

УДК 622.23.05:681.518.5

**СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ**

И. В. Брейдо, А. В. Сичкаренко, Е. С. Котов

*Карагандинский государственный технический университет, E-mail: jbreido@mail.ru,
Бульвар Мира, 56, 100027, г. Караганда, Казахстан*

Представлено описание созданных в Карагандинском государственном техническом университете и внедренных на угольном разрезе АО “Шубарколь-Комир” систем удаленного мониторинга режимов работы высоковольтных подстанций и экскаваторов. На нижнем уровне систем осуществляется измерение параметров электропотребления (высоковольтные подстанции, экскаваторы), а также контроль электропотребителей и состояния защит. Передача информации в системе мониторинга высоковольтных подстанций производится через радиомодем, а в системе удаленного Интернет-мониторинга режимов работы экскаваторов — с помощью GPRS-модемов через Интернет на центральный диспетчерский пункт. В процессе опытной эксплуатации обеспечена экономия электроэнергии за счет исключения режимов работы мощного горного оборудования на холостом ходу, а также реализован непрерывный контроль параметров электропотребления, технологических защит подстанции и электропотребления экскаваторов.

Системы удаленного мониторинга, режимы работы, высоковольтные подстанции, экскаваторы, радиомодемы, GPRS-модемы, интернет, экономия электроэнергии, удельные нормы электропотребления

Особенности открытых горных работ, в том числе для добычи угля, заключаются в том, что горнодобывающее оборудование большой единичной мощности (экскаваторы, буровые станки) располагается на значительной площади. Выемка угля и погрузка породы на угольных разрезах осуществляется экскаваторами, оснащенными мощными электроприводами. Так, мощность широко распространенных экскаваторов горного производства типа ЭКГ и ЭШ составляет от 250 до 1250 кВт. Электроприводы буровых станков имеют мощности более 100 кВт. Экскаваторы распределены на местности на значительном удалении друг от друга.

Широкое разнообразие условий эксплуатации экскаваторов приводит к значительному разбросу удельных норм потребления электрической энергии экскаваторами и к существенному отличию фактических норм от расчетных, что можно выявить с помощью систем удаленного мониторинга режимов работы горнодобывающего оборудования. Соответственно электроснабжение угольного разреза представляет собой разветвленную многокилометровую сеть воздушных линий, трансформаторных подстанций на напряжение 110/35/10 и 6 кВ, переключательных пунктов, электроприемников, содержащих экскаваторы, насосные станции, буровые станки, водоотливные установки и другое специализированное оборудование [1, 2].

Для систем электроснабжения горнодобывающих предприятий, в том числе подстанций угольных разрезов, характерны частые аварийные ситуации. С учетом того, что подстанции размещаются непосредственно на бортах разрезов, на значительном удалении от диспетчерских пунктов, контроль режимов их работы затруднен, отсутствуют системы технического учета электропотребления, а поиски и устранение отказов связаны со значительными трудностями и ведут к длительным простоям.

На кафедре автоматизации производственных процессов Карагандинского государственного технического университета для угольного разреза АО “Шубарколь-Комир” созданы и внедрены системы удаленного мониторинга режимов работы высоковольтных подстанций [3–5] и экскаваторов.

Системы удаленного мониторинга носят иерархический характер и в полной мере обеспечивают современный подход к “интеллектуальным измерениям” (Smart Metering) [6]. По сути, это автоматизированные системы, осуществляющие контроль и управление потреблением энергоресурсов согласно установленным критериям оптимизации энергосбережения с применением так называемой “интеллектуальной сети” (Smart Grid). Этот термин применяется для обозначения микропроцессорных счетчиков электроэнергии, способных самостоятельно накапливать, обрабатывать, оценивать информацию и передавать ее по специальным каналам связи [7].

Разработанная система на нижнем уровне осуществляет измерение параметров электропотребления объектов контроля (высоковольтные подстанции, экскаваторы, буровые станки) с помощью счетчиков-мультиметров, а также контроль включения электропотребителей и состояния защит. Эти сигналы обрабатываются в промышленных контроллерах, размещаемых непосредственно на объектах контроля, и далее поступают в подсистему передачи информации, которая в зависимости от назначения использует различные каналы [8].

