

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЭНЕРГЕТИКИ, ТЕПЛО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Беленев С.А.^{1,3}, Волошин Е.В.², Кузнецов Р.С.^{1,4}

¹ИАПУ ДВО РАН

²ПАО «Дальневосточная Энергетическая Компания»

³КГУП «Приморский водоканал»

⁴ВГУЭС

belenev@me.com, voloshin_ev@dvec.ru, kuznetsov@dvo.ru

Аннотация: Рассмотрены архитектурные решения, коммуникационные технологии и методология разработки распределенных телеизмерительных систем. Дано описание опыта эксплуатации систем телеметрии на предприятиях электро-, тепло- и водоснабжения Приморского края. Показаны возможности использования современных инструментов сбора и анализа для выработки рекомендаций по оптимальному режиму эксплуатации технических объектов и эффективного управления инженерными системами с целью реализации мероприятий по энергосбережению.

Ключевые слова: телеизмерения, теплоснабжение, энергоснабжение, водоснабжение, система сбора данных.

Введение

Запуск национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»[1] стимулирует переход предприятий на использование современных цифровых технологий. В рамках федерального проекта «Информационная инфраструктура» с целью создания глобальной конкурентоспособной инфраструктуры передачи, обработки и хранения данных преимущественно на основе отечественных разработок запланировано развитие инфраструктуры мобильной и спутниковой связи нового поколения, реализуются пилотные проекты по созданию сетей связи 5G, создается платформа сбора данных промышленного интернета вещей (приборов автоматического измерения показателей). Развитие сетей связи на объектах инженерной инфраструктуры позволяет принципиально по-новому организовать управление в системах теплоснабжения, энергоснабжения и водоснабжения.

Тенденция к эффективному и экономичному использованию тепло-, энерго- и водных ресурсов стимулирует устанавливать приборы учета для контроля потребления с целью энергосбережения. Современный прибор учета постоянно измеряет и накапливает в своей памяти данные о потреблении ресурсов за продолжительные периоды времени. Накапливаемая информация представляет ценность для интеллектуального анализа данных и проведения исследований. Однако необходимо решить актуальную задачу регулярной и оперативной передачи этой информации в центры обработки данных (ЦОД). Автоматическая передача данных с приборов учета через средства и различные каналы связи в базу данных ЦОД возможна с помощью современных телекоммуникационных и цифровых технологий с использованием отечественных программных комплексов распределенного сбора телеизмерений. Разработка таких программных комплексов требует решения ряда специфических, технически сложных и порой нетривиальных задач, а также привлечения финансовых и интеллектуальных ресурсов.

В ИАПУ ДВО РАН с 2000 года совместно с инжиниринговыми компаниями выполняются работы по поэтапному развитию информационно-аналитического центра (ИАЦ) [2] инженерной инфраструктуры сложных технических объектов и систем Приморского края. Основная

стратегическая задача ИАЦ — интеграция разработок, связанных с внедрением современных информационных технологий и средств автоматизации в промышленности и ЖКХ на Дальнем Востоке России. ИАЦ призван осуществлять дистанционный сбор и накопление результатов измерений основных параметров, мониторинг в реальном времени, анализ ретроспективной информации, поддержку энергосберегающих режимов функционирования, оценку эффективности внедряемых технологий. ИАЦ базируется на использовании взаимосвязанного комплекса программных, технических средств и информационного обеспечения. Основной интеллектуальной составляющей ИАЦ являются информационно-аналитические системы (ИАС) [3-5], в которых (в отличие от традиционных информационно-измерительных систем) основной акцент делается на анализ результатов измерений как в реальном времени, так и накапливаемых за значительные периоды времени (месяцы и годы). Создание информационно-аналитических систем ведется с помощью специализированной платформы [6], разработанной в ИАПУ ДВО РАН. При создании систем учёта расхода воды, тепловой и электроэнергии первоочередной задачей является получение результатов измерений с электро-, тепло- и водосчётчиков. Для решения этой задачи разрабатываются распределенные системы сбора данных [7,8], которые позволяют осуществить автоматическое считывание информации из приборов учёта (рис. 1).



