматизация и IT в энергетике*. – 2015. – № 3 (68). – С. 5–10.
11. Харитонов, Я. С. Сопоставление и анализ результатов контроля качества электроэнергии в системах электроснабжения горных предприятий / Я. С. Харитонов, Ю. В. Бебихов, А. Н. Егоров // *Международ. журн. приклад. и фундамент. исслед.* – 2019. – № 4. – С. 54–59.

12. Хушиев, С. М. Обзор методов повышения энергоэффективности электрических приводов / С. М. Хушиев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2018. – № 5 (115). – С. 37–46.
13. Рожков, А. А. Разработка экономико-математических моделей и алгоритмов формирования оптимальных планов инвестиций в энергосбережение на горных и промышленных предприятиях / А. А. Рожков, М. С. Карпенко // Горный информ.-аналит. бюл. – 2014. – № 8. – С. 292–299.
14. Искажение формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей / А. Е. Козярук [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 30–35.
15. Степаненко, В. П. Перспективы применения в горной промышленности нетрадиционных возобновляемых источников и комбинированных накопителей энергии / В. П. Степаненко // Горный информ.-аналит. бюл. – 2016. – № 10. – С. 93–104.
16. Research on switching operation transient electromagnetic environment of substations in a coal mine / D. Feng [et al.] // IET Generation, Transmission & Distribution. – 2016. – Vol. 10. – Is. 13. – P. 3322–3329. DOI: 10.1049/iet-gtd.2016.0292.
17. Федоров, О. В. Частотно-регулируемый электропривод в экономике страны : монография / О. В. Федоров. – М. : Инфра-М, 2011. – 142 с.
18. Оценка работы фильтров в системе электроснабжения горно-добывающего предприятия по результатам контроля качества электроэнергии / И. И. Карташев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 7. – С. 16–19.
19. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях / В. Н. Тульский [и др.] // Горный журн. – 2012. – № 12. – С. 52–55.
20. Волотковская, Н. С. Анализ структуры и технического состояния западных электрических сетей Республики Саха (Якутия) / Н. С. Волотковская, А. С. Семенов, О. В. Федоров // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 11/12. – С. 46–55.
21. Юрченко, А. В. Организационные и технические мероприятия по снижению потерь в западных электрических сетях Якутскэнерго РС (Я) / А. В. Юрченко, И. В. Забегин, В. В. Евсеенко // Горный информ.-аналит. бюл. – 2011. – № 10. – С. 234–238.
22. Анализ эффективности применения частотно-регулируемого электропривода в условиях алмазодобывающих предприятий / А. Н. Егоров [и др.] // Горный журн. – 2019. – № 2. – С. 77–82.
23. Анализ энергоэффективности главной вентиляторной установки рудника по добыче алмазосодержащих пород / А. Н. Егоров [и др.] // Вестн. Казан. гос. энергет. ун-та. – 2018. – Т. 10, № 2 (38). – С. 60–72.
24. Егоров, А. Н. Оценка энергосбережения при применении частотно-регулируемого электропривода на пульпонасосных установках в условиях обогатительных фабрик / А. Н. Егоров, В. О. Парфенов, А. С. Семенов // Актуальные проблемы электроэнергетики : сб. науч.-техн. ст. – Ниж. Новгород : Изд-во НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2018. – С. 174–180.
25. Семенов, А. С. Математическое моделирование статических и динамических режимов двигателя постоянного тока в пакете программ MATLAB / А. С. Семенов, В. М. Хубиева, Я. С. Харитонов // Пром-Инжиниринг : тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2018. – С. 381–385.

26. Рушкин, Е. И. Применение автоматической газовой защиты на подземном руднике по добыче алмазосодержащих пород / Е. И. Рушкин, В. А. Бондарев, А. С. Семенов // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2014. – № 5-1. – С. 229–231.
27. Кубрин, С. С. Дистанционный мониторинг запыленности горных выработок угольных шахт / С. С. Кубрин, С. Н. Решетняк, В. В. Дегтерев // *Горный информ.-аналит. бюл.* – 2017. – № 10. – С. 54–59.
28. Анализ аппаратного обеспечения пылевого контроля угольных шахт / С. С. Кубрин [и др.] // *Изв. высш. учеб. заведений. Горный журн.* – 2017. – № 8. – С. 46–52.
29. Кубрин, С. С. Автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии для подземных горных работ / С. С. Кубрин, С. Н. Решетняк // *Горный журн.* – 2016. – № 1. – С. 87–90.
30. Технико-экономическое обоснование внедрения системы непрерывного мониторинга показателей качества электроэнергии на объектах горных предприятий / О. В. Федоров [и др.] // *Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики*. – 2016. – № 9/10. – С. 91–97.

Получено 25.07.2019 г.