

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И СВЯЗИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

К. т. н. В. А. Гречихин, В. Н. Замолодчиков, д. т. н. С. М. Смольский

Описаны некоторые достижения современной радиоэлектроники, которые свидетельствуют о громадном потенциале современной беспроводной техники и достижений радиоэлектроники для использования в топливно-энергетическом комплексе. Рассмотрены беспроводные корпоративные системы связи, вопросы применения на энергетических объектах измерительных систем ближней радиолокации, перспективы использования лазерных измерительных систем, методы радиотермографии и радиоспектроскопии, возможности беспроводных акустоэлектронных датчиков.

Ключевые слова: радиосвязь, беспроводные датчики, РЛС ближнего действия, лазерные измерительные системы, радиотермография, радио-спектрометрия, акустические датчики.

В настоящее время мир переживает период бурной научно-технической революции, которую можно назвать «беспроводной». Сейчас радиосигнал играет существенную роль не только в радио- и телевизионном вещании, но и в разнообразных научных исследованиях, в промышленности и в быту. В повседневную жизнь прочно вошли сложные радиотехнические приборы — сотовые телефоны-коммуникаторы, беспроводные телефоны, спутниковые и кабельные телевизионные системы, широко используются смарт-карты, мобильный интернет, радиотехнические системы охраны и оповещения устанавливаются не только на серьезных охраняемых объектах, но и в жилых домах. Автомобили снабжаются сложными системами охраны и спутниковой навигации, а радиочастотные идентификационные датчики используются не только в логистике и транспортном обслуживании, но и в миниатюрных вариантах даже вживляются домашним животным. Имеются колоссальные достижения в создании и развитии современных систем связи, предназначенные для передачи и приема как речевых сигналов, так и цифровых данных.

Естественно, что при таком уровне распространения радиоэлектронных средств окружающее пространство насыщено огромным количеством разнообразных радиосигналов. Сосуществование этих сигналов без создания помех все более и более усложняется, более остро встают и вопросы экологии. До сих пор не сняты вопросы электромагнитной

совместимости радиоэлектронных средств различного функционального назначения, а также проблема влияния электромагнитного излучения различной природы на человеческий организм. Так, например, авторы [1] делают вывод о том, что развитие микроволновых систем связи в ближайшем будущем может привести к возникновению нового раздела экологии — электромагнитной (микроволновой) экологии.

Понятно, что во время такой научно-технической революции невозможно обойти вниманием традиционные в нашей стране области энергетики, особенно в условиях тяжелой ситуации, сложившейся в последние десятилетия в связи с обновлением важнейшего энергетического оборудования. Вряд ли целесообразным было бы сейчас думать о простом дублировании работающего оборудования при решении задач обновления производства, так как новые научные, производственные и технологические возможности сулят серьезные прорывные решения при обновлении устаревшего оборудования или при возведении новых объектов. Как показывает опыт последних десятилетий, простая закупка западного контрольного и управляющего оборудования, ориентированного на иные условия и системы, вряд ли сможет нам помочь в стратегическом плане. Страна должна развивать собственные многофункциональные системы контроля и управления важными объектами, причем своими научными и производственными силами. Это возможно при плотном взаимодействии ученых и производителей разных направлений, включая специалистов по беспроводным системам, т. е. в области радиоэлектроники.

В настоящей статье сделана попытка обосновать необходимость и перспективность объединения усилий и опыта энергетиков и радиоэлектронщиков. Для специалистов в области радиотехники, работающих в Национальном исследовательском университете «МЭИ» (Московский энергетический институт), публикация краткого обзора результатов своих работ, ориентированных на топливно-энергетический комплекс, означает возможность кратко рассказать о перспективных направлениях такого сотрудничества.

Не секрет, что ученые и инженеры-радиотехники в прошлые годы были чрезвычайно тесно связаны с военно-промышленным комплексом и проводили исследования и разработки уникальных систем. Внедрение радиоэлектроники в мирные отрасли, в том числе в энергетику, всегда проходило медленно и неуверенно, без серьезного понимания потребностей со стороны радиоспециалистов и без возможности раскрытия многих достижений радиоэлектроники энергетикам. Теперь ситуация меняется к лучшему, и многие достижения радиоэлектроники обязательно будут востребованы мощной энергетикой.

ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Рассмотрим возможности применения систем радиосвязи в энергетике. С точки зрения масштаба использования, они могут быть разделены на две большие группы: глобальные системы связи и системы внутриобъектовой радиосвязи.

Глобальные системы в теплоэнергетическом комплексе могут быть построены, как обычно, с использованием спутников связи. Но топливно-энергетический комплекс обладает уникальной возможностью создания своих собственных корпоративных сетей связи, поскольку имеет в своем распоряжении чрезвычайно разветвленную сеть линий электропередач, нефте- и газопроводов. Использование, к примеру, грозозащитных тросов с внутренними волоконно-оптическими кабелями обеспечивает уникальные возможности организации дешевых каналов связи, принадлежащих энергетической отрасли.

Глобальные сети используются для передачи телеметрической информации от объекта к объекту или в диспетчерские пункты, для передачи служебной контрольной и управленческой информации. Так называемые темные волокна, т. е. не используемые каналы, могут с успехом сдаваться в аренду и приносить очень серьезные прибыли (особенно в будущем, когда роль передачи информации будет еще больше). Очень перспективным является использование энергетиками собственных каналов связи для целей дистанционного обучения, например, для переподготовки персонала, для дистанционного контроля знаний, для дистанционного тренинга операторов или контроля их функционального состояния.

Внутристанционные системы связи служат как для организации каналов передачи технологической и контрольно-управленческой информации для автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП), так и для организации систем персональной речевой связи.

С переходом к рыночному использованию электроэнергии графики энергопотребления (в течение суток, недель и месяцев) сильно поменялись, и потребление теперь зависит не только от потребностей производителей, но и от финансового состояния предприятия. Понятно, что это приводит к резко переменным режимам потребления, а это отрицательно влияет на надежность и изнашиваемость энергетического оборудования. Роль автоматических систем управления и автоматизированных систем технической диагностики оборудования становится очень важной в последние годы.

Для оптимизации режима работы современных электростанций требуется измерение 3—4 тысяч параметров, что не может быть обеспечено персоналом, а требует автоматических

методов. Современные АСУТП требуют громадного количества кабелей, а сложное кабельное хозяйство существенно снижает надежность работы и делает более дорогим используемое оборудование. Очевидно, что без оперативных систем передачи информации надежную эффективную АСУТП создать нельзя.

Актуальная проблема, связанная с эффективностью энергопотребления, также может эффективно решаться средствами радиоэлектроники при использовании оборудования, которое разработала и поставляет на рынок компания “Шнайдер Электрик” (Германия).

В МЭИ спроектирована и создана беспроводная система передачи данных от энергообъекта [2—4], имеющая возможность оперативного развертывания и хорошую помехозащищенность. До этого была разработана очень простая и дешевая радиосистема для односторонней низкоскоростной передачи аварийных сигналов, и небольшая партия таких систем (50 комплектов) показала хорошую работу. Затем уже были созданы гораздо более совершенные и сложные радиосистемы для передвижных диагностических лабораторий типа “Энергоавтобус” и “Экоавтобус”, в состав которых входят три подсистемы:

- газоанализ (для дистанционного контроля газового состава, в том числе при экологическом мониторинге);
- контроль качества электроэнергии;
- теплоконтроль (для проведения измерений распределенных тепловых полей и передачи информации по радиомодемной линии связи).

Эти подсистемы имеются в МЭИ в виде работающих макетов.

Конфигурация разработанных систем подразумевает наличие центрального поста и необходимого количества периферийных дежурных постов. Оборудование центрального поста располагается на подвижном транспортном средстве или стационарно на энергообъекте, оборудование периферийных может быть переносным и располагаться там, где это нужно. Связь между постами осуществляется по беспроводному радиоканалу. Управление задается программой на персональном компьютере от центрального поста. Компьютер собирает всю информацию и заносит ее в базу данных для последующего анализа.

Результат последней нашей работы в этом направлении — распределенная система передачи информации для пространственно протяженных промышленных объектов, в частности для энергетического оборудования типа турбины или котла. Интересно здесь новое решение — совмещенное использование локальных кабельных сетей сбора-хранения данных в скоростном стандарте RS485 и беспроводной радиомодемной линии связи.

На данный момент в МЭИ проведена первая фаза работы по созданию радиосистемы сбора информации в составе автоматизированного рабочего места оператора парового котла [5]. Система планируется для ТЭЦ МЭИ. Информация с датчиков будет передаваться по радиоканалу с ТЭЦ на экран оператора. Предполагается, что при успешном завершении работы ее результаты могут быть востребованы на ТЭС и различных объектах промышленного теплоснабжения. Подобные системы можно применять как резервные системы с автономным питанием, что позволит существенно повысить «живучесть» оборудования в аварийных ситуациях или при повреждении кабелей.

Разработан диагностический беспроводной информационно-измерительный комплекс для оперативного экспресс-контроля параметров тепловых и атомных электростанций, а также других протяженных промышленных объектов. Комплекс обеспечивает в реальном времени передачу информации от датчиков по радиоканалу на расстояние в несколько сотен метров на центральный пост оператора. Здесь происходит ее обработка и накопление в базе данных с возможностью последующего вывода на экран дисплея персонального компьютера в виде таблиц, графиков и диаграмм. Рабочие параметры системы настраиваются оператором.

Конечно, учитывая стремительное развитие элементной базы для создания современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), названные выше разработки нуждаются в модернизации. Однако это обстоятельство не проблематично, так как наши разработчики владеют необходимой информацией и выполняют аналогичные работы для других отраслей народного хозяйства. Так, в течение продолжительного времени проводится разработка специализированной малогабаритной системы для передачи по радиоканалу дискретной информации о состоянии тепловых сетей в жилых микрорайонах Москвы для последующей ее обработки, что позволит управлять параметрами этих сетей. Следует подчеркнуть, что по мере появления более совершенных способов обработки информации и новой элементной базы разработчики создают модернизированные варианты этой системы и успешно их внедряют в городское хозяйство Москвы.

Современная микроэлектронная элементная база открывает широкие возможности для создания малогабаритных (объемом от 10 до 100 см³) измерительных преобразователей с автономным питанием и передачей измеренных параметров по радиоканалу связи, что позволяет при небольших затратах создавать обширные сенсорные сети. В таком измерительном преобразователе могут найти применение недорогие (от 15 до 500 руб.) микроминиатюрные (объемом 3—30 мм³) интегральные измерительные датчики с цифровым выходом таких параметров, как температура, давление, влажность, освещенность, ускорение и вибрации с высокой точностью (0,3—3%) и микропотреблением (около 0,3 мВт в активном

режиме), а также электрических величин (напряжение, ток, мощность, частота) с возможностью накопления, обработки и передачи информации на основе микроконтроллера со встроенным или внешним радиомодулем. При таком потреблении и размерах питания датчиков может осуществляться от небольшого автономного источника питания, что позволяет легко монтировать их на действующем оборудовании, поскольку нет необходимости прокладки линий питания и связи, и работать в течение многих месяцев. Из группы измерительных преобразователей строится беспроводная измерительно-информационная сеть для дистанционного мониторинга и удаленного контроля. Эти устройства могут успешно сопрягаться с системами управления, энергосбережения и коммерческого учета.

Остановимся на еще одной серии разработок, которые выполнялись с ориентировкой на силовые структуры, на пожарных, на спецгруппы для борьбы с терроризмом. Это радиофицированные защитные шлемы с внутренней невидимой антенной [6], радиостанции которых позволяют осуществлять надежную голосовую связь между абонентами. Учитывая потенциальный интерес к использованию таких систем связи для обслуживающего персонала протяженных энергетических объектов, были разработаны новые варианты защитных шлемов, соответствующие стандартам безопасности на энергообъектах.

ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

С помощью радиолокации можно решить много актуальных задач в энергетических комплексах [2, 7—10]. Рассмотрим наиболее простой пример.

В технологическом процессе работы ТЭЦ образуется загрязненная мазутом вода, которая собирается в резервуар, отстаивается в нем для разделения жидкостей и затем сбрасывается. При этом сброс воды необходимо прекратить до того как произойдет сброс мазута. То есть нельзя допустить снижения уровня воды ниже минимальной величины. Для этого можно использовать ультразвуковой локационный измеритель дальности. В таком случае на дно резервуара помещается излучатель ультразвуковых колебаний, которые отражаются от поверхности раздела воды и мазута и принимаются локатором. Далее измеритель определяет время прохождения сигнала и, зная его скорость, вычисляет толщину слоя воды.

Такой локатор разработан в МЭИ [9] и способен измерять толщину слоя воды от нескольких сантиметров до нескольких метров. Его стоимость при мелкосерийном производстве не превышает 200—250 долларов.

Ультразвуковые локаторы можно также использовать для измерения уровней различных технологических жидкостей или пастообразных продуктов с целью автоматизации

управления и контроля технологическими процессами. В этом случае локатор размещается на крышке резервуара, и пучок акустических волн направляется на поверхность продукта, измеряется расстояние до нее и вычисляется уровень продукта. Измеренные значения могут передаваться по проводам или по радиоканалу практически на любые расстояния. Погрешность измерения уровня не превышает 1—2%.

Более совершенными являются радиолокационные измерители, в которых используется сверхвысокочастотное радиоизлучение. Принцип действия их такой же, как и ультразвуковых, но погрешность измерений меньше. В настоящее время в качестве уровнемеров на танкерах, в нефтяной и газовой промышленности, на ТЭС широко используются зарубежные уровнемеры фирмы KROHNE (ФРГ) и SAAB Electronics (Швеция). В МЭИ в рамках программы «Конверсия и высокие технологии» разработан радиолокационный высокоточный уровнемер, который является локатором непрерывного излучения с частотной модуляцией зондирующего сигнала. Высокая точность получена благодаря применению оригинального алгоритма обработки сигнала. Погрешность измерений разработанного уровнемера меньше, чем погрешность уровнемера В-70 германской фирмы KROHNE.

Завершена разработка прецизионного локационного измерителя уровня жидких продуктов с погрешностью измерений порядка 0,1—0,2 мм. Таких приборов пока нет ни в России, ни за рубежом. Эти приборы могут найти применение на бензоколонках, хранилищах бензина, на химических производствах. Указанная точность позволяет измерять количество бензина в стандартных резервуарах бензозаправках размером 3×3×6 метров с точностью до 0,9 литра.

Разработаны и другие варианты уровнемеров, ориентированных на жидкие и сыпучие продукты, успешно опробованные на энергетических предприятиях.

В настоящее время для вибрационного контроля, виброналадки, виброисследований турбоагрегатов используются методы измерений динамических параметров, основанные на применении датчиков различного типа. Однако при необходимости проведения измерений при больших температурах и давлениях типовые датчики становятся очень ненадежными. К тому же сложно провести измерения в труднодоступных местах, например, трудно измерить пульсации давления пара в сопловой коробке или внутреннем корпусе турбины. Часто возникает необходимость сделать экспресс-анализ вибраций вала турбины, насоса или другого оборудования с вращающимися элементами, используя для этого короткие видимые участки валов. Труднодоступны для измерения динамических перемещений элементы коробок клапанов и задвижек регулирующих органов энергоагрегатов.

Достижения радиолокации позволяют предложить новые методы и произвести высокоточные измерения малых перемещений объектов (до нескольких микрометров) или установить связь пульсаций давления с перемещениями чувствительного элемента. Это особенно важно при измерениях режимов мощного энергетического оборудования (например, биений вала мощной турбины) при типовых значениях давления (до 240 атмосфер) и при сильно перегретом паре (до 400°C). Обычными методами этого можно достичь лишь при использовании сложных систем охлаждения датчика.

На базе прецизионного радиолокационного измерителя уровня создан измеритель, который позволяет измерять малые перемещения в несколько миллиметров с погрешностью в несколько микрометров. Его применение открывает совершенно новые возможности в диагностике паровых турбин. Созданы измеритель вибраций и измеритель давления пара, работа которых основана на измерителе малых перемещений [7].

Зондирующий сигнал поступает в волновод и направляется на вибрирующий элемент турбины. Открытый конец волновода размещается на расстоянии 1—2 мм от вибрирующего элемента, поэтому площадь облучения очень мала. Это повышает точность измерений и позволяет измерять вибрации любой точки поверхности. Поскольку волновод можно как угодно изгибать, его можно разместить внутри корпуса турбины, что позволяет непрерывно измерять вибрации элементов конструкции во время работы турбины и получать динамическую картину, например, изгиба вала.

Для определения давления пара на конце волновода монтируется мембрана, которая под действием давления изгибается. Величина изгиба, пропорциональная давлению, определяется радиолокационным измерителем приращения. Таким образом можно определять давление пара в любой точке внутри корпуса турбины.

В процессе разработки радиолокационного измерителя приращений были проведены лабораторные испытания макета прибора, которые подтвердили теоретические расчеты и показали эффективность его работы.

Разработан ряд портативных приборов для контроля газового состава (кислород, окислы углерода и азота, метан и другие газы), созданы как однокомпонентные, так и многокомпонентные приборы-газоанализаторы. Основная особенность этих приборов — эффективное использование микропроцессорной техники и интеллектуальная обработка сигналов, позволяющая учитывать изменения температуры, давления, влажности среды и проводить соответствующую коррекцию результатов измерений. Приборы имеют высокую искро- и взрывобезопасность, подтвержденную официальными сертификатами. Высокие показатели достигнуты за счет оригинальных схмотехнических, технологических и

конструктивных решений. Разработан многокомпонентный газоанализатор с элементами искусственного интеллекта, не имеющий, по нашим данным, аналогов в мире [3].

Еще одна очень интересная разработка связана с результатами почти тридцатилетних исследований земных и водных поверхностей радиолокационными методами с летательных аппаратов. Переориентировка этой тематики на гражданские задачи позволила создать уникальный многофункциональный радиолокационный измерительный комплекс ПУЛЬСАР [11, 12], применение которого может быть весьма широким. В основе комплекса лежит портативный маломощный радиолокатор миллиметровых волн, отличительной особенностью которого является применение фазовых методов обработки сигналов. Этот локатор успешно использовался для дистанционной диагностики структуры и параметров плазменной струи на выходе реактивного двигателя. Оказалось, что радиолокационный мониторинг состояния мощного оборудования, который можно проводить круглосуточно, позволяет выявить отклонения вибраций от номинального уровня и оценить основные спектральные составляющие вибраций и их зависимость от температуры и давления пара. Это позволяет зафиксировать возрастающие биения, крайне опасные для работающей турбины. С помощью прибора контроль износа трубопровода острого пара на ТЭЦ-8 Москвы был проведен дистанционно, в отличие от обычного метода, при котором необходимо полностью остановить котел, вырезать фрагмент трубопровода на выбранном участке и после обследования снова его приварить. Использованный метод дистанционного контроля основан на снятии «вибропортрета» — исследования спектра вибраций на выбранном участке.

Одно из очень интересных и новых применений локатора ПУЛЬСАР связано с его возможностью дистанционно оценивать функциональное состояние человека и фиксировать выход некоторых медицинских параметров за нормы, в результате чего человек может неверно оценить обстановку и принять неправильные решения. Очевидно, что для операторов крупных энергоблоков такая постоянная проверка чрезвычайно важна. Локатор позволяет контролировать состояние операторов прямо на рабочем месте без прикрепления датчиков, а значит, без ограничения возможностей передвижения. Длительность наблюдения может быть произвольной — от нескольких минут для экспресс-анализа до полного рабочего дня для оценки утомляемости. Мощность излучаемого сигнала очень мала и поэтому нет никакого вредного воздействия на организм. Прибор может быть размещен в стандартном кейсе рядом с оператором или даже прямо в спинке кресла. После окончания срока наблюдения, задаваемого программой, компьютер прибора расшифровывает полученные данные и позволяет сделать выводы о работоспособности оператора, о его реакции на

текущие или специально организованные тестовые экстремальные ситуации. Передавать полученные данные можно по обычным каналам связи (включая радиоканал) или по сети Интернет для централизованного банка данных о каждом исследуемом операторе. Прибор в настоящее время активно используется для изучения высшей нервной деятельности человека и для предполетного контроля космонавтов. Он отмечен медалью Международной выставки в Брюсселе в 1997 году. Аналога прибора в мире не существует.

ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Для проведения бесконтактных измерений динамических параметров узлов машин и механизмов, а также потоков жидкостей и газов широко используются лазерные измерительные системы. В настоящее время они получили широкое распространение как при проведении научных экспериментов, так и в производственных технологиях, включая анализ работы энергоустановок, мониторинг и диагностику окружающей среды [13]. Измеряемые такими системами параметры являются важнейшими характеристиками работы гидроагрегатов, паровых и газовых турбин, и результаты измерений могут быть использованы как для оптимизации эксплуатационных режимов, так и для своевременного выявления опасных аномалий.

Весомую роль данные системы призваны сыграть в решении задачи обеспечения безаварийной работы и экологической безопасности объектов энергетики, повышении эффективности их работы. Достоинством лазерных измерительных систем является возможность проведения дистанционных, бесконтактных, не возмущающих исследуемую среду измерений.

Начиная с 90-х годов прошлого столетия, в МЭИ активно проводились работы по созданию волоконно-оптических датчиков скорости потоков жидкости и газа, основанных на применении полупроводниковых лазеров и элементов волоконной оптики [14], новых цифровых методов обработки интерференционных и доплеровских сигналов лазерных информационно-измерительных систем [15]. Были разработаны и исследованы алгоритмы оценки параметров доплеровских сигналов, регистрируемых в условиях, когда закон изменения фазы сигнала отличается от линейного (в двухфазных потоках, в гидродинамических потоках в присутствии акустического поля и др.). Созданы программные пакеты, реализующие цифровые методы оценки среднего и мгновенного значений частоты (методы цифрового спектрального анализа, преобразования Гильберта, дискретного счета, вейвлет-анализа) для различных математических моделей доплеровских сигналов [16].

Основной особенностью разработанных алгоритмов является возможность получения оценок параметров нестационарных (импульсных) сигналов в присутствии мультипликативного шума. Оцениваемым параметром является мгновенная частота сигналов (результаты измерений приводятся в относительных единицах — отношение измеренной частоты к частоте дискретизации сигнала).

Разработанные в МЭИ лазерные оптико-электронные датчики и аппаратно-программные средства ввода и обработки данных позволяют регистрировать виброколебания поверхностей объектов, а также гидроакустические колебания с амплитудой в сотые доли микрометра, исследовать их характер в режиме ударных воздействий [17—19]. При этом область измерительного объема (область пространства, в которой в результате взаимодействия зондирующего излучения с исследуемым объектом формируется информационный сигнал) может быть сформирована с размерами в несколько десятков микрон, что существенно меньше, чем при использовании волн радиодиапазона. Это позволяет проводить измерения с высоким пространственным разрешением.

ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОТЕРМОГРАФИИ И РАДИОСПЕКТРОСКОПИИ

Примером использования методов радиотермографии может служить радиолокационный комплекс для обнаружения нефтяных и других жирных пленок, а также потоков с повышенной температурой и твердыми примесями на поверхности водоемов. Базой для этого локатора является тот же прибор ПУЛЬСАР, который в этом режиме фиксирует поток мощности собственного радиотеплового излучения, создаваемого физическим или техническим объектом или живым организмом. Отсутствие прямого контакта существенно облегчает построение карт температурных полей и анализ их динамики. Возможно исследование не только поверхностных, но и глубинных термограмм, что важно, например, при исследованиях земного покрова из космоса. При доработке этот метод может использоваться для поиска живых людей в завалах обрушенных конструкций.

Продemonстрируем использование методов радиоспектроскопии на примере следующего интересного проекта [20, 21].

При производстве электрической и тепловой энергии, основанном на сжигании топлива, энергетическая эффективность и экологичность процесса в существенной степени зависят от режима и оперативности управления системой горения. Наличие в отходящих газах избыточной концентрации оксидов азота, углерода, серы, бензопирена и других вредных примесей указывает на неоптимальную работу оборудования и ведет к загрязнению окружающей среды. Так как простых и надежных приборов контроля примесей, основанных

на традиционных методах контроля, пока нет, нет и возможности проводить оперативную регулировку режима горения.

В предлагаемом проекте использован радиоспектроскопический подход, основанный на эффекте резонансного взаимодействия электромагнитного поля и газообразных сред. Поскольку каждому газу соответствует своя резонансная частота поглощения (все они определяются в СВЧ-радиодиапазоне), зондируя отходящий газ, можно определить концентрации конкретных газов. Создаваемая система радиоспектроскопического исследования состава отходящих газов является быстродействующей и позволит осуществить оперативную автоматическую регулировку режимов горения.

ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТОЭЛЕКТРОНИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Очень перспективными являются исследования, проводимые в МЭИ по беспроводным пьезодатчикам для энергетики, в основе которых лежит устройство на поверхностных акустических волнах (**ПАВ**).

Принцип действия акустоэлектронных датчиков (**АЭД**) основан на том, что внешние факторы порождают статические деформации, которые для акустических волн малой амплитуды можно рассматривать как изменение параметров упругой среды и геометрии собственно АЭД. Изменение параметров и геометрии вызывает изменение скорости распространения упругих (акустических) волн, которую можно измерить. Такие датчики сейчас уже используют для измерения давления и механических деформаций в различном оборудовании.

На основании изложенных принципов строятся датчики крутящего момента на валах оборудования различного назначения [16]. Подобные датчики широко используются в промышленном оборудовании, включая энергетическое.

Для электроэнергетики представляют интерес датчики напряженности электрического и магнитного полей. Благодаря пьезоэффекту внешнее электрическое поле порождает внутренние механические напряжения в звукопроводе, что приводит к изменению скорости распространения акустических волн.

Дистанционные датчики на ПАВ применяются для непрерывного контроля температуры атмосферных разрядников на трансформаторных станциях в сетях электроснабжения высокого напряжения. Пара таких датчиков располагается на разряднике, а регистрирующая аппаратура устанавливается в удалении от него на расстоянии в несколько метров.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

При создании современных источников автономного питания, электрохимических генераторов, аккумуляторов энергии, для устройств водородной энергетики необходимо иметь в виду, что поддержание оптимального и безопасного рабочего режима заряда и разряда требует контроля ряда электрических параметров при учете множества противоречивых факторов. В этом плане достижения современной микроэлектроники и микромеханики, новые измерительные датчики и микроконтроллеры с различными каналами передачи данных открывают качественно новые возможности измерения параметров (с фильтрацией помех) и применения алгоритмов теории оптимального управления и точного регулирования с минимальными переходными процессами, возможности удаленного контроля, управления, сохранения предыстории событий. Так совместно со специалистами-химиками создан прибор МИТЭК, обеспечивающий формирование в электрохимической ячейке тока от 1 до 100 А с возможностью точного измерения поляризационных кривых и поддержания оптимального тока в электрохимической ячейке. Прибор получил высокую оценку специалистов и неоднократно демонстрировался на международных выставках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественно, что в одной статье невозможно рассмотреть все предполагаемые для развития проекты и идеи. Но даже описанные разработки и наш опыт свидетельствуют о громадном потенциале использования возможностей современной беспроводной техники и достижений радиоэлектроники в топливно-энергетическом комплексе, и это, несомненно, станет важным и незаменимым в энергетике будущего.

Авторы выражают благодарность своим коллегам И. В. Комарову, Е. А. Богатыреву, В. А. Федорову, Н. Н. Савкову, А. А. Трофилееву, А. Е. Ханамирову, А. Е. Банкову, В. В. Штыкову, С. А. Жгуну, Б. С. Ринкевичюсу, А. В. Толкачеву, В. А. Филатову, А. А. Щукину, В. И. Плещееву, а также многим другим сотрудникам ИРЭ МЭИ, принимавшим участие в описанных в статье разработках.