На верхнем уровне информация от объектов контроля поступает на SCADA-системы удаленных диспетчерских пунктов, где соответствующим образом обрабатывается.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Системы мониторинга высоковольтных подстанций (СМВП) созданы и внедрены для трех высоковольтных подстанций — “Южная”, “Западная-Новая” и “Юго-Западная” угольного разреза АО “Шубарколь-Комир” в период 2010–2012 гг. [3–5].

Каждая подстанция имеет четыре питающих фидера, к которым может подключаться до пяти единиц оборудования одновременно. Напряжение питающих фидеров составляет 6 кВ. Питание подстанций осуществляется через вводные фидеры от линии высокого напряжения 35 кВ, приходящей с подстанции “Шубарколь-Новая”, которая в свою очередь подключена к высоковольтной линии напряжением 110 кВ.

На рис. 1 представлена структура разработанной и внедренной СМВП. Напряжение и ток каждого фидера с выходов счетчиков-мультиметров ME96NSR (Mitsubishi) передаются в контроллер FX3U-16MR/ES (Mitsubishi), расположенный в шкафу управления. Сигналы включения фидеров и сигналы защиты (“максимальная токовая защита”, “земляная защита”) поступают в контроллер по каналам дискретного входа. Далее контроллер формирует пакет сообщения и посредством радиомодема передает на приемный диспетчерский пункт полученные от счетчиков и дискретных входов данные на частоте 433.92 МГц.

Контроллер осуществляет опрос счетчиков электрической энергии, находящихся в каждом фидере. Каждый счетчик включен последовательно со штатным счетчиком, находящимся в шкафу фидера. Схема включения счетчиков трехпроводная, без нейтрали, с двумя трансформа-

торами тока и трансформатором напряжения. Сигналы измеренных параметров электроэнергии передаются в контроллер по двухпроводной линии связи RS485 протоколом Modbus RTU. Интерфейс RS485 контроллера реализован через модуль FX3U-485-ADP.

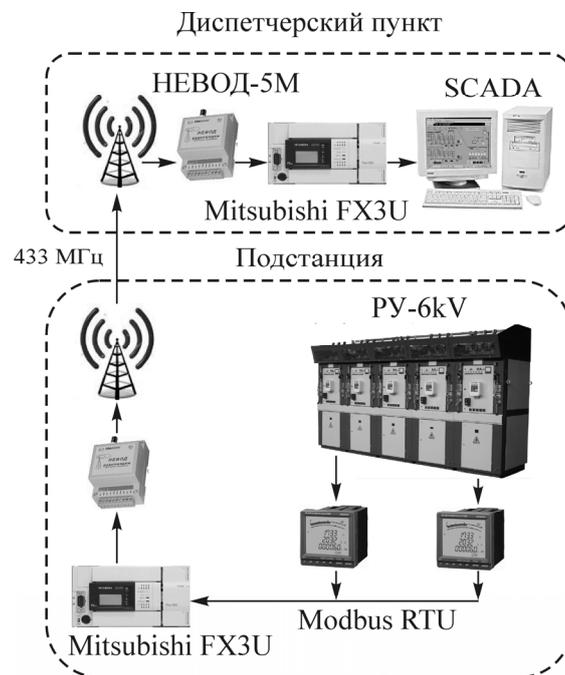


Рис. 1. Структура системы мониторинга высоковольтных подстанций

Считывание дискретных сигналов контроллером происходит посредством модуля FX2N-16EX/UL. Все накопленные данные: значение тока, значение напряжения, активная энергия и 17 дискретных сигналов состояния фидера — передаются на диспетчерский пункт через радиомодем НЕВОД-5М (фирма “Геолинк”, Москва). Связь контроллера с радиомодемом выполняется через модуль FX3U-232-BD по интерфейсу RS232. Цикл опроса счетчиков формируется по запросу от головного диспетчерского пункта.

Нижний уровень СМВП размещается в шкафах управления, расположенных на подстанциях. В шкафах фидеров с напряжением 6 кВ смонтированы универсальные электросчетчики, по одному на каждый фидер.

На диспетчерском пункте собирается и отображается информация с подстанций разреза. Здесь размещены шкаф управления и персональный компьютер, на котором установлено программное обеспечение “Citect SCADA”.