Рис. 1. Архитектура центра сбора данных с приборов учёта и регулирования

1 Архитектура телеизмерительной системы

На сегодняшний день в нашей стране разработано достаточно много автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) в электроэнергетике. Современные АСКУЭ способны решать задачи сбора результатов измерений с территориально-распределенных объектов, для связи с которыми применяются современные телекоммуникационные технологии на основе беспроводных сетей передачи данных (GSM, NB-IoT). В сети GSM соединение устанавливается через базовые станции по беспроводному каналу связи. Для установки соединения между абонентами GSM-сети может быть использована как коммутируемая (CSD), так и пакетная (GPRS/EDGE) технология передачи информации. В качестве примеров эксплуатируемых АСКУЭ можно привести «Альфа-Центр», «Энергосфера», «Телескоп+», «Пирамида», «Меркурий-Энергоучет», «Лэрс-учет», «Энфорс» и другие. Несмотря на уникальность каждого отдельного АСКУЭ, их можно классифицировать как системы сбора данных с централизованной архитектурой, структурная схема которой представлена на рис. 2.

Основная задача телеизмерительной системы (далее система) заключается в регулярном переносе результатов измерений с приборов учета (тепло-, электро- и водосчетчиков),

распределенных географически на большом расстоянии от центра сбора и обработки данных (ЦОД), в централизованную базу данных. Для выполнения этой задачи в системе предусмотрены следующие компоненты:

1. Сервера сбора данных, как основной вычислительный ресурс, могут находиться в одном из 3 состояний: активное (осуществляет сбор в данный момент), резервное (ожидание запуска процесса сбора) и аварийное (выход из строя и неработоспособность).
2. Программный комплекс для автоматического выполнения процессов сбора данных установлен на каждом сервере, но работает только на активном сервере.
3. Централизованная база данных с результатами измерений и расписанием работы системы сбора (информацию о приборах учета, каким способом считывать данные, какими средствами связи и в какое время суток задает пользователь).
4. Средства связи выполняют установку соединения, передачу данных и завершение сеанса связи с удаленными приборами учета, получая соответствующие команды от программного комплекса.

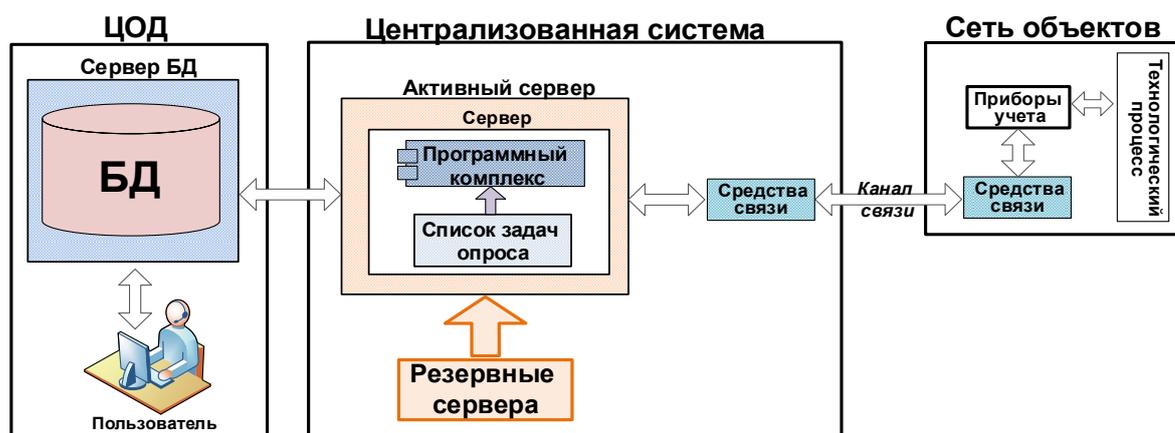


Рис. 2. Система сбора с централизованной архитектурой

Постоянное увеличение количества эксплуатируемых счетчиков ведет к повышению нагрузки на все компоненты телеизмерительной системы, что приводит к росту числа отказов оборудования и сбоев в программном комплексе. Как правило, в системах с централизованной архитектурой выход из строя активного сервера или программного комплекса влечет за собой остановку сбора данных. Все более актуальной задачей становится оперативная диагностика с целью повышения надежности и обеспечения бесперебойной работы телеизмерительной системы. Для предотвращения остановки сбора в централизованных системах применяют резервирование, которое подразумевает наличие резервных серверов с установленными программными комплексами. При возникновении неполадок с активным сервером задействуется резервный сервер. Однако при резервировании основных компонентов системы возникает необходимость поддерживать единое расписание для активного и резервных серверов. Сложность связана с архитектурной особенностью централизованной системы, при которой все функции программного комплекса рассчитаны на работу только в пределах единого сервера без возможности взаимодействовать с другими серверами. Анализ перечисленных выше программных комплексов показал, что возможности резервирования есть лишь у «Пирамида 2000» и «Меркурий-Энергоучет». Резервирование остальных программных комплексов возможно только при условии полного дублирования на новом сервере, создавая новое расписание, что приводит к неэффективному использованию компонентов системы в целом. Остается нерешенной проблема поддержки единого расписания в мультисерверной архитектуре при резервировании компонентов системы сбора или распараллеливании основных процессов на нескольких активных серверах. Контроль над правильной работой мультисерверной системы перекладывается на плечи пользователя. Пользователь самостоятельно формирует и корректирует расписание для каждого сервера, следит за работой как всей системы в целом, так и каждого компонента в частности. При наличии резервирования на пользователя дополнительно возлагается мониторинг работы активного сервера, а также периодическая проверка исправности резервных серверов. При этом особое внимание пользователя уделяется синхронизации расписаний на всех серверах. Возрастает количество рутинной работы, причем, чем больше нагрузка на систему, тем больше внимания и

времени пользователь должен уделять техническому обслуживанию и поддержке системы для предотвращения нештатных ситуаций и аварийных случаев, приводящих к полной неработоспособности.

Таким образом, существующие программные комплексы применяются в рамках телеизмерительных систем с централизованной архитектурой. В современных условиях нагрузка на такие системы возрастает, что влечет за собой повышение количества отказов и сбоев. Существующий способ резервирования компонентов системы плохо подходит для применения, поскольку работоспособность всей системы поддерживается за счет повышенной нагрузки на пользователей.

Основная проблема резервирования существующих систем связана с их архитектурой. Исторически системы создавались на основе централизованной архитектуры как простое и достаточное решение для организации работы компонентов систем. Однако распределение нагрузки и уменьшение рисков отказов в системе требует согласованного взаимодействия компонентов, которое уже невозможно реализовать в рамках централизованной архитектуры. Поэтому целесообразно разработать распределенную архитектуру для системы, в которую будут включены функции резервирования.

Предлагаемая распределенная архитектура для систем сбора данных представлена на рис. 3. По сравнению с централизованной системой, в распределенной произведены важные архитектурные изменения в программном комплексе, которые позволили распределить его функции для согласованного выполнения на отдельных вычислительных ресурсах. Функции можно разделить на уровни исполнения и координации. На уровне исполнения расположены сервера, отвечающие за процесс сбора. Уровень координации представляет собой отдельные таблицы на сервере базы данных ЦОД, к которым имеют доступ все сервера уровня исполнения. На уровне координации располагается вся информация, которая необходима для осуществления сбора серверами уровня исполнения.

Уровень координации является основным источником информации для всей системы, поэтому рассмотрим его более подробно. Во-первых, все сервера получают информацию о конфигурации и подключенных средствах связи из списка компонентов. Во-вторых, все приборы учета, с которых система должна осуществлять сбор, располагаются в списке задач опроса. Каждая задача опроса содержит информацию о результатах считывания данных с отдельного прибора учета [9]. Процедура опроса является процессом выполнения отдельной задачи опроса, то есть переноса данных с отдельного прибора учета в базу данных. Списки компонентов и задач опроса заполняются пользователем и предназначены для всех серверов. В-третьих, вся информация о выполненных серверами действиях располагается в архиве сбора. Пользователь может обратиться к архиву сбора при анализе проблемных ситуаций. Тем самым, существенно измененным компонентом распределенной системы является программный комплекс, позволяющий эффективно функционировать на нескольких серверах.

Важно отметить схему взаимодействия уровней исполнения и координации. На уровне исполнения параллельно работают программные комплексы, расположенные на отдельных серверах. Сервера самостоятельно соединяются, сохраняют свою служебную информацию, берут нужную им информацию и выбирают для себя задачи опроса с сервера базы данных. Система с распределенной архитектурой отличается повышенной отказоустойчивостью, так как на уровне исполнения все сервера являются активными и независимыми друг от друга. Кроме того, система с распределенной архитектурой обладает встроенным на архитектурном уровне резервированием серверов.



Рис. 3. Система сбора с распределенной архитектурой

Разработанный в ИАПУ ДВО РАН программный комплекс с распределенной архитектурой [10] внедрен в системах тепло- и электроснабжения Приморского края. В процессе создания программного комплекса сформулированы функциональные, архитектурные и информационные требования:

- 1) Система должна эффективно работать на нескольких серверах одновременно. Отказ любого компонента централизованной системы способен вывести ее из строя и остановить сбор. Поэтому для повышения отказоустойчивости целесообразно распределить функции программного комплекса на работу по нескольким отдельным серверам со своими средствами связи. Тем самым, в случае отказа на одном сервере, остальные сервера должны продолжить свою работу и сбор данных не прекратится. При изменении во времени количества работающих серверов работоспособность системы должна сохраняться.
- 2) Каждый сервер должен быть независимым компонентом системы и отслеживать события и состояния системы сбора, а также автоматически выполнять задачи опроса.
- 3) Каждый сервер должен обмениваться информацией с другими компонентами системы с целью согласованного выполнения задач сбора данных и эффективного распределения нагрузки для повышения производительности.
- 4) Программный комплекс на каждом сервере должен обладать модульной структурой. В современных условиях постоянно создаются новые приборы учета и технологии связи, поэтому программный комплекс должен позволять в кратчайшие сроки расширить функциональные возможности за счёт добавления новых модулей.
- 5) Система должна работать в локальной сети ЦОД. Удаленное расположение серверов увеличивает риск возникновения проблем с безопасностью, а также понижает скорость взаимодействия серверов с централизованной базой данных. Таким образом, повышение эффективности работы и безопасности системы обеспечивается на базе инфраструктуры ЦОД.

Для корректной работы системы в условиях распределенной архитектуры, необходимо учесть требования к информационному обеспечению, которые можно разбить на две группы: требования к исходным данным и требования к результатам работы системы. Исходные данные являются ключевым элементом, от которого зависит работа системы, поэтому при разработке необходимо учитывать требования к исходным данным:

- 1) Должен быть создан единый список задач опроса приборов учета для всех серверов. Система сбора данных должна выбирать из этого списка, упорядоченного по приоритету, очередной прибор учета и запускать его опрос на освободившемся средстве связи. При этом каждая строка этого списка должна содержать всю необходимую информацию для выполнения опроса прибора.
- 2) Должен быть сконфигурирован единый список компонентов системы. Для нормальной работы система должна знать активные на текущий момент времени сервера и подключенные к ним средства связи. При этом каждый сервер должен регулярно обновлять

диагностическую информацию о средствах связи, получать новые конфигурации и задачи на выполнение. Тем самым, система должна работать с единым для каждого сервера источником актуальной информации о конфигурации.

- 3) Исходные данные должны задаваться пользователем. Пользователь должен владеть информацией о каждой задаче опроса, а также о задействованных для сбора средств связи. Поэтому для системы список задач и список средств связи должны задаваться и корректироваться пользователем. Важно отметить, что система не может автоматически получить в полном объеме необходимую информацию о конфигурации для сбора данных.

Помимо обеспечения отказоустойчивости, система должна обрабатывать собираемые данные, поэтому при разработке необходимо учитывать требования к результатам работы системы:

- 1) После окончания каждого сеанса опроса результаты измерений должны сохраняться в базе данных. Каждый сервер сбора должен передавать результаты измерений на сервер БД для более глубокого анализа с помощью информационно-аналитических систем.
- 2) Результаты выполнения каждой задачи опроса должны также сохраняться в базе данных. При эксплуатации системы возникает множество нештатных ситуаций. Анализ этих ситуаций и инцидентов позволяет пользователю найти их причину и разрешить проблему в кратчайшие сроки.

Стоит отдельно отметить ориентированность разработанного программного комплекса на пользователя. Вся информация, с которой взаимодействует пользователь, располагается на уровне координации – сервере базы данных, в независимости от количества задействованных серверов на уровне исполнения. Поэтому пользователь имеет доступ к единому информационному центру системы распределенного сбора, содержащему всю необходимую информацию для анализа, оценки качества и управления системой [11].

Таким образом, предложенная распределенная архитектура решает основную проблему систем сбора данных, основанных на централизованной архитектуре. Благодаря взаимодействию между серверами система обладает повышенной отказоустойчивостью и встроенным на уровне распределенной архитектуры резервированием. Автоматизация процесса сбора и единая конфигурация в базе данных облегчает пользователю выполнение функций администрирования сложной системой. На основе предложенной архитектуры сформированы требования, на основе которых разработан программный комплекс с последующим его внедрением в промышленную эксплуатацию в ПАО «Дальневосточная Энергетическая Компания».

2 Коммуникационные технологии для получения телеизмерений

Изначально, когда число приборов исчислялось единицами, и они были однотипными, в ИАЦ применялся сбор данных из архивов приборов учета с использованием ноутбука непосредственным подключением через последовательный (RS-232) или оптический (IRDA) порт. Постепенное увеличение числа приборов, а также необходимость получать информацию с приборов в разных городах привела к потребности оснащения их модемами, использующими коммутируемую телефонную сеть (PSTN) для дистанционного сбора данных. Однако сбор данных по городским телефонным линиям имеет ряд недостатков, из которых основным является невозможность опрашивать прибор днем, поскольку в это время телефон используется по основному назначению. В ночные же часы опросить множество приборов не удастся. Поэтому с повсеместным распространением сотовой связи стандарта GSM большинство телефонных модемов были заменены на GSM-модемы. В сети GSM соединение устанавливается через базовые станции по беспроводному каналу связи. Для установки соединения между абонентами GSM-сети может быть использована как коммутируемая (CSD), так и пакетная (GPRS/EDGE) технология передачи информации.

При коммутируемой (рис. 4) технологии сервер сбора с помощью своего GSM-модема устанавливает и завершает соединение с GSM-модемом прибора, который всегда находится в ожидании входящего соединения. Основным недостатком этого подхода является низкая производительность системы сбора данных из-за невозможности одновременного опроса всех счетчиков. Для увеличения производительности сбора данных по технологии CSD требуется установка большого числа модемов на сервере(-ах) и использование надежных специализированных аппаратно-программных средств, поскольку обычные персональные компьютеры не оснащаются необходимым числом последовательных портов для подключения GSM-модемов. С другой стороны, для уменьшения затрат на связь требуются модемы с SIM-картами различных операторов мобильной связи и специальными тарифами и/или опциями. Все эти

особенности должны учитываться в системе сбора данных для организации распределения нагрузки на серверные модемы с учетом ограничений тарифной политики каждого оператора сотовой связи. Отметим, что качество и надежность связи зависит как от удаленного модема, установленного на объекте, так и от серверного модема системы сбора. Учитывая тот факт, что серверные модемы работают практически непрерывно при большом числе опрашиваемых системой сбора счетчиков, необходимо выполнять постоянный контроль качества связи и работоспособности этих модемов. Для этого используются как обычные коды завершения соединения GSM-модемом, так и в случае ошибки специальные расширенные коды, объясняющие причину разрыва соединения и описанные в стандарте GSM 07.07 и документации на модем. Например, вызываемый GSM-модем может быть занят или не в сети, и повторная попытка соединения не требуется.

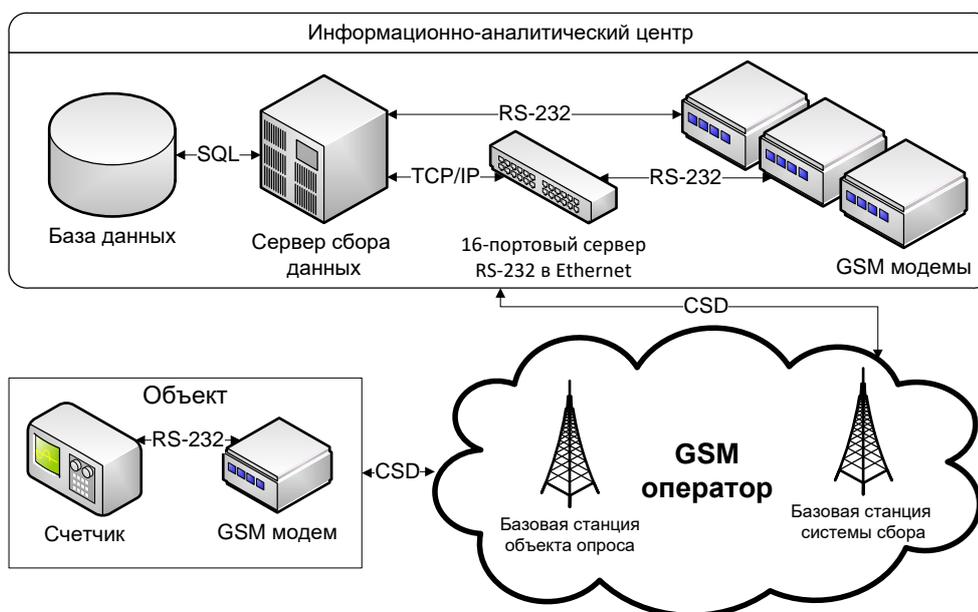


Рис. 4. Схема сбора данных по технологии CSD

Пакетная технология передачи данных (рис. 5) используется при связи с GSM-модемом как при пассивном, так и при активном соединении. Особенностью этой технологии является передача данных на основе стека протоколов TCP/IP, поэтому на сервере сбора GSM-модем не нужен. Однако при пассивном соединении должна быть организована виртуальная частная сеть с оператором мобильной связи с маршрутизацией через сеть Internet-провайдера, а также выделен статический IP-адрес, назначенный компанией-провайдером SIM-карты. Сервер сбора, используя протокол TCP/IP, открывает и закрывает соединение с GSM-модемом для сбора данных со счетчика, который всегда находится в ожидании входящих запросов. Статические IP-адреса операторы сотовой связи предоставляют как платную услугу, поэтому получил распространение способ организации соединения с GSM-модемом по динамическому IP-адресу.

При активном соединении GSM-модемы самостоятельно выходят в сеть Internet, получая автоматически динамический IP-адрес, и устанавливают соединение с прокси-сервером согласно предустановленной конфигурации и событийно ориентированному программированию (например, выход на связь по расписанию). Сервер сбора данных или приложения клиентов для считывания данных работают со статическим IP-адресом прокси-сервера в локальной сети ЦОД/ИАЦ. Как правило, производители GSM-модемов предоставляют специализированное ПО (M2M платформы), которое реализует не только функции прокси-сервера. M2M платформы позволяют выполнять мониторинг соединения GSM-модемов, удаленное конфигурирование или обновление системного программного обеспечения GSM-модемов, учет входящего и исходящего трафика и т.д. Одна из основных функций M2M прокси-сервера — обеспечение постоянного соединения с удаленными GSM-модемами. Проблