



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АСУ ТП ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА

М.А. БОРИСОВ, Ю.А. КОНЮГИН, П.С. ХОМУТОВ, О.В. КРЮКОВ
(“ТСН-электро”, г. Нижний Новгород)



Рассмотрены энергонезависимые беспроводные системы передачи информации, которые открывают новые возможности для диагностики, измерения и организации АСУ ТП территориально распределенных объектов. Предложено применение оборудования систем передачи информации для управления скважинным фондом части подземных хранилищ газа. Представлена архитектура систем АСУ ТП и топология организации сетей для объектов ПХГ.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления; подземные хранилища газа; беспроводные системы передачи информации; обмен данными; маршрутизатор; модуль сбора и связи.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработанные для военного применения беспроводные сенсорные системы (БСС) приема и передачи информации стали широко использоваться для автоматизации различных промышленных объектов [1-4]. Энергонезависимые беспроводные системы передачи информации открывают новые возможности для диагностики, измерения и организации АСУ ТП территориально распределенных объектов [5-8]. Область покрытия подобных сетей может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции передачи информации внутри элементов системы [9-12].

Требования для построения БСС сегодня оформлены в различных международных специализированных стандартах, одним из примеров которых являются требования стандарта IEEE 802.15.4 [13], регламентирующие протоколы физического, канального и сетевых уровней для каналов передачи информации.

В настоящее время решения на базе БСС различных производителей находят все более широкое применение в нефтегазовом и энергетическом секторах предприятий России [14-18]. Представленное на рынке оборудование различных зарубежных и отечественных производителей, несмотря на имеющиеся существенные отличия по ис-

полнению и эксплуатационным характеристикам оборудования, в основе построены на единых подходах при организации беспроводных сетей передачи технологических параметров объекта.

На объектах устанавливаются датчики технологических процессов и исполнительные механизмы, коммутируемые с устройствами сопряжения, которые образуют “нижний уровень” беспроводной системы контроля и управления. Устройства сопряжения выполняют при этом функцию преобразования и приема-передачи данных, обеспечивают промежуточную буферизацию данных и реализацию управляющих алгоритмов.

Электропитание устройств “нижнего уровня” может быть как энергозависимым, то есть иметь подключение к проводной системе электроснабжения, так и быть полностью энергонезависимым (локальным) и использующим в качестве источников только встроенные аккумуляторные батареи, а также дополнительные источники типа солнечных батарей, ветрогенераторов или термоэлектрогенераторов и другие энергогенерирующие устройства на основе цифровых подстанций (рис. 1) [19-22].

Передача данных к устройствам сопряжения соседних объектов контроля и управления и/или на “верхний уровень” осуществляется устройством сопряжения по беспроводному каналу (сети) передачи данных [23-28].



Рис. 1.
Общий вид цифровой подстанции
для электрогенерирующих
устройств

СТРУКТУРЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ НА БАЗЕ БСС

Успешным примером реализации этих подходов являются решения, построенные на базе отечественной автоматизированной беспроводной системы сбора и обработки информации (АСОИ) «Скважина» ЗАО «Объединение «Бинар», г. Саров.

На основе применения оборудования БСС организовано управление скважинным фондом части подземных хранилищ газа (ПХГ) в России, Беларуси, Украине и Казахстане с общим количеством скважинного фонда 150 единиц на основе применения 820-ти различных функциональных датчиков БСС собственного производства.

При построении системы была принята двухуровневая схема как наиболее адекватно отражающая схему объекта автоматизации [29, 30]. В состав базового комплекта полевой части системы применяются сенсорные модули измерения температуры (погружной и накладной), давления газа (с унифицированным газовым каналом и «открытой диафрагмой»), акустоэмиссионные датчики, модули дискретных сигналов, датчики регистрации проникновения на объект, маршрутизаторы, ретрансляторы и базовая станция.

Примером построения завершенной системы является БСС Кушевской ПХГ (Россия). Схема группировки скважин была выбрана с учётом конкретной топографии их располо-

жения на площади более 60 кв. км. Каждая скважина рассматривается как локальный объект автоматизации со своим набором регистрируемых параметров и своим комплектом модулей для регистрации первичных физических величин. Функции, выполняемые системой, подразделяются на информационные и вспомогательные.