СМВП обеспечивает:

- контроль и передачу в режиме реального времени технологических параметров электроэнергии: тока и напряжения фидера; значения входного напряжения на фидере; значения входного напряжения 35 кВ на входе трансформатора; количества активной и реактивной накопленной энергии по каждому фидеру;

- контроль и передачу в режиме реального времени сигналов технологических защит: включения/отключения фидера; максимальной токовой защиты фидера; замыкания на землю каждого фидера; температуры масла трансформатора;

- индикацию текущего распределения добычного оборудования между отводящими линиями и его статус (работающее или неработающее) в виде графических мнемосхем на экране персонального компьютера;

- отображение, архивирование и удаление аварийных сообщений и предупреждений;
- архивирование всех сообщений системы на внешнем носителе.

SCADA-система в режиме реального времени осуществляет: мониторинг параметров электроэнергии; мониторинг состояния коммутационной аппаратуры технологических защит; мониторинг состояния нагрузки фидеров подстанций; оповещение оператора об аварийных ситуациях с последующим архивированием; представление измеряемых показаний в графической форме; генерацию отчетов по измеряемым параметрам [9].

Главное окно SCADA-системы появляется автоматически при включении персонального компьютера. Окно состоит из поля отображения состояния фидеров, поля управления нагрузкой и поля отображения состояния нагрузки. В нем отображается текущее распределение добычного оборудования между подстанциями разреза и их отводящими фидерами, световая индикация подключенных фидеров и их характеристики, состояние коммутационной аппаратуры технологических защит, состояние датчиков, срабатывания защит, а также статус оборудования.

SCADA-система реализует также функции оповещения оператора об аварийных ситуациях в виде визуальной и звуковой сигнализации о срабатывании технологических защит с их последующей записью в базе регистрации аварий и архивированием; формирование отчетности о потреблении электрической энергии по измеряемым параметрам за определенный период и вывод в необходимой форме в файл формата Excel и Access; составление отчетов по аварийным ситуациям.

В функции мониторинга и представления измеряемых параметров электроэнергии в графической форме входит обработка и вывод на экран показаний активной мощности, принимаемых со счетчиков в виде трендов. Окно отображения трендов потребляемой мощности на фидерах показано на рис. 2. По представленным трендам можно определить периоды работы оборудования с полной или частичной нагрузкой, на холостом ходу или его нахождение в отключенном состоянии.



Рис. 2. Окно отображения графиков потребляемой мощности 31 и 32 фидеров

В процессе эксплуатации комплекса на угольном разрезе “Шубарколь-Комир” выявлено следующее:

- система показала работоспособность в тяжелых эксплуатационных условиях в течение всего времени;
- подсистема визуализации позволяет в удобной форме отслеживать полную картину работы подстанций разреза, осуществлять мониторинг энергетических параметров, а также оперативно реагировать на аварийные ситуации, происходящие на обслуживаемых подстанциях;

— разработанная специально для этой системы функция автоматизированного контроля оборудования, подключенного к фидерам подстанции, дает полную картину о состоянии загруженности подстанции и о местах подключения оборудования на всей территории угольного разреза;

— система открыта и легко расширяется;

— система находится в процессе постоянной модернизации.

Вместе с тем по результатам эксплуатации комплекса выявлена низкая скорость передачи данных по радиоканалу. Недостаточная мощность передающего канала в условиях больших расстояний приводила к частичной потере данных, особенно при сильных атмосферных осадках. Однако при циклическом опросе пропадание отдельных пакетов не столь критично для системы в целом [10].

На момент проектирования системы техническим заданием было определено быстродействие системы не хуже, чем один опрос в минуту. Анализ трендов мгновенной мощности фидеров подстанций потребовал увеличения частоты опроса как минимум до одного опроса в 4 с. В настоящее время идет отработка альтернативных каналов связи.

Внедрение системы обеспечило значительное увеличение эффективности мониторинга параметров электроэнергии и технологических защит подстанции. За счет объединения данных в единую картину на экране у диспетчеров повысилась оперативность реагирования на любые нештатные ситуации, связанные с аварийными отключениями подстанций.

