

## **ТЕХНИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ЭНЕРГОСИСТЕМ.**

Рассматриваются архитектурные принципы и практические подходы к построению систем телеметрии и телеуправления городского коммунального хозяйства, отвечающие требованиям функциональной и структурной масштабируемости, интеграции служб, конфигурируемости. Особое внимание уделяется использованию беспроводных коммуникаций, возможностям объединения с городскими и глобальными вычислительными сетями.

Внедрение систем автоматизации на всех уровнях городского хозяйства – задача известная, существующая не первое десятилетие, и все это время решаемая более или менее успешно способами, определяемыми текущими возможностями техники и технологий.

Среди многих направлений автоматизации в данном секторе: автоматизация связи, систем городского транспорта, городского управления и т.п., особо выделяются энергетические системы: электро-, водо- и газоснабжения, системы отопления зданий, освещения улиц. Типовой практикой автоматизации здесь является внедрение контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), систем диспетчеризации (АСУД) и систем телемеханики. Специфика данного класса автоматизированных систем состоит в приоритете функций учета относительно управления и в значительности доли технической компоненты по сравнению с методической и организационной. Также следует отметить, что энергетические подсистемы охватывают различные сектора городского хозяйства и являются естественной основой его интеграции. Перечисленные аспекты определяют специфическую архитектурную организацию комплексов автоматизации городских энергосистем (КАГЭ), занимающую промежуточное положение между системами управления технологическими процессами и распределенными информационными системами.

Сразу оговоримся, что в рамках данной статьи в основном рассматриваются энергосистемы коммунальных служб. Они наиболее унифицированы на всех уровнях, от функциональности до аппаратных средств, имеют максимальный ареал охвата. Сети энергоснабжения специальных объектов, глобальные транспортные энергосистемы строятся исходя из иных критериев, хотя и связаны с городским комплексом.

Проследим историю развития сектора автоматизированных систем управления энергосистемами. До определенного времени это были локализованные механические и электромеханические системы (коммутаторы, клапаны-предохранители, счетчики и т.п.). Этап общегородской автоматизации начинается с появления электрических проводных систем телемеханики. Развитие и доступность средств вычислительной техники привели к резкому функциональному скачку в течение последних 10 лет. Повысился объем собираемой информации и гибкость управления, широко внедряются функции автоматизированного анализа данных, наметилось повсеместное объединение функций контроля и управления в рамках единого технического комплекса. Широкое использование передачи данных по радиоканалам, а в последнее время и по каналам сетей сотовой телефонной связи, существенно снизило стоимость коммуникаций (прокладка кабеля в условиях города обходится 2-6 тысяч долларов за километр), позволило в разы сократить сроки ввода в эксплуатацию.

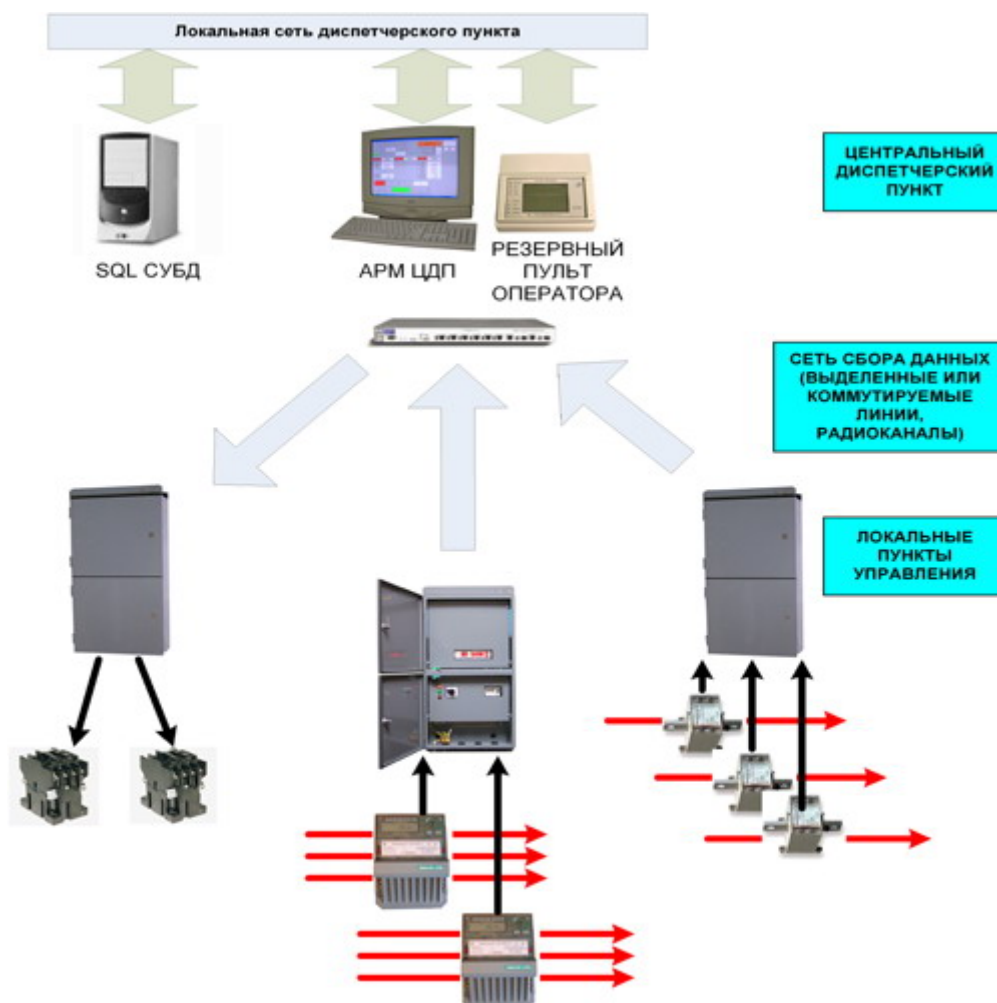
Изучение общих тенденций показало, что, наряду с улучшением эксплуатационных и конструктивных параметров, очередными ожидаемыми шагами по развитию КАГЭ будет:

1. Объединение отдельных систем: учета различных энергоресурсов, управления освещением и других – в единый комплекс:

- на базе объединенной коммуникационной системы (вычислительной сети) локального, районного и городского уровня;
  - путем укрупнения функций контроллеров сбора информации с датчиков и управления электрооборудованием;
  - в перспективе – в рамках единой городской информационной среды.
2. Интеграция с локальными, городскими и региональными вычислительными и телекоммуникационными сетями общего назначения.

Основой архитектуры любой информационно-управляющей системы является ее функционально-логическая организация. Под этим термином понимается состав узлов, их функции, правила командно-информационного взаимодействия, принципы формирования подсистем.

Большинство КАГЭ строится по жесткому иерархическому принципу (см. рисунок),



унифицированному для распределенных автоматизированных систем управления и диспетчеризации (АСУД). Похожую организацию имеют, например, системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Нижний уровень составляют устройства сопряжения с объектом (УСО), к которым подключены датчики и исполнительные механизмы. Электромеханическое оборудование и датчики можно выделять в отдельный уровень, хотя с точки зрения функциональной иерархии они относятся к уровню УСО. Следующий уровень составляют локальные концентраторы информации. Они опрашивают УСО своего сегмента системы, объединяют информацию в блоки, передают в центральный диспетчерский пункт (ЦДП) по протяженным каналам связи. В обратном направлении ретранслируются команды из ЦДП для УСО. Необходимость уровня

локальных концентраторов определяется требованиями сопряжения с каналом связи. Кроме того, на локальный концентратор возложены контрольно-диагностические функции в рамках сегмента. Основой уровня локальных концентраторов являются специализированные контроллеры. В системах, не требующих большого количества каналов ввода-вывода для подключения датчиков, модуль локального концентратора может выполнять также функции УСО. Типовой пример – контроллеры пунктов включения систем управления наружным освещением, где один модуль выполняет и управление электромагнитными пускателями, и обеспечивает передачу данных в ЦДП. Наконец верхний уровень КАГЭ – уровень диспетчерского управления, отвечает за сбор, визуализацию и архивацию данных всей системы, ввод и передачу на нижние уровни команд диспетчера. На этом уровне располагаются автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера (SCADA), архивы данных, коммуникационные шлюзы для связи с локальными концентраторами. В крупных системах может быть выделен уровень зональных концентраторов, представляющий промежуточный слой между локальными концентраторами и ЦДП.

Физическая структура КАГЭ, как упоминалось, во многом похожа на АСУ ТП. Однако имеются серьезные отличия в логике работы. Основным является наличие не только физической, но и явно выраженной функциональной централизации. В АСУ ТП функции автоматического управления в основном перенесены на локальный и зональный уровни (уровни участка, цеха или производства). Вместо локальных концентраторов используются программируемые контроллеры технологического процесса. Напротив, в КАГЭ весь контроль сосредоточен в центральной диспетчерской, а модули нижних уровней выполняют в основном роль ретрансляторов команд и данных. Такая ситуация сложилась, во-первых, как следствие ориентированности КАГЭ на сбор информации, во-вторых, из-за высокой степени централизации соответствующих организационных структур - служб учета энергоресурсов.

Другой отличительной чертой КАГЭ является высокая функциональная и физическая однородность. Действительно, если в АСУ ТП или иных распределенных управляющих системах, например, в транспортных, комплексируется достаточно разнотипное оборудование, решающее различные задачи, то в системах учета, даже при их значительном размере, разнообразии функций и технических средств относительно невелико.

Задачам сбора информации присуща временная детерминированность: процессы опроса датчиков, формирующие основную нагрузку на систему и коммуникационные каналы, являются периодическими.

Все перечисленные факторы значительно упрощают систему, как в плане технических средств, так и в плане обеспечения требований к динамике функционирования. Это проявляется в относительно невысокой мощности применяемых вычислительных средств, в большинстве случаев модулей с фиксированной функциональностью сбора данных и, в меньшей степени, управления определенным оборудованием. Например, это могут быть контроллеры опроса MBus-датчиков для систем учета расхода воды, выполняющие периодическую передачу данных по каналам сетей TCP/IP (см. информацию о продукции фирмы HYDROMETER (Германия)).

Анализ типовой организации КАГЭ позволил выделить некоторые недостатки, которые, как видится, будут существенно ограничивать функциональную и структурную гибкость автоматизированных комплексов, особенно, если ориентироваться на описанные выше перспективы развития.

Первой проблемой является сложность или невозможность доступа к собранным данным из точек, удаленных от ЦДП, в том числе, из подсетей нижних уровней иерархии, например, с удаленной подстанции. Такая задача возникает, если система объединяет несколько служб (водоснабжения, электросетей и др.) и требуется распределять собранную информацию по нескольким диспетчерским пунктам, которые могут быть территориально удалены от единого центра сбора информации. Кроме того,

информационная прозрачность системы позволила бы работникам эксплуатационных служб оценивать состояние комплекса из любой точки, оперативно оценивать и реагировать на любую аварийную ситуацию вне зависимости от того, на каком объекте они находятся. В большинстве существующих систем вся информация, собранная в ЦДП, может распространяться только «по горизонтали» - в рамках уровня диспетчерского управления. Ее отображение на диспетчерском пункте подстанции потребует территориального расширения сети верхнего уровня (например, путем прокладки оптоволоконного кабеля) до каждой желаемой точки, что по силам пока коммунальным службам далеко не многих городов. Решение этой задачи путем обратной передачи данных из ЦДП по каналам сбора информации (коммутируемым и выделенным телефонным линиям, радиоканалам) усложнено их обычно небольшой пропускной способностью, надежностью и проблемами коллизий с потоком технологических данных.

Наиболее реальный путь решения проблемы – использование для объединения локальных подсистем единой коммуникационной среды с произвольным доступом. В этом плане могут рассматриваться городские вычислительные сети (MAN) или сеть Интернет. До последнего времени ограничением являлись высокая стоимость скоростных каналов доступа. Что касается городских сетей, то для России это пока только будущее.

Ситуацию в корне изменило широкое распространение сетей сотовой телефонной связи поддерживающих технологии пакетной передачи данных. К данным технологиям относятся GPRS/GSM (поддержана всеми федеральными операторами связи), EDGE/GSM (сеть BeeLine), CDMA2000 (сеть SkyLink), технологии сетей 3G, лицензирование которых в России начнется уже в этом 2005 году. Фактически предоставляется высокоскоростная сеть (скорость в сотни Кбит/сек) с произвольным доступом к мобильному терминалу в рамках широкой (город/регион/страна/мир) территории охвата. При этом обеспечивается постоянная доступность мобильных устройств (on-line), доступ в глобальную сеть Интернет, механизмы шифрования данных, альтернативные каналы связи «точка-точка» (голосовой канал, модемные каналы передачи данных, SMS). Оплата производится только за переданный объем данных. Существенным недостатком ныне функционирующих в России сотовых сетей с поддержкой передачи данных является:

- невозможность статической адресации мобильного терминала (нет системы идентификации по телефонному номеру, предоставление статических сетевых IP-адресов стоит несколько сотен долларов);
- наименьший приоритет каналов пакетной передачи данных по сравнению с голосовыми, что приводит к потере связи в случае перегрузки сотовой сети, например, в часы пик или во время праздников.

Следует отметить, что вторая проблема решается по договоренности городских или государственных служб с операторами связи (есть опыт взаимодействия с оператором «МЕГАФОН»). Оператор повышает приоритет пакетного трафика в указанных точках (базовых станциях). В этой связи следует добавить, что операторы могут предоставлять высокоскоростные точки доступа Wi-Fi (беспроводная сеть Ethernet), что, скорее всего, в ближайшие годы станет базой развития городских сетей.

В рамках разговора о беспроводной связи следует упомянуть еще один аспект построения КАГЭ – очень высокая удельная стоимость каналов передачи данных. Проблема касается как протяженных каналов от ЦДП к пунктам, так и локальных участков, например, сетей датчиков и счетчиков в рамках подстанции. В рамках системы доля затрат на оборудование и прокладку коммуникаций составляет от 30% (для проводных линий на локальном участке) до 80% (для оптоволоконных каналов городской сети при стоимости прокладки 2000-6000 долларов/км). При этом существуют проблемы труднодоступности для обслуживания, возможность обрыва. Исходя из этих условий единственным выходом видится максимально широкое использование беспроводных коммуникаций на всех уровнях комплекса. Для организации системы подключения датчиков можно применять выделенные радиоканалы передачи данных на небольшие расстояния - до 300-500 м. по городу и 2000 м при прямой видимости. Однако более

перспективным видится использование ячеистых (сотовых) сетей малого радиуса действия – до 100 м по городу. К настоящему моменту разработано семейство стандартов таких сетей IEEE 802.15. Ему соответствуют широко распространенные сети Bluetooth (IEEE 802.15.1), передающие данные со скоростью до 1 Мбит/сек. Они применяются в случаях значительного трафика, например, от видеокамер слежения или регистраторов данных реального времени. Другой технологией, специально предназначенной для систем опроса датчиков, являются сети ZigBee (IEEE 802.15.4). ZigBee позволяет передавать данные со скоростью до 250 Кбит/сек и характеризуется чрезвычайно низким энергопотреблением (связная аппаратура ZigBee терминала может работать от пальчиковой батарейки в течении полугода). Следует заметить: несмотря на то, что сети IEEE 802.15 уступают по производительности сетям Wi-Fi (IEEE 802.11), они характеризуются низким энергопотреблением и соответственно меньшими габаритами источника питания, могут долго работать от батарейного/аккумуляторного питания, имеют на порядок меньшую стоимость аппаратных средств (на уровне одного доллара на точку при индустриальном исполнении).

Возвращаясь к архитектурным ограничениям существующих КАГЭ, следует отметить невозможность перенесения части алгоритмов управления на уровень энергокаскадов и подстанций, подобно тому, как это сделано в АСУ ТП. Это могли бы быть адаптивные алгоритмы ресурсосбережения, обработки аварий, например, перераспределения нагрузки при перегрузке или аварии отдельных фаз электросети, или алгоритмы управления технологическими агрегатами (насосами, генераторами резервного питания). Такой подход позволит снизить время реакции на события, разгрузить коммуникационные каналы. С другой стороны, потребуется большая вычислительная мощность контроллеров-концентраторов, усложнятся механизмы синхронизации отдельных подсистем.

Причина проблемы - укоренившийся принцип функциональной централизации КАГЭ, когда все функции обработки и анализа данных перенесены на уровень диспетчерского пункта. В настоящее время контроллеры-концентраторы большинства функционирующих комплексов просто не имеют средств программирования алгоритмов управления и их мощности не хватит для реализации такой возможности (в системах отечественной разработки локальные концентраторы обычно стоят на базе относительно маломощных 8-ми или 16-разрядных процессоров). Имеет свои ограничения путь использования мощных программируемых логических контроллеров (ПЛК) зарубежного производства. Это, прежде всего, высокая стоимость аппаратных средств, специфика программирования, заключающаяся в ориентированности на реализацию алгоритмов управления производственными комплексами, но не на задачи сбора и передачи показаний с большого числа датчиков. Кроме того, могут возникнуть проблемы из-за значительных массогабаритных параметров, учитывая набор УСО, блока питания, панели оператора, коммуникационных адаптеров, дополнительные затраты на лицензирование программного обеспечения, исчисляемые из расчета на количество каналов ввода вывода.

Следующей проблемой общепринятой архитектуры является относительно невысокая надежность, определяемая древообразной топологией КАГЭ и, как следствие, наличием узких мест. Например, при выходе из строя одного локального или зонального концентратора, перестает функционировать целый сегмент системы. Типовое решение проблемы – резервирование, как вычислительного оборудования, так и связного оборудования, каналов. Это резко повышает сложность внутренней синхронизации элементов системы, возникает проблема одновременного подключения нескольких контроллеров к датчикам и связному оборудованию. С другой стороны, меры по повышению надежности принимать необходимо, если ориентироваться на интеграцию функций (различных коммунальных систем) и, следовательно, увеличению функциональной ответственности отдельных узлов системы.

Объединение в рамках одного комплекса функций сбора данных и управления исполнительными механизмами, относящимися к различным подсистемам (учета энергоресурсов, управления освещением, отоплением, охраны), потребует комплексирования УСО, поддерживающих разнообразные интерфейсы датчиков. Цифровые интерфейсы стандартизированы или приняты де-факто в каждой прикладной области: для учета расхода воды - MBus, для подключения электросчетчиков – RS485, для систем охраны - CAN, 1-WireBus. Датчики с аналоговыми выходами тока, с импульсными выходами используются во всех областях. Исполнительные устройства могут управляться аналоговым сигналом напряжения, через «сухой контакт» реле. Невозможно поддерживать все разнообразие каналов ввода-вывода, которые могут встретиться в реальных приложениях, в рамках контроллеров одного или небольшого числа типов. Кроме того, количество каналов может значительно меняться от задачи к задаче. Существует проблема территориальной распределенности датчиков и исполнительных устройств, относящихся к одному контроллеру-концентратору. Пример этому – счетчики воды, «разбросанные» по подвалу дома или электросчетчики, распределенные по зданию подстанции. Учитывая описанную ситуацию, представляется необходимым поддержать распределенную сетевую архитектуру на уровне локального пункта управления, а не ограничиваться использованием типовых мезонинных контроллеров с наращиваемым числом каналов ввода вывода, как это сделано во многих системах. Обзор аппаратных средств, предлагаемых поставщиками в России, показал, что наиболее популярным сетевым интерфейсом этого уровня является RS485 с протоколом ModBus или функционально аналогичным. Однако в перспективе предпочтительно переходить на более производительные каналы Industrial Ethernet, надежные каналы CAN, или технологичные в монтаже беспроводные сети ZigBee (см. выше).

В завершении упомяну задачу поддержки информационной базы КАГЭ. Принципы хранения и предоставления данных в крупных системах учета и управления разрабатываются достаточно большое время. В области создания и инструментального обеспечения этих технологий работают несколько крупных фирм. Однако приоритетом в этом секторе все же остаются системы ориентированные на промышленное производство (MES), которые, могут использоваться и для энергосистем. Ярким примером может являться система PI System компании OSI Soft или аналогичные системы от Siemens или Ci Technologies. Ключевыми элементами подобных комплексов являются модуль менеджера информации реального времени, принимающий технологические данные, структурирующий их и распространяющий между приложениями-клиентами, и база данных реального времени. В силу своей промышленной специфики, функции MES-систем не всегда соответствуют требованиям рассматриваемого сектора. Это приводит к снижению их эффективности и высоким затратам на «лишние» функции. Что касается большинства используемых в России систем, то поддержка данного уровня вообще ограничивается функциями сохранения данных в SQL-СУБД, не поддерживающей режим реального времени (MS SQL-Server, Oracle SQL-Server) и системой формирования отчетов. На техническую непригодность используемых средств для АСУ реального времени зачастую не обращают внимание. Учитывая вышесказанное, можно говорить о необходимости разработки специальной информационной системы, ориентированной на типы данных и задачи их обработки, присущие сектору городских энергосистем. Задача это сложная и требующая значительных ресурсов и времени, поэтому пока (если нет денег на покупку импортных систем) приходится ориентироваться на типовые средства, имея в виду их ограничения.

Наличие перечисленных выше проблем породило идею частичного пересмотра типовой архитектуры КАГЭ. Основными направлениями такой модернизации, учитывая результаты представленного выше анализа, будут:

- доступность технологических данных и диспетчерское управление в удаленных пунктах за счет использования единой коммуникационной среды с произвольным доступом – систем пакетной передачи данных в сетях сотовой телефонной связи;

- пространственная децентрализация функций управления, управление на уровне контроллеров локального и зонального уровня;
- возможность подключения к городским и глобальным сетям;
- поддержка механизмов надежности, в том числе альтернативных каналов доставки данных, резервирования аппаратных средств;
- поддержка разнообразных интерфейсов датчиков и исполнительных устройств, обеспечение структурного и функционального масштабирования КАГЭ за счет реконфигурируемой сетевой организации;
- упрощение монтажа и снижение стоимости систем за счет применения беспроводных коммуникаций;
- интеграция с высокоуровневыми информационными системами.

Коллективом научно-производственной фирмы «ЛИМТ» (Санкт-Петербург) была выработана концепция и разработаны компоненты комплекса технических средств (КТС) «ЛУЧ-2», ориентированного на построение автоматизированных комплексов диспетчеризации и учета для городских энергосистем. На базе модулей КТС «ЛУЧ-2» могут быть созданы комплексы АСКУЭ или АСУД, в том числе с поддержкой технологий ресурсосбережения.

Архитектура КТС проектировалась в расчете на поэтапное развитие, постепенное расширение функциональности и охвата различных городских энергосистем, внедрение самых современных достижений в области вычислительной техники, микроэлектроники и коммуникационных технологий.

В качестве коммуникационной платформы были выбраны:

- на уровне общесистемной интеграции: сети сотовой связи GPRS/GSM;
- на уровне диспетчерских пунктов: высокоскоростные сети Ethernet 10/100 Base-T с поддержкой стека протоколов TCP/IP;
- на уровне пунктов управления: проводные высоконадежные сети CAN 2.0 и беспроводные сети ZigBee.

Все ключевые функциональные компоненты системы реализованы в виде контроллеров для индустриального применения. Контроллеры построены на мощных 16-ти и 32-разрядных процессорах, чем обеспечивается запас производительности для будущих расширений. Персональные компьютеры, не обеспечивающие высокую надежность функционирования, используются только в качестве АРМ диспетчера, функционирующего в режиме терминала. Компоненты системы накопления и обработки информации (базы данных, MES-сервера) пока рассматриваются как сторонние, и их надежность должна обеспечиваться встроенными в них средствами (резервирование компьютеров, архивирование данных).

Контроллеры системы на всех уровнях, от центрального контроллера в диспетчерской до контроллера-концентратора локального пункта сбора данных и управления, являются программируемыми. Системный интегратор или пользователь может описать алгоритм регулирования, обработки аварий или предобработки данных на специальном технологическом языке, совместимом со стандартом IEC-1131-3. Разработаны инструментальные средства компиляции и загрузки технологических программ в контроллеры.

В состав КТС «ЛУЧ-2» входит программируемая пользователем SCADA-система, функционирующая под управлением ОС MS Windows 2000. Язык описания алгоритмов обработки данных и графического интерфейса аналогичен языку программирования контроллеров.

На всех уровнях системы предусмотрено резервирование компонентов. Например, при сбое в работе программы или компьютера АРМ (SCADA), сохраняется полный контроль системы с резервного АРМ или с панели оператора – специализированного контроллера с жидкокристаллическим графическим дисплеем и сенсорной системой ввода. Другой пример, при нарушении связи ЦДП с локальными контроллерами по каналу «локальная сеть-Интернет-GPRS» обмен выполняется по каналу передачи данных GSM

или с помощью SMS-сообщений. В каждой подсистеме имеется возможность организовывать пул GSM-модемов с целью распараллеливания нагрузки и повышения быстродействия и для резервирования модемов в случае неисправности одного или нескольких из них.

Система поддерживает интерфейс с SQL-совместимыми базами данных.

В настоящее время разработаны контроллеры пунктов управления и диспетчерских пунктов, модули УСО, графическая панель оператора, модули сотовых модемов (внешний вид некоторых модулей представлен на рисунке, рассмотренном ранее). Поддержаны все перечисленные коммуникационные протоколы, за исключением ZigBee (будет внедряться в рамках второй очереди проекта). На базе КТС «ЛУЧ-2» создана автоматизированная система управления наружным освещением городов АСУНО «ЛУЧ-2-СУНО», поэтапно внедряющаяся в г. Вологда и еще в ряде городов Северо-Западного региона. В систему интегрированы функции технического учета электроэнергии и охранной сигнализации. Очередным шагом по развитию будет подключение механизмов контроля состояния и режимов энергосетей на подстанциях.

Практика эксплуатации систем показала, что выводы представленного выше анализа в целом подтверждаются, а заложенные архитектурные решения обеспечивают высокую эффективность использования автоматизированных комплексов и хорошие перспективы технического развития КТС.