К числу информационных функций относятся: измерение технологических параметров, сбор получаемых данных, первичная обработка данных, визуализация получаемой информации, обеспечение взаимодействия «человек – машина» и накопление полученной информации. К числу вспомогательных функций относятся: параметрирование измерительных каналов сенсорных датчиков; регистрация внутренней температуры сенсорных модулей; диагностика состояния программно – технических средств (ПТС) системы. Оборудование реализовано с учетом требований обеспечения мимикрии, т.е. по внешнему виду не выделяется на фоне обвязки скважины.

На каждой из 90-та скважин установлено по четыре измерительных сенсорных модуля давления (СМД), измеряющих буферное, межколонное, затрубное давление и давление газа на выходе скважины, а также по одному сенсорному модулю температуры (СМТ), измеряющему температуру газа на выходе скважины. Приборы устанавливаются на штатные места фонтанной арматуры, предусмотренные для местных манометров и термометров и не

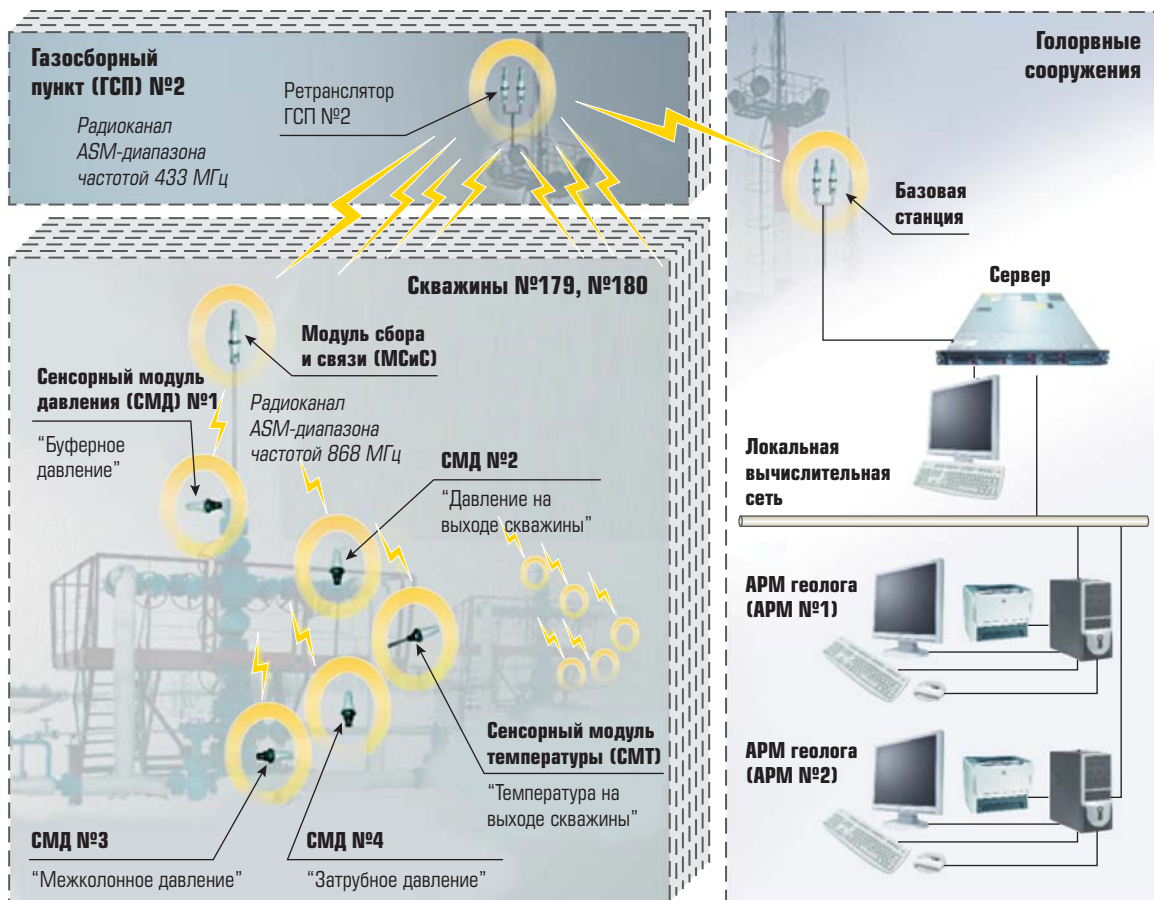


Рис. 2. Структурная схема АСУ ТП на основе БСС

требуют дополнительных монтажных работ по обвязке (рис. 2).

Измерительные модули объединены модулями сбора и связи (МСиС), ретрансляторами и базовой станцией в единую БСС. Общее коли-

чество подключенных в сеть различных по назначению сенсорных модулей составляет 450 шт. МСиС устанавливаются вблизи скважин на расстоянии до 50 м. Данные от сенсорных модулей до МСиС передаются по радиоканалу 868 МГц ASM-диапазона. Максимально возможно объединение 16-ти датчиков на один МСиС.

Данные от всех МСиС по радиоканалу 433 МГц ASM-диапазона передаются с помощью ретрансляторов на базовую станцию. Максимально допустимое расстояние от МСиС до ретранслятора и базовой станции составляет порядка 2,3 км при наличии препятствий (лесополос, зданий и сооружений) и до 5,1 км при наличии прямой видимости. Топология организации сетей для объектов ПХГ приведена на рис. 3.

Способ модуляции сигнала – “частотные манипуляции”. В системе используется протокол передачи данных разработки на основе помехоустойчивого кода “Манчестер-2” и кода Хемминга. Скорость обмена данными до 50 кБит/сек. Мощность приемопередатчиков, используемых в сенсорных модулях, МСиС, ре-

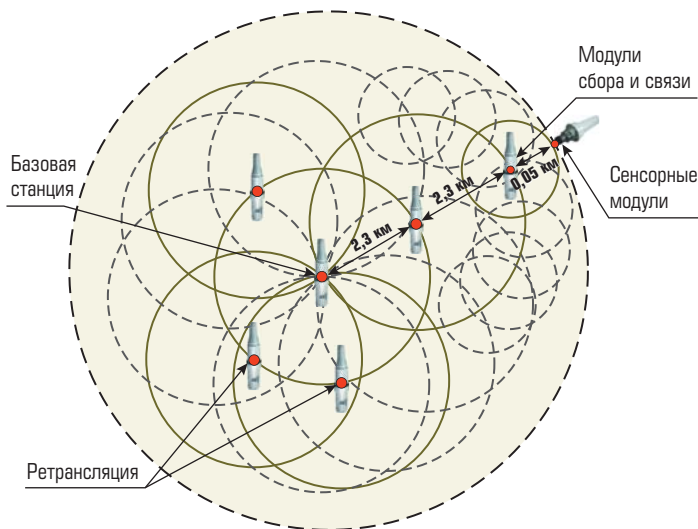


Рис. 3. Топология организации БСС для скважин ПХГ

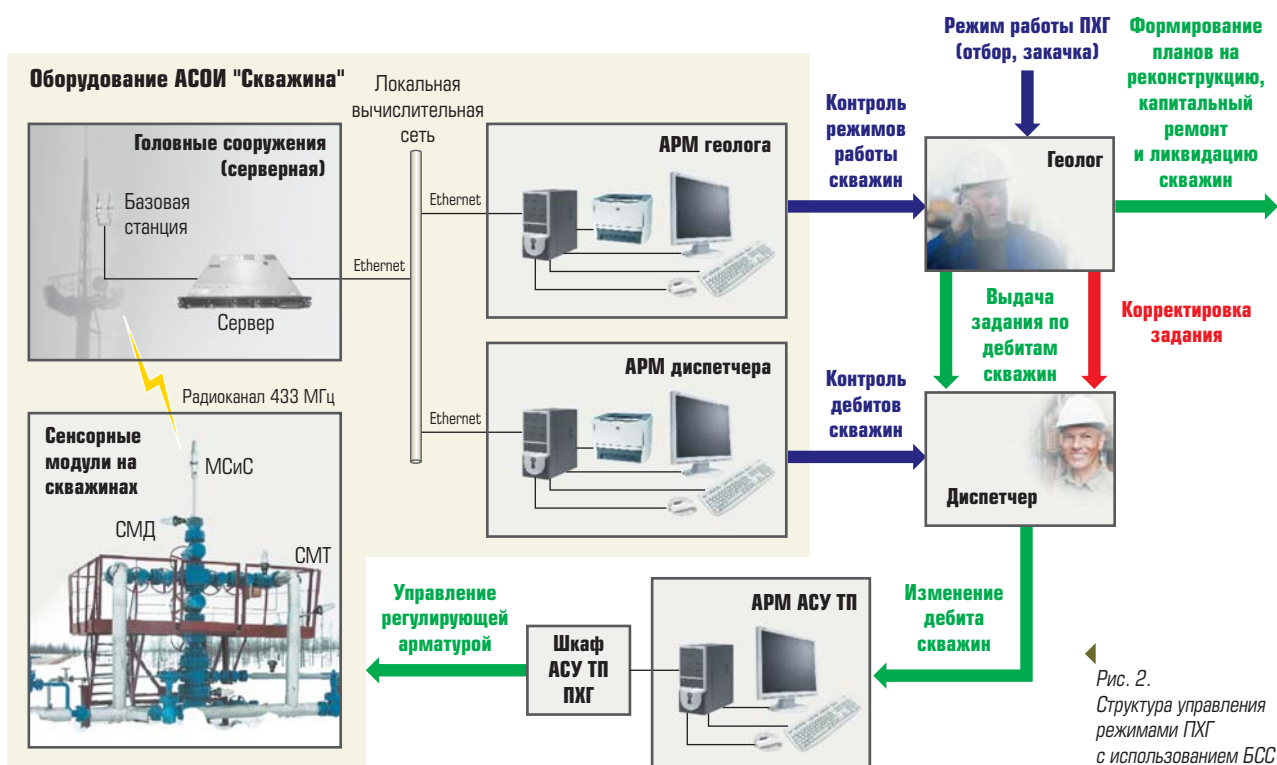


Рис. 2. Структура управления режимами ПХГ с использованием БСС

трансляторах и в базовой станции менее 10 мВт. Регистрации используемых радиочастот при внедрении АСОИ "Скважина" не требуется.

Информационный обмен в системе построен "инициативно". Один раз в минуту сенсорные модули "веером" выдают в эфир пакеты с адресом датчика, показанием измеряемой величины и температурой кристалла (в физических единицах) и показанием внутреннего счетчика – таймера. МСiС принимают пакеты сенсорных модулей, формируют пакеты обмена и передают их в эфир ретранслятору. Аналогично, ретрансляторы передают данные базовой станции. Весь цикл происходит за несколько десятков миллисекунд в начале каждого периода опроса. Период опроса может принимать значения: 15 сек, 1 мин, 5 мин и др.

Базовая станция по интерфейсу RS-232 и протоколу Modbus передает полученные от ретрансляторов данные на сервер. Схема синхронизации устройств сети организована следующим образом.

Сенсорные модули, МСiС, ретрансляторы и базовая станция имеют встроенные счетчики – таймеры. С заданной периодичностью базовая станция синхронизирует свой счетчик от сервера по Modbus, ретрансляторы синхронизируются по стробу от базовой станции, МСiС по стробу от ретрансляторов, сенсорные модули по стробу от МСiС.

Метки времени полученным измерениям технологических параметров присваиваются

на сервере. Система электропитания сенсорных модулей – автономная. В качестве источников питания используются литий-ионные аккумуляторные батареи. Применение описанных системных решений при построении информационного обмена позволило минимизировать энергозатраты при эксплуатации системы. Итогом стала работоспособность сенсорных модулей в течение не менее 1,5 лет с периодом опроса в 1 мин. Дополнительно может быть также установлено специализированное ПО для диагностики и конфигурирования элементов системы.

К серверу системы подключены АРМ геолога и АРМ диспетчера ПХГ, выполняющие функции представления информации, предупредительной и аварийной сигнализации.

Дискретность архивирования данных на сервере равна периоду опроса сенсорных модулей. На Кушевском ПХГ этот параметр равен 1 мин. Глубина архивирования данных ограничена лишь емкостью жесткого магнитного диска сервера. Так, при указанном количестве сенсорных модулей жесткого диска объемом 160 Гб достаточно для архивирования данных глубиной более 3,5 лет.

Структура управления режимами работы ПХГ с использованием БСС приведена на рис. 4. Данные от сенсорных модулей давления и температуры скважин поступают на сервер и выводятся на АРМ геолога в виде мнемосхем, таблиц и графиков (трендов).

Вахтенный геолог на основе заданного режима работы ПХГ (закачка, отбор) и имеющихся методик определяет требуемые для эффективной работы значения дебита по каждой скважине на следующий промежуток времени (например, на следующую неделю) и выдает их в качестве задания диспетчеру ПХГ.

Диспетчер ПХГ изменяет дебиты скважин в соответствии с полученным заданием, путем управления регулирующей арматурой, установленной на ГСП (в конце шлейфа скважины) через АРМ АСУ ТП и контролирует изменение дебита на АРМ диспетчера и на АРМ геолога.

Оперативный контроль работы скважин позволяет предпринять корректирующие действия по изменению дебитов до окончания текущего временного промежутка, а, следовательно, более эффективно и гибко управлять режимами их работы. Накопленные результаты мониторинга дают возможность также обеспечить контроль последовательности действий персонала по управлению контрольными и управляющими узлами на линии “скважина – газосборный пункт” для любого интервала времени, включая и случаи возможного возникновения нештатных ситуаций, что обеспечивает важность для безопасности эксплуатации подземного хранилища газа.

Наличие оперативной и объективной информации о функционировании скважинного фонда в целом позволяет геологу ПХГ делать выводы об эффективности работы отдельных скважин и планировать мероприятия по их реконструкции, капитальному ремонту и ликвидации.

Принимая во внимание тот факт, что АСОИ “Скважина” имеет в своей номенклатуре сенсорные модули для регистрации наличия твердых фракций в газовом потоке, модули ввода и беспроводной передачи дискретных сигналов, а также средства контроля проникновения на территорию куста газовых скважин, становятся реализуемыми и другие задачи комплексной автоматизации объекта:

- 1) проведение газодинамических исследований скважин ПХГ по имеющимся методикам [31-33] в автоматическом режиме без постоянного присутствия оперативного персонала и выпуска газа в атмосферу;
- 2) внедрение комплексных алгоритмов автоматического управления закачкой и отбором газа, с учетом геологических критериев эффективности работы ПХГ;

- 3) использование полученной с помощью БСС единой информационной базы данных о работе скважинного фонда ПХГ в качестве экспериментальных данных для структурной и параметрической идентификации 3D-модели ПХГ на этапе ее разработки, а также организация самонастройки модели в процессе дальнейшей эксплуатации объекта.

Не менее важным, с точки зрения оптимизации затрат при организации работ, является оценка стоимости внедрения на объекте беспроводных систем.

Для обоснования эффективности применения БСС может быть положен принцип сравнения с традиционной энергозависимой системой телеметрии на базе контролируемых пунктов с промышленными контроллерами и передачей данных по радиоканалу с диапазоном частот 162-168 МГц. Применение беспроводной передачи данных позволяет отказаться от закупки контролируемых пунктов, а стоимость беспроводных датчиков отечественного производства в среднем на 30...40% дешевле зарубежных аналогов.

Анализ структуры капитальных затрат, даже без учета издержек на проведение изыскательских работ и сокращение времени строительства, позволяет сформировать основные статьи экономии от применения БСС в связи с отсутствием необходимости:

- 1) сооружения блок-боксов или заглубленных монтажных колодцев для размещения контролируемых пунктов телемеханики;
- 2) строительства линий электропередач, с процедурами оформления и согласования технических условий на подключение к внешней электро;
- 3) применения дополнительных мощных аккумуляторных установок и независимых источников электропитания;
- 4) приобретения кабельной продукции;
- 5) сооружения эстакад и сооружений для энергоснабжения и линий связи объекта;
- 6) оформлений землеотвода и землепользования;
- 7) оформлением разрешения на использование радиочастот;
- 8) проведением экспертизы проектно-сметной документации на систему телеметрии для опасных производственных объектов.

Сравнение фактических затрат показывает, что экономия от внедрения БСС составляет порядка 60% от всего объема капитальных вложений.

ВЫВОДЫ

Таким образом, указанная система может быть использована не только для оперативного контроля режима работы скважин ПХГ, но и как инструмент анализа эффективности работы скважин и других технологических объектов на длительном промежутке времени.

Реализация интеграции БСС с АСУ ТП ПХГ создает возможность создания единой информационной базы данных по работе скважинного фонда и технологического оборудования, создает возможность организовать эффективное управление на основе математического моделирования состояния подземного хранилища как единого автоматизированного технологического комплекса в реальном масштабе времени.

Разработанные решения могут быть также успешно применены для объектов добычи и транспорта газа, нефти и нефтегазоперерабатывающих заводов, химических и других производственных комплексов, имеющих территориально распределенные объекты и отсутствие развитой инфраструктуры, а также иметь применение в сфере ЖКХ и системах мониторинга строительных сооружений и промышленных объектов.

Система может применяться в виде как самостоятельного законченного изделия, способного длительное время функционировать автономно, так и в качестве составной части, входящей в состав интегрированных АСУ ТП за счёт открытости и совместимости со стандартными платформами и протоколами.

Список литературы

1. *Abowd G.D., Sterbenz J.P.G.* Final report on the interagency workshop on research issues for smart environments // IEEE Personal Communications (October 2000). pp. 36-40.
2. *Bakre A., Badrinath B.R.* I-TCP: indirect TCP for mobile hosts // Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Computing Systems, Vancouver, BC. May 1995, pp. 136-143.
3. *Bauer P., Sichitiu M., Istepanian R., Premaratne K.* The mobile patient: wireless distributed sensor networks for patient monitoring and care // Proceedings 2000 IEEE EMBS International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine. 2000, pp. 17-21.
4. *Bonnet P., Gehrke J., Seshadri P.* Querying the physical world // IEEE Personal Communications (October 2000), pp. 10-15.
5. *Степанов С.Е., Крюков О.В.* Выбор методов мониторинга и прогнозирования технического состояния автоматизированных электроприводов энергетических объектов // Контроль. Диагностика. 2018, № 11, с. 32-39.
6. *Крюков О.В.* Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей ГПА // Компрессорная техника и пневматика. 2013, № 4, с. 14-19.
7. *Репин Д.Г., Крюков О.В.* Концепты системы мониторинга технического состояния компрессорных станций // Контроль. Диагностика. 2017, № 12, с. 30-35.
8. *Bhardwaj M., Garnett T., Chandrakasan A.P.* Upper bounds on the lifetime of sensor networks, IEEE International Conference on Communications ICC'01, Helsinki, Finland, June 2001.
9. *Крюков О.В., Степанов С.Е., Васенин А.Б.* Поддержка диспетчерских решений ГТС на базе оценки их энергоэффективности // Наука и техника в газовой промышленности. 2019, № 4, с. 71-81.
10. *Akyildiz I.F., Su W.* A power aware enhanced routing (PAER) protocol for sensor networks // Georgia Tech Technical Report, January 2002, submitted for publication.
11. *Мещеряков В.Н., Ласточкин Д.В., Крюков О.В.* Приложения теории нечетких множеств для обработки данных и задач прогнозирования в системах АЭП // В сборнике: Современные сложные системы управления. Материалы XII МНПК. 2017, с. 153-158.
12. *Крюков О.В.* Алгоритмы быстрого преобразования Уолша в микропроцессорных системах управления электроприводом // Изв. ВУЗов. Электромеханика. 2005, № 4, с. 39-44.
13. *IEEE 802.15.4-2003* – IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements – Part 15: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks.
14. *Васенин А.Б., Крюков О.В.* Энергоэффективные и экологичные установки воздушного охлаждения // В сборнике: Великие реки' 2017 труды научного конгресса 19-го МНПФ. НГАСУ. 2017, с. 93-96.
15. *Крюков О.В., Степанов С.Е.* Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих компрессорных станций // В сборнике: Проблемы автоматизации и управления в технических системах. МНТК под редакцией М.А. Щербакова. 2013, с. 29-32.

16. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования КС // Под ред. д.т.н. О.В. Крюкова. – Н.Новгород: Вектор ТиС. 2010, т. 1.
17. Крюков О.В. Оптимальное управление технологическим процессом магистрального транспорта газа // В сборнике: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014, с. 4602-4613.
18. Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В. Методология и средства оперативного мониторинга электродвигателей на КС // Контроль. Диагностика. 2019, № 11, с. 52-58.
19. Крюков О.В., Серебряков А.В. Активно-адаптивные алгоритмы управления и мониторинга автономными энергетическими комплексами // В сборнике: Пром-Инжиниринг. Труды II МНТК. ЮУрГУ. 2016, с. 286-290.
20. Kryukov O.V., Gulyaev I.V., Teplukhov D.Y. Method for stabilizing the operation of synchronous machines using a virtual load sensor // Russian Electrical Engineering. 2019, b. 90, № 7, p. 473-478.
21. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric drives // Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. 2017, b. 17, № 3, p. 102-110.
22. Крюков О.В., Серебряков А.В. Экологические направления электроснабжения и задачи энергосбережения при реконструкции объектов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2015, № 8, с. 23-33.
23. Вожаков А.В., Крюков О.В., Лисин Н.Г. О причинах недостаточно эффективного построения и эксплуатации систем автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2012, № 2, с. 38-47.
24. Kryukov O.V., Blagodarov D.A., Dulnev N.N., Safonov Y.M., Fedortsov N.N., Kostin A.A. Intelligent control of electric machine drive systems // В сб.: 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 – Conference Proceedings 10. 2018, p. 8571670.
25. Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В. Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // Газовая промышленность. 2010, № 3, с. 32-37.
26. Крюков О.В. Коммуникационная среда передачи данных сети ETHERNET на полевом уровне различных объектов // Автоматизация в промышленности. 2012, № 12, с. 26-30.
27. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Modern systems of outdoor illumination for compressor stations // Light & Engineering. 2016, b. 24. № 2, p. 128-131.
28. Belousov A.S., Meshcheryakov V.N., Valtchev S., Kryukov O.V. Development of a control algorithm for three-phase inverter in two-phase electric drives reducing the number of commutations // В сборнике: Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. 2019, с. 444-449. DOI: 10.1109/summa48161.2019.8947487
29. Agre J., Clare L. An integrated architecture for cooperative sensing networks // IEEE Computer Magazine (May 2000), pp 106-108.
30. Воеков В.Н., Мещеряков В.Н., Крюков О.В. Вентильный электропривод для погружных нефтяных насосов с импульсным повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока ПЧ и релейным управлением инвертором напряжения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2020, т. 20, № 2, с. 110-119.
31. Выскубенко О.Б., Диденко В.Г., Карюк В.М. и др. Использование беспроводного измерительного комплекса в работе диспетчерской службы ПХГ для оценки продуктивных характеристик скважин/ В сб.: Подземное хранение газа. Полвека в России: опыт и перспективы // Материалы МНТК, М. 2008, с. 430.
32. Крюков О.В. Принципы малолюдных технологий в организации работы электроприводных компрессорных станций // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014, № 4, с. 10-13.
33. Карюк В.М., Кушнарев А.Ф., Балавин М.А. и др. Аprobация элементов беспроводных сенсорных сетей для мониторинга приустевых параметров эксплуатационных скважин на Краснодарской СПХГ в сезон закачки газа 2005-2006 г. / В сб.: Подземное хранение газа: надежность и эффективность // Материалы МНТК. М. 11 -13 октября. 2006, т. 2, с. 113.

“ТСН-электро”, г. Нижний Новгород

Борисов Максим Александрович – инженер РЗА,

Конюгин Юрий Андреевич – техник-электрик,

Хомутов Павел Сергеевич – инженер по электроснабжению,

Крюков Олег Викторович – докт. техн. наук, зам. директора по науке.