В процессе опытной эксплуатации системы исключены режимы холостого хода оборудования, подключенного к подстанциям “Южная” и “Юго-Западная”. Нагрузкой для этих подстанций являются 10 единиц техники, в том числе экскаваторы ЭКГ-5 — 5 шт.; шагающие экскаваторы ЭШ-10-70 — 2 шт.; экскаваторы ЭКГ-8 — 1 шт.; буровой станок и водоотлив. Работа под нагрузкой дает следующее потребление энергии по каждому типу экскаваторов: ЭКГ-5 — 250 кВт/ч, ЭКГ-8 — 630 и ЭШ-10-70 — 1250 кВт/ч.

Пересмена обслуживающего персонала происходит в течение одного часа 2 раза в сутки. Среднее потребление энергии на холостом ходу составляет 500 кВт/ч на подключенное к подстанциям оборудование. Таким образом, только исключение режимов холостого хода обеспечивает расчетную экономию электроэнергии за год 360 000 кВт/ч на две подстанции.

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО ИНТЕРНЕТ-МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРОВ

Опыт, полученный при разработке и эксплуатации СМВП, использован при создании систем удаленного мониторинга режимов работы экскаваторов на угольном разрезе “Шубарколь-Комир”. Система создана с целью оперативного управления технологическими процессами добычи угля и установления обоснованных норм удельного электропотребления экскаваторами различного типа. Определена основная функция системы удаленного Интернет-мониторинга — контроль параметров электропотребления экскаваторов.

В процессе разработки выяснилось, что применение радиомодемной связи для передачи информации с экскаваторов неэффективно из-за нахождения их в зоне с неустойчивым распространением радиосигнала. Необходимость применения ретрансляторов неоправданно завышает стоимость системы.

Перспективным направлением в беспроводных системах сбора и передачи информации являются промышленные сети стандарта 802.11, т. е. Wi-Fi-технологии [11], а также мобильные сети передачи данных [12]. Сеть Wi-Fi в условиях разреза “Шубарколь-Комир” находится в стадии развития, охватывая в настоящее время ограниченную территорию. В связи с этим в распределенной системе мониторинга удаленных объектов технологического оборудования передача данных организована по сети GSM.

Главной особенностью пакетной передачи данных GPRS является возможность постоянно подключения абонента к сети. Радиоканал предоставляется абоненту только на время передачи пакета данных, в остальное время он используется для передачи пакетов других пользователей сети. При данном способе организации связи оплата происходит только за трафик, а не за все время сеанса связи. Технология GPRS оптимальна для применения в системах непрерывного мониторинга мобильных и стационарных объектов. Максимально возможная скорость обмена данными с помощью технологии GPRS теоретически может достигать 170 Кбит/с [13].

Счетчики электрической энергии системы установлены в высоковольтных ячейках типа ЯКНО, обеспечивающих подачу напряжения 6 кВ на экскаваторы. Данные со счетчиков Меркурий-234ART2-00Р по протоколу Modbus передаются GSM/GPRS-модемами iRZ ATM2-485 непосредственно на компьютер в диспетчерский центр главного энергетика, установленный в г. Караганда. Базовая станция оператора сотовой связи АО “Кселл” находится на расстоянии 500 км, непосредственно на территории вахтового поселка.

На рис. 3 представлена структура системы удаленного Интернет-мониторинга режимов работы экскаваторов.

