УДК 621.311

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ШАХТАХ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В.А.ШПЕНСТ

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены возможные варианты комплексирования телекоммуникационных и электротехнических систем горно-добывающих предприятий. На основе анализа современного состояния и перспектив развития систем телекоммуникаций предлагаются различные технические решения совместного использования имеющихся на шахтах и подземных сооружениях сетей электроснабжения в интересах решения задач телекоммуникации, автоматизации управления технологическими процессами и обеспечения безопасности ведения работ. Проведен анализ возможностей применения технологии PLC в подземных сооружениях и шахтах для решения конкретных телекоммуникационных задач, а также приведены примеры их возможной технической и аппаратной реализации.

Ключевые слова: комплексирование; сеть электроснабжения; телекоммуникации; энергетическая развязка; энергетическая совместимость

Как цитировать эту статью: Шпенст В.А. Комплексирование телекоммуникационных и электротехнических систем в шахтах и подземных сооружениях // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 78-87. DOI: 10.31897/PMI.2019.1.78

Введение. Горно-техническая и угледобывающая отрасли нашей страны традиционно считаются фундаментом ее экономики. Тенденции модернизации технологических процессов и повышения уровня эффективности управления производством проявляются здесь особенно заметно. В целях обеспечения и развития конкурентоспособности передовые российские горно-добывающие предприятия все активнее инвестируют в поиски и разработку новых месторождений, оснащение предприятий современным парком транспортной техники для открытых и подземных горных работ, развитие систем электроснабжения, совершенствование различного вспомогательного оборудования [1].

Наряду с этим в горно-добывающей отрасли угрожающими темпами растет уровень аварийности и травматизма, а профессия шахтера является одной из немногих современных профессий с запредельно высоким уровнем риска [5]. Создание чрезвычайных аварийных ситуаций на горно-добывающем предприятии ведет, как правило, к потере управления персоналом и приводит не только к значительным материальным потерям, но и к человеческим жертвам. Эти обстоятельства определяют специфические требования к телекоммуникационным сетям и оборудованию таких предприятий. Одним из самых важных направлений модернизации технологического оборудования горно-добывающих предприятий в настоящее время является обеспечение безопасности труда, что может быть достигнуто путем замены морально и физически устаревшего оборудования рудничной вентиляции, систем водоотлива, технической диагностики, а также установки системы датчиков бесконтактного контроля окружающей среды в шахтах и построением современных систем аварийного оповещения и связи.

В последние годы ситуация с телекоммуникациями на российских шахтах стала постепенно улучшаться, все больше предприятий добывающей промышленности начинают внедрять современные телекоммуникационные решения и технологии. Предоставляемые системами телекоммуникаций возможности оперативного получения актуальной информации о ходе выполнении работ в значительной степени снижают вероятность различных производственных ошибок и нарушений технологии их производства, а также дают возможность оптимизировать координацию проведения спасательных операций. По некоторым оценкам, после внедрения современных систем телекоммуникаций временные затраты производства могут быть сокращены до 30-50 % [2]. Новые системы телекоммуникаций призваны не только оптимизировать производственный процесс, но и значительно повысить безопасность труда. Как отмечено руководством Минэнерго России, практически все крупные аварии с человеческими жертвами, случившиеся за последние годы на угольных шахтах, произошли из-за взрывов метано-воздушной смеси при непосредственном участии угольной пыли. В связи с этим, вне зависимости от используемых технологий,

средства телекоммуникаций в шахтах и на объектах других отраслей промышленности, где присутствует опасность возникновения пожара или взрыва, должны удовлетворять определенным специфическим требованиям. В частности, телекоммуникационное оборудование, применяемое во взрывоопасных средах, должно иметь сертификат на соответствие российским стандартам взрывобезопасности [1]. Отдельные требования предъявляются к связи в угольных шахтах. В частности, они должны быть оборудованы и дублирующей альтернативной связью с аварийно-спасательной службой.