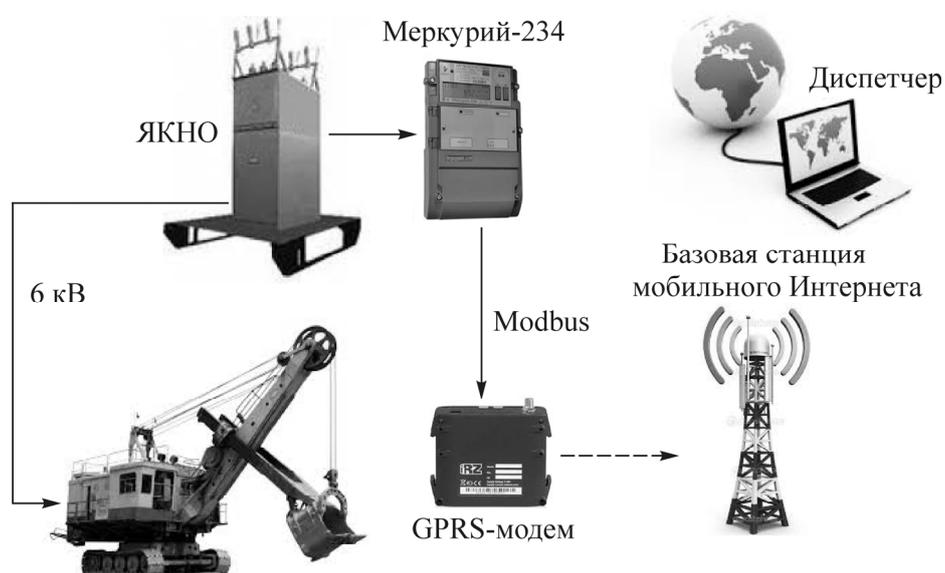


Рис. 3. Структура системы удаленного Интернет-мониторинга режимов работы экскаваторов

Прием запрашиваемой информации производится головным GSM-модемом со статическим IP-адресом. Базовая станция оператора сотовой связи, получив запрос, обращается к каждому модему, расположенному непосредственно в высоковольтной ячейке ЯКНО.

SCADA-система осуществляет отображение и архивацию получаемых данных с циклом 1 раз в 20 мин. По полученным данным SCADA-система формирует суточные отчеты о потребленной энергии.

На диспетчерском пункте учитывается следующая информация: количество потребленной активной и реактивной электроэнергии; количество генерируемой активной и реактивной электроэнергии; полная энергия; коэффициент мощности $\cos \varphi$. После получения данных о фактических посуточных объемах перегруженной горной массы рассчитывается удельный расход электроэнергии: $A_{уд} = A/M$, где A — фактический расход электроэнергии на выпуск продукции в количестве M (m^3) [14]. В качестве фактического расхода электроэнергии учитывалась активная энергия, потребляемая оборудованием.

Система введена в эксплуатацию в феврале 2015 г. Выполнен анализ удельного энергопотребления по 5 экскаваторам. Определены фактические удельные нормы расхода электроэнергии при различных режимах работы: простой, перегон экскаватора или перемещение горной массы для каждого экскаватора. В таблице представлен перечень контролируемых экскаваторов и измеренные удельные нормы электропотребления за три месяца.

Оборудование*	Фактические удельные усредненные нормы, кВт-ч/м ³		
	Февраль	Март	Апрель
ЭКГ-5А (0.485)	0.580	0.698	0.204
ЭКГ-8И (0.780)	0.899	0.144	0.000
ЭКГ-12,5 (0.774)	1.208	0.003	0.877
ЭШ-10/70 (1.050)	0.970	0.917	1.039
НІТАСНІ (0.807)	1.183	1.275	1.490

*В скобках указаны нормы удельного электропотребления экскаваторов, установленные независимо от климатических условий и времени года.

Для всех экскаваторов отмечены значительные колебания фактического удельного электропотребления относительно расчетных норм, причем как в сторону превышения, так и уменьшения. Приведены усредненные за месяц значения удельного электропотребления, не учитывающие виды работ экскаватора: простой оборудования или перегон экскаватора.

В качестве примера на рис. 4 показано посуточное изменение среднего удельного электропотребления на экскаваторе ЭКГ-12.5 за февраль и апрель 2015 г. Определено, что фактическое среднее удельное электропотребление в феврале существенно превышало норму, в то время как в апреле колебалось относительно расчетного. В этот период экскаватор выполнял различные технологические операции и работал с разной загрузкой.

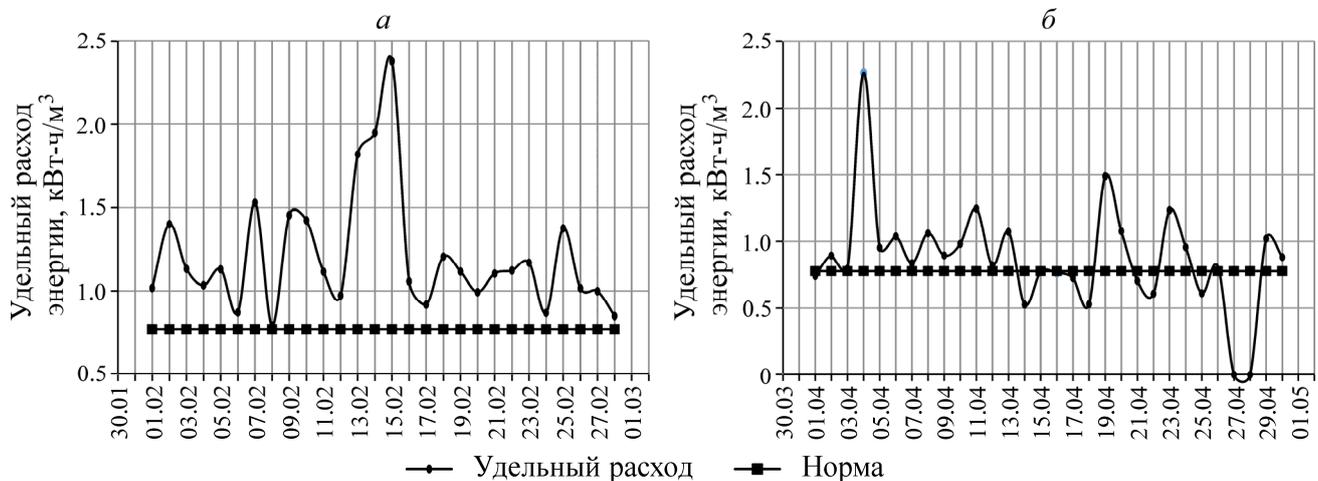


Рис. 4. Изменение удельного электропотребления на ЭКГ-12.5 за февраль (а) и апрель (б) 2015 г.

Можно сделать вывод, что установленные нормы удельного электропотребления меняются в зависимости от вида работ, выполняемых экскаваторами (добыча угля, вскрышные работы и т. п.), от содержания технологических операций, а также от климатических условий и времени года по результатам фактического мониторинга. В настоящее время, при эксплуатации применяются расчетные и постоянные для каждого типа экскаваторов удельные нормы электропотребления.

Установлено, что фактический удельный расход энергии снижается с увеличением удельного потребления [15]. Этот вывод подтверждается результатами мониторинга удельного потребления энергии экскаватором ЭШ-10/70: расчетное и фактическое значения удельного по-

требления в таблице различаются незначительно. Отмечено существенное увеличение фактического удельного электропотребления по сравнению с расчетным для экскаватора ЭКГ-5А в феврале – марте, для ЭКГ-12,5 — в феврале, а для экскаватора НТАСНІ — в феврале – апреле.

Из анализа результатов мониторинга вытекает вывод о необходимости корректировки расчетных норм удельного электропотребления экскаваторов в зависимости от сезона и характера выполняемых работ.

С учетом результатов проведенных исследований определены фактические удельные нормы на производство единицы продукции в различных технологических процессах (добыча угля, вскрышные работы, технологическая переэкскавация) для основных типов горновыемочных машин, применяемых в АО “Шубарколь-Комир”.

Вместе с контролем энергопотребления в течение трех месяцев с 1 февраля по 30 апреля 2015 г. исследовалось качество передачи информации. Постоянный анализ принимаемых данных в условиях реальных промышленных помех от высоковольтного оборудования и различного географического расположения экскаваторов позволил оценить качество GSM-связи угольного разреза.

Анализ качества связи показал, что для объектов, которые находятся в зоне неустойчивого приема, необходимо применять специальные методы обработки информации, обеспечивающие усреднение и накопление информации в блоках системы, размещаемых в высоковольтных ячейках, с многократной передачей усредненных данных. Так, счетчики Меркурий-234 фирмы ИНКОТЕКС (Москва) позволяют хранить профиль измеренной мощности за последние 120 сут. Данные с экскаваторов, находящихся в зоне с неустойчивым приемом, снимались непосредственно с каждого счетчика программой-конфигуратором. Работа экскаваторов под постоянным контролем дает возможность оперативно устанавливать причины несанкционированных простоев, а также вносить корректировки при нарушении технических регламентов.

Системы удаленного Интернет-мониторинга режимов работы подстанций и экскаваторов уже в настоящее время обеспечивают оперативное управление технологией добычи угля на открытых горных работах.

Развитие системы будет осуществляться путем расширения количества экскаваторов, охваченных удаленным мониторингом, что позволит перейти от управления электропотреблением отдельных машин к управлению электропотреблением угольного разреза.

ВЫВОДЫ

Внедрение систем удаленного мониторинга режимов работы высоковольтных подстанций и горнодобывающего оборудования для угольных разрезов обеспечивает значительное увеличение эффективности технологического процесса добычи угля за счет постоянного контроля параметров электроэнергии и технологических защит подстанции. Анализ графиков потребляемой мощности позволяет отслеживать эффективность использования подключенного оборудования на каждом фидере. Благодаря объединению данных в единую картину на экране, у диспетчеров повысилась оперативность реагирования на любые нештатные ситуации, связанные с аварийными отключениями подстанций.

По результатам эксплуатации комплекса установлена расчетная экономия электроэнергии за год 360 000 кВт/ч на две подстанции за счет исключения работы горного оборудования на холостом ходу.

Создание системы удаленного Интернет-мониторинга режимов работы экскаваторов позволяет оперативно корректировать режимы работы экскаваторов, а также устанавливать обоснованные показатели удельного потребления электроэнергии в зависимости от характера технологического процессов с учетом погодных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федоров А. А.** Электроснабжение промышленных предприятий. — М.: Госэнергоиздат, 1961. — 744 с.
2. **Андреева Л. В., Осика Л. К., Тубинис В. В.** Коммерческий учет электроэнергии на оптовом и розничном рынках. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2010. — 384 с.
3. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В., Котов Е. С., Ковальский А. А.** Система автоматического контроля режимов работы подстанций угольных разрезов // Тр. X Междунар. науч.-техн. форума “Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии”. — Ростов н/Дону, 2012. — С. 385–393.
4. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В., Котов Е. С., Ковальский А. А.** Система автоматического контроля режимов работы высоковольтных подстанций угольных разрезов // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. “Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика” / КазНТУ им. К. И. Сатпаева. — Алматы, 2012. — С. 63–66.
5. **Брейдо И. В., Сичкаренко А. В., Котов Е. С.** Информационные комплексы автоматического контроля режимов работы подстанций угольных разрезов // Тр. Междунар. науч.-метод. конф. “Информатизация инженерного образования”, “Инфорино-2014”. — М., 2014. — С. 197–198.
6. **Новиков В. В.** Интеллектуальные измерения на службе энергосбережения // Энергоэксперт. — 2011. — № 3. — С. 68–70.
7. **Ледин С. С.** Интеллектуальные сети SmartGrid — будущее российской энергетики // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2010. — № 11(16). — С. 4–8.
8. **Гисин Б. С., Жак А. В., Меркурьев Г. В., Окин А. А.** Автоматизация принятия решений по оперативно-диспетчерскому управлению энергообъединениями в аварийных режимах. — М.: Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт. — 1989. — № 6. — 109 с.
9. **Андреев Е. Б., Куцевич Н. А., Синенко О. В.** SCADA-системы: взгляд изнутри. — М.: Изд-во “РТСофт”, 2004. — 176 с.
10. **Назаров А. В., Козырев Г. И., Шитов И. В. и др.** Современная телеметрия в теории и на практике. — СПб.: Наука и Техника, 2007. — 672 с.
11. **Рошан П., Лизри Д.** Основы построения беспроводных локальных сетей: пер. с англ. — М.: Изд. дом “Вильямс”, 2004. — 304 с.
12. **Урель Ж. Л., Ле Гурьеллек Л., Бруэф Ж., Перуейро М.** Универсальный широкополосный доступ: наступление беспроводных и мобильных технологий // Технологии и средства связи. — 2005. — № 5. — С. 64–70.
13. **Рабион Н. Д., Ермолаев А. О., Панфилов Д. И., Соколов М. А.** Реализация каналов GSM/GPRS в беспроводных системах сбора и передачи информации // Сети и системы связи. — 2006. — № 6. — С. 86–91.
14. **Типовая инструкция** по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. Утв. Приказом КГЭН МИНТ Республики Казахстан № 106-П от 19 ноября 2012 года.
15. **Казаков А. П., Белов А. Н., Первушин И. А.** Опыт внедрения программного комплекса “АРМ для управления энергосбережением” на предприятиях горнодобывающей и обогащательной промышленности // Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов: Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В. Н. Фрянова. — Новокузнецк: Сиб. индустр. ун-т, 2010. — С. 36–42.

Поступила в редакцию 5/IV 2016