В настоящее время на рынке России среди производителей и поставщиков различных типов систем безопасности, обеспечивающих связь, оповещение и определение местоположения персонала в горных выработках, наиболее известны компании: ООО «Информационные горные технологии» (Россия), Mine Radio Systems Inc. (Канада), Davis Derby Ltd (Великобритания), ООО «Информационная индустрия» (Россия), НВЦ «Радиус» (Россия), НПФ «Гранч» (Россия) и некоторые другие [1].

Для всех перечисленных систем обеспечения безопасности важными параметрами функционирования являются скорость передачи данных и связанная с ней частота обновления данных, надежность работы системы в целом и надежность ее составляющих. Как правило, все производители систем безопасности применяют проводные и беспроводные каналы связи, обеспечивающие информационный и функциональный баланс (рис.1).

Большинство компаний-производителей для своих основных проводных магистралей использует высокопроизводительные проводные системы, построенные на медном кабеле или оптическом волокне. Так, системы фирм MRS (Flexcom), DavisDerby (MineWatch, WiPan), «Ингортех» (МИКОН) для построения основной инфраструктуры передачи данных использует только

Рис.1. Подземная инфраструктура SBGPS [1]

оптические и медные линии связи с производительностью 100BASE-FX, TX, что соответствует скорости 100 Мбит/с. В системах НПФ «Гранч» (SBGPS) [6] и Cisco (ConnectedMining) для обеспечения высокой производительности магистралей передачи данных также используют только медные и оптические кабели, которые обеспечивают пропускную способность в пределах 100-600 Мбит/с.

Основные различия этих систем связаны с количеством сетевых узлов и выбранными способами питания. Известно например, что у медной «витой пары» (Ethernet 100BASE-TX) имеется существенное ограничение по длине соединяющего узлы провода. Поэтому через каждые 100 м сети необходимо устанавливать следующий узел, либо предусматривать усилитель сигнала, который также требует проводного питания. Производители оборудования пытаются различными способами преодолеть это ограничение. Так, например, в оборудовании компании «Ингортех» применяются DSL-модемы, а НПФ «Гранч» задействовали специальные SBNI-модемы собственной разработки. Эти разработки обеспечивают увеличение протяженности проводных участков до 400-450 м без возникновения существенного снижения производительности магистрали. Для участков оптических сетей стандарта Ethernet 100BASE-FX (100 Мбит/с) и Ethernet 1000BASE-FX (1 Гбит/с) по типичным «шахтным» топологиям ограничений практически нет. Единственным ограничением при построении основных проводных магистралей системы являются линии проводного питания узлов связи, поскольку во взрывоопасной среде существует ограничение на передаваемую электрическую мощность, а также емкость батарей для автономных источников питания.

Если для связи по проводным линиям различные компании используют схожие технологии, то в беспроводном сегменте связи все обстоит иначе. Общая производительность беспроводного узла системы телекоммуникации зависит как от используемого протокола обмена данными, так и от конкретной технической реализации (питание, антенны, стабильность ориентации в выработке) и топологии беспроводной сети (расположение узлов связи, количество узлов в подсети). Области действия стандартов современной беспроводной передачи информации показаны на рис.2. На рис.2 для сравнения серым цветом указаны области действия стандартов для проводных сегментов сетей.

Исходя из принципов обработки цифровых сигналов в телекоммуникационных системах, повышение скорости передачи данных, как правило, связано с увеличением частоты, на которой осуществляется работа системы. Для эффективной передачи данных из любой точки сети необ-

Рис.2. Зоны действия различных стандартов современных телекоммуникационных систем [1]

ходимо, чтобы все задействованные сегменты этой сети имели близкую производительность [4]. На этих соображениях базируется развитие современных беспроводных технологий [3]. Стандартные решения в этой области обычно реализуют на базе проводных магистралей, дополняя их конфигурациями оборудования с использованием беспроводных узлов связи WiPAN, сети на основе технологии ZigBEE (IEEE 802.15.4, 250 Кбит/с).

Например, система Flexcom компании Mine Radio Systems предлагает «кольцевую» магистраль передачи данных на основе волоконно-оптической технологии с расширением покрытия с помощью беспроводного сегмента на основе технологий (IEEE 802.15.4, 250 Кбит/с). В этом направлении работают и разработчики отечественных систем. Так, известный производитель российских АСУ ТП компания «Ингортех» в своем беспроводном сегменте также задействует радиомаршрутизаторы на основе технологии NanoLOC (модификация IEEE 802.15.4, 1 Мбит/с) [10]. Похожее техническое решение использовано в системе позиционирования и голосовой связи RealTrac «Шахта» компании «РТЛ-сервис» [11], но с технологией UWB. С нашей точки зрения, наиболее эффективно реализован сегмент беспроводной сети в устройствах и решениях компании Cisco (ConnectedMining) и НПФ «Гранч» (SBGPS). В данных системах производительность беспроводного сегмента соответствует технологии Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n, 50-200 Мбит/с), что сравнимо по скорости с проводными сетями. При этом излучаемая в пространство мощность узлов связи находится в пределах 20 дБм [9]. Трансляция сигналов в пространство проводится с помощью направленных антенн.

При проведении анализа и исследований специфических особенностей построения беспроводных сетей под землей необходимо учитывать не только количественные, но и качественные характеристики предлагаемых решений. Так, например, уже упоминалась «проблема скрытого узла»: влияние соседних узлов связи на общую производительность всего участка сети, характерную для серии (цепи) беспроводных ретрансляторов. По некоторым оценкам производительность сети в таком случае может снижаться в 8-10 раз. По этой же причине решения, использующие большое количество беспроводных узлов в одном сегменте [11] вынуждены ограничивать максимальную длину сегмента до 10-15 узлов.

Можно сделать следующие выводы:

- горно-добывающим предприятиям необходимо в первую очередь ориентироваться на возможность поэтапного развития телекоммуникаций на базе единой инфраструктуры связи;
- в результате проведенного анализа вариантов реализации технических требований к телекоммуникационным системам на базе решений различных производителей обнаружен существенный ряд недостатков и выявлены проблемы в обеспечении их соответствия действующей нормативной документации;
- для выполнения всех требований к современным телекоммуникационным системам можно порекомендовать систему Connected Mining Cisco или SBGPS «Гранч» (достаточно эффективное сочетание проводной и беспроводной сегментации, обеспечение широкого функционала, высокая перспективность увеличения нагрузки, достаточная живучесть и стойкость к авариям, наличие сканирующего аэрогазового контроля, обеспечение непрерывности определения местоположения в штатном и аварийном режимах);
- дальнейшее развитие систем телекоммуникаций в шахтах и подземных сооружениях требует внедрения дублирующих альтернативных систем, особенно для аварийно-спасательных служб.

Методология и технологии. Одним из возможных направлений дальнейшего совершенствования телекоммуникационных систем в шахтах и подземных сооружениях может явиться их комплексирование с системами электроснабжения. Передача какой-либо информации и осуществление электроснабжения по общим проводным каналам результативно осуществляется в различных технологических приложениях. Встречаются ситуации, когда осуществление прокладки новых кабелей либо очень нежелательно, либо не представляется возможным. В таких случаях практически всегда есть возможность ограничиться существующей электроинфраструктурой – воспользоваться имеющейся проводной сетью системы электроснабжения для организации достаточно скоростного и устойчивого канала передачи информации, разветвленного по всему сооружению.

Телекоммуникационная технология PLC (*Power line communication*), основанная на использовании промышленных силовых сетей электроснабжения для обеспечения информационного обмена путем совместной передачи данных за счет модуляции стандартного промышленного пе-

ременного тока, отличается достаточной простотой в технической реализации, а также высокой оперативностью осуществления монтажа устройств на ее основе. Одни из первых устройств передачи данных по сетям электроснабжения появились еще в 1940-х годах, в основном их использовали для решения задач сигнализации в энергетических системах и на железных дорогах из-за очень низкой пропускной способности [8]. В последнем десятилетии XX века целый ряд различных телекоммуникационных компаний реализовал первые достаточно серьезные проекты в этой сфере, однако в ходе их эксплуатации обнаружились большие проблемы, основной из которых была низкая помехозащищенность. Работающие на небольших расстояниях от PLC-модемов различные импульсные устройства, мощные блоки питания и зарядные устройства, промышленные электроприборы, а также электродвигатели и оборудование с высоким электропотреблением вызывали в неэкранированных от высокочастотных излучений электрических проводах наведенные импульсные помехи, которые, как правило, приводили к достаточно заметному уменьшению надежности и достоверности передачи информации. Неоднородность линий электропроводки, низкое качество материалов проводов и высокая изношенность электрических сетей, стыки кабелей, выполненные из электрически неоднородных материалов (например, меди и алюминия), наличие скруток и т.п. также не способствовали устойчивому функционированию таких систем, а особенно их пропускной способности. Таким образом, суммарное понижение скоростей передачи данных могло достигать 20-60 %. В сооружениях и местах функционирования PLC-устройств в отдельных случаях фиксировалось ухудшение работы радиоприемников на расстоянии 3-5 м от места расположения PLC-модема, особенно заметное на средних и коротких волнах. Это явление имело место, так как электрические сетевые провода начинали представлять из себя излучающие антенны, что значительно нарушало электромагнитную обстановку [13].

Технология передачи информации по сетям электроснабжения получила достаточно широкое коммерческое применение только в начале нашего столетия, а ее промышленное внедрение и быстрое широкое распространение было основано на появлении необходимой элементной базы, особенно высокопроизводительных специализированных микроконтроллеров и скоростных DSP-процессоров (цифровых сигнальных процессоров), которые позволяли осуществлять специальные методы цифровой модуляции сигнала и современные высоконадежные алгоритмы шифрования. Это обстоятельство позволило достичь не только высокого уровня надежности достоверности при передаче данных, но и обеспечить их эффективную защиту от несанкционированного доступа. Не менее важное значение имело широкое внедрение и распространение стандартизации различных сфер данной технологии. Наиболее авторитетными сообществами и организациями, регламентирующими в настоящее время требования к PLC-устройствам, являются IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA и HomePlug Powerline Alliance. Последняя организация представляет собой международный альянс, который объединяет около 75 достаточно известных на рынке телекоммуникаций компаний (Siemens, Motorola, Samsung и Philips) [8]. Деятельность этого альянса, организованного в 2001 г., направлена на организацию и ведение научных исследований и практических испытаний по обеспечению совместимости устройств различных изготовителей, которые используют данную технологию, а также на осуществление поддержки и продвижение единого стандарта под названием HomePlug.

Основой технологии комплексирования телекоммуникационных и электротехнических систем является использование частотного разделения информационного сигнала, в результате

Рис.3. Частотное разделение исходного сигнала [3]

которого высокоскоростной поток данных разветвляется на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из них передается на своей отдельной поднесущей частоте с дальнейшим соединением в результирующий сигнал (рис.3) [3].

При использовании традиционного вида модуляции с частотным разделением (FDM –

Рис.4. DQPSK модуляция сигнала [3]

Frequency Division Multiplexing) доступный спектр сигнала расходуется достаточно неэффективно. Это происходит в связи с присутствием защитных интервалов, вставляемых между разными поднесущими сигнала, необходимыми для противодействия взаимному влиянию сигналов. Поэтому в PLC-устройствах широкое применение нашло «ортогональное частотно-разделенное мультиплексирование» (OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), при осуществлении которого центры всех поднесущих частот располагаются так, чтобы пиковое значение каждого следующего сигнала совпадало с нулевым значением предыдущего, доступный спектр сигнала в этом случае будет расходоваться более рационально.

До начала процедуры соединения в один общий сигнал все входящие в его состав поднесущие частоты подвергают процессу фазовой модуляции, причем каждая поднесущая модулируется собственной последовательностью бит. После окончания этой операции они поступают на блок формирования сигнала, где соединяются в общий информационный пакет, который называют OFDM-символом. На рис.4 изображен пример «относительной квадратурной фазовой манипуляции» (DQPSK – *Differential Quadrature Phase Shift Keying*) для выделенных четырех поднесущих частот в диапазоне 4500-5100 кГц.

При решении практических задач по реализации PLC передача сигналов ведется, как правило, с применением 1536 поднесущих частот с дальнейшим выбором некоторого количества наилучших из них в диапазоне от 4 до 64 МГц и в зависимости от того, в каком состоянии находится линия передачи, а также имеющегося уровня помех. Применение данного способа обеспечивает для PLC-технологии достаточную адаптивность при применении в различных условиях функционирования. Например, работающее PLC-устройство может препятствовать радиоприему на определенных частотах. Еще одним примером является случай, когда некое устройство или приложение уже задействует часть рабочего диапазона. Технологически ликвидировать нежелательное взаимовлияние можно путем применения специальных настроек, которые называют Signal Mode и Power Mask на устройствах, где может быть предусмотрена соответствующая возможность. Signal Mode – это программный способ выделения некоего рабочего диапазона частот, а Power Mask – программная процедура по ограничению полосы используемых частот. За счет этих методов PLC-устройства могут устойчиво функционировать совместно с системами радиосвязи в одном общем пространстве и не зашумлять радиодиапазоны частот.

При передаче информационных сигналов по промышленной электросети также могут возникать весьма высокие уровни затуханий транслируемого сигнала на некоторых частотах, что может приводить к полной (частичной) потере и искажению передаваемых данных. Для обеспечения адаптации сигнальной информации к физической среде передачи возможно применение способа динамического череспериодного переключения сигнала, позволяющего провести обнаружение и коррекцию ошибок, а также устранение сигнальных конфликтов. Сущность данного способа заключается в организации непрерывного мониторинга каналов передачи сигналов в целях выявления участка спектра, на котором происходит превышение определенного порогового уровня затухания. При обнаружении такой ситуации использование «проблемного» диапазона на некоторый промежуток времени приостанавливается до достижения приемлемого значения затухания, а информационные данные в этот промежуток передаются на других частотах. Применение предложенного способа позволит существенно повысить эффективность, достоверность и помехозащищенность передаваемой информации.

Еще одной существенной сложностью, которая возникает при передаче информации по промышленным сетям электроснабжения является наличие импульсных помех, в качестве источников которых могут выступать различные сетевые (зарядные) устройства, системы освещения (особенно галогенные лампы), подключение и отключение от сети разного типа электрических приборов. Серьезность данной ситуации состоит в том, что модем не всегда может успеть адаптироваться к динамическим условиям среды, так как длительность данных процессов может лежать в интервале нескольких микросекунд, и в результате часть битов, содержащихся в информационном сигнале, может быть потеряна [3].

По результатам проведенных исследований в качестве наиболее эффективного способа борьбы с импульсными помехами предлагается применение способа двухступенчатого или каскадного помехоустойчивого перекодирования битовых потоков до того, как будет проведена их модуляция и пересылка по каналу передачи данных. Его сущность состоит в прибавлении к исходному информационному потоку по заранее заданному алгоритму избыточных («защитных») бит, которые будут использованы при последующем декодировании в приемнике для обнаружения и коррекции обнаруженных ошибок. Например, каскадирование блочного кода Рида – Соломона и простого сверточного кода, декодируемого по алгоритму Витерби, позволяет исправлять не только одиночные ошибки, но и пакеты ошибок, что значительно увеличивает целостность передаваемых данных [3]. Также следует отметить, что использование помехоустойчивого кодирования будет повышать безопасность и целостность передаваемых данных с точки зрения обеспечения их защиты от возможного несанкционированного доступа.

Так как в качестве среды передачи информации выступает достаточно разветвленная сеть электроснабжения, то в какой-то момент времени могут начать передавать информацию сразу несколько подключенных к сети устройств. В данной ситуации разрешение конфликтов пересечения и наложения трафика может быть осуществлено за счет некоего регулирующего механизма, в качестве которого выступает протокол доступа к среде CSMA/CA. Разрешение конфликтов при этом происходит на базе установленной системы приоритетов, которые задаются при организации приоритизации передачи данных.

В качестве одного из реально работающих технологических примеров по реализации данной технологии можно привести PLC-продукцию компании Semtech, которая предназначена для применения в различных типовых линиях электроснабжения с низким или средним рабочим напряжением [3]. Используемый в данной технологии модем, действующий с аналоговой физической линией, должен иметь функциональные узлы, необходимые для обработки аналоговых данных, преобразования в цифровую форму и, конечно, для обработки цифровых данных. На передающей стороне модем также должен производить кодирование цифровых данных в соответствии с заданным алгоритмом, преобразовывать их в аналоговые и передавать в линию связи.

Все перечисленные действия выполняются микросхемами серии EV8xxx. Узкополосные микросхемы, представляют собой «системы на кристалле», которые отличаются высокой степенью интеграции и содержат все необходимые структурные блоки для реализации физического, MAC и других уровней протокола (WPAN и IEC). Представленные устройства обеспечивают реализацию нескольких типов модуляции (на практике наиболее часто применяется OFDM) для организации устойчивого и помехозащищенного канала. Однокристалльные ИС, которые прошли функциональное

Рис.5. Блок-схема ИС семейства [3]

тестирование совместимости в HomePlug Alliance Netricity, отличаются универсальностью применения, на их основе проектируются как оконечные узлы, так и координаторы сети. Спецификация Netricity разработана для сетевых коммуникаций по линиям электросети большой дальности и предназначена для промышленной инфраструктуры, интеллектуальных сетей распределения электроэнергии и управления производственными процессами. Технология может быть использована как в плотных надземных, так и в подземных сетях электроснабжения с применением частот ниже 500 кГц. Она также включает обеспечение уровня доступа на основе IEEE 802.15.4 (MAC), являющимся ключевым для разработки гибридных проводных (беспроводных) сетей [3].

Упрощенная структура с изображением основных функциональных узлов приведена на рис.5, здесь можно выделить следующие блоки [3]:

- RISC-микроконтроллер 32-битный обеспечивает внутрисхемную реализацию MAC-уровня, производит обработку данных, формирование пакета, кодирование данных по симметричному алгоритму блочного шифрования AES и т.д., а также решает прикладные задачи.

- Блок AFE (*Analog Front-End*) представляет совокупность аналоговых компонентов, обеспечивающих изоляцию при помощи трансформатора с разделительным конденсатором, фильтрацию и усиление входного сигнала, а также формирование заданных уровней выходного передаваемого сигнала путем использования драйвера линии на ОУ.

- Периферийные блоки сопрягают встроенный микропроцессор с внешними микросхемами – памятью EEPROM, АЦП с высоким разрешением и хост-контроллером. Для связи применяется аппаратная реализация широко распространенных интерфейсов SPI, I2C и UART.

- Блок PHU обеспечивает сопряжение цифровой части микросхемы с аналоговой линией.

- Интегрированная оперативная и флэш-память, размер встроенной памяти программ меняется от 1 до 2 Мбайт, оперативной – от 256 кбайт у EV8100 до 384 кбайт у остальных, возможны иные варианты.

- Блок управления тактированием.

- Подсистема питания обеспечивает все необходимые для отдельных узлов напряжения. Как правило, применяется источник питания, который работает от той же сети переменного тока, что и используется для передачи данных.

Для практического применения технологии комплексирования телекоммуникационных систем и систем электроснабжения в шахтах и подземных сооружениях можно предложить пять потенциально реализуемых методов:

- индуктивное ответвление сигналов с отдельными фазными проводами в распределительных кабелях шахты;
- ответвление в гнездо или из гнезда с низким напряжением, которые могут существовать в электрооборудовании шахты;
- ответвление сигналов в заземление кабеля по отношению к местному заземлению;
- беспроводное ответвление на кабель или от кабеля;
- индуктивное ответвление RF по всему высоковольтному кабелю или от него.

Таким образом, исходя из специфики функционирования горно-добывающего предприятия (шахты), в состав такой комбинированной телекоммуникационной системы можно включить следующие подсистемы, ориентированные на контроль и управление основными технологическими участками: параметров окружающей среды шахты; транспортной цепочкой (конвейеры, бункеры, питатели и др.) от забоя и до ствола шахты; работой вентиляторов местного проветривания; параметрами добычных и проходческих комплексов; параметрами дегазации; высоковольтными распределительными устройствами; установками главного водоотлива; вентиляторами главного проветривания; работой поверхностных объектов; технологическим комплексом погрузки угля.

Еще одним из эффективных вариантов использования комплексирования телекоммуникационных и электротехнических систем в подземных сооружениях может стать применение управления освещением подземного сооружения. В текущем десятилетии вместо ламп накаливания постепенно все шире станут использоваться светодиоды. У светодиодов имеются значительные преимущества перед компактными люминесцентными лампами и лампами накаливания. К таким преимуществам относятся регулирование яркости во всем диапазоне свечения ламп, значительно более продолжительный срок работы, отсутствие в них ртути и возможности настройки цветовой температуры. Рассмотрим, например, систему освещения шахты, на которую расходуется 20-30 % средств, отпускаемых на электроснабжение всего предприятия. В используемых в настоящее время осветительных системах не предусмотрена регулировка яркости ламп, контроль над цветовой температурой и интеллектуальное переключение. Для обнаружения фактов различных неисправностей в освещении требуется применение специального персонала. Очень часто такой ремонт проводится только после обнаружения неисправностей и поступления соответствующих заявлений.

Всех перечисленных расходов можно избежать, если перейти на современную модель использования освещения, в которой будет реализована PLC-технология. Благодаря этой связи можно будет организовать мониторинг и управление каждым элементом освещения. Кроме того, периодическая регулировка яркости светодиодов способствует увеличению срока службы ламп, лампы с истекающим сроком службы можно заменить до их выхода из строя, что уменьшает расходы на обслуживание. Данные о сроке службы ламп, их энергопотреблении и другая служебная информация может отправляться в центр мониторинга и использоваться в дальнейшем для диагностики. Для монтажа светодиодных светильников не требуются прокладка дополнительных кабелей или проведение монтажных работ – PLC-решение является наиболее подходящим и доступным в таких задачах. Система управления светодиодными светильниками высокой яркости обеспечивает работу в соответствии с оптимизированным сетевым протоколом, позволяя контролировать отдельные установки или группы установок в инфраструктуре линии электропередачи. Например, PLC-система с решением EZ-Color от Cypress может применяться для интеллектуального регулирования яркостью и постепенного выключения мощных светодиодов [8].

Такие же соображения можно применить, например, к системам вентиляции и водоотлива. В данном случае управление этими системами можно организовать с использованием проводов их системы электропитания, что позволит значительно упростить и удешевить автоматизацию, а также обеспечить учет влияния нагрузки на потери в сетях электроснабжения [12].

Заключение

Предлагаемые решения по применению комплексирования телекоммуникационных систем и систем электроснабжения горно-добывающих предприятий позволят повысить эффективность решения различных технологических задач, возникающих при функционировании шахт (подземных сооружений), улучшить безопасность производства и снизить затраты на реализацию систем автоматического управления технологическими процессами. Анализ возможных вариантов технической реализации указанных задач показал, что данная технология может столкнуться с рядом существенных трудностей при реализации. Основные из них связаны с тем, что электрическая проводка систем электроснабжения российских предприятий изготовлена в основном из алюминия, а не из меди, которая используется в большинстве стран мира. Электрокабели из

алюминия обладают заметно худшей электропроводностью, что будет приводить к более быстрому затуханию информационных сигналов. Другая выявленная проблема заключается в том, что в России до сих пор не решены основные вопросы нормативно-правового регулирования использования таких технологий. Основным фактором, сдерживающим быстрое развитие высокоскоростных систем PLC, является отсутствие стандартов на широкополосные PLC-системы, и, как следствие, большой риск несовместимости с другими службами на предприятии, использующими те же или близкие диапазоны частот. В Санкт-Петербургском горном университете реализуется научный проект по созданию теоретических и методологических основ комплексирования телекоммуникационных систем и систем электроснабжения горно-добывающих предприятий, результатом которого должен стать научно-методический аппарат построения таких систем, что является значительным рывком в повышении эффективности функционирования систем управления такими предприятиями в целом.

Благодарность. Работа выполнена в рамках исследований при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-01117).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В.С. Развитие мобильных устройств в составе компьютерных сетей угольных шахт / В.С.Ваганов, Т.В.Гоффарт, И.С.Дубков // Горная промышленность. 2018. № 1 (137). С. 54-58.
2. Ваганов В.С. Правила безопасности в угольных шахтах – развитие многофункциональных систем безопасности // Горная промышленность. 2017. № 2 (132). С. 77-83.
3. Верхулевский К. Передача информации по сетям электропитания с помощью ИС компании Semtech // Компоненты и технологии. 2015. № 11. С. 50-54.
4. Гайкович Г.Ф. Стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП // Электронные компоненты. 2009. № 1. С. 48-52.
5. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 292-297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292
6. МФСБ в угольной шахте – позиционирование и оповещение персонала / А.Ю.Грачев, А.В.Новиков, К.В.Паневников, Д.Б.Терехов // Научно-технический журнал Вестник. 2016. № 2. С. 121-129.
7. Невструев И.А. Построение сетей доступа передачи информации по электрическим сетям / И.А.Невструев, А.В.Арсеньев // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2007. Т. 3. № 3. С. 12-19.
8. Охрименко В. PLC-технологии // Электронные компоненты. 2009. № 10. С. 58-62.
9. Правила применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц (зарегистрировано в Минюсте РФ 12.10.2010 № 18695). Информационно-правовой портал «Гарант» / <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/99539/>
10. Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе / А.Г.Бабенко, С.Э.Лапин, А.В.Вильгельм, С.М.Оржеховский // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 1. С. 16-22.
11. RealTrac «Шахта». Многофункциональная система безопасности для шахт, рудников и подземной добычи полезных ископаемых / <https://real-trac.com/ru/solutions/underground-mining/>
12. Шклярский Я.Э. Влияние графика нагрузки на потери в электрической сети предприятия / Я.Э.Шклярский, С.Пирог // Записки Горного института. 2016. Т. 222. С. 859-863. DOI: 10.18454/PMI.2016.6.859
13. Hrasnica H. Broadband Power line Communications: Networks Design / H.Hrasnica, A.Haidine, R.Lehnert // John Wiley & Sons, 2005. 290 p.

Автор В.А.Шпенст, д-р техн. наук, профессор, shpenst@spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

Статья принята к публикации 15.01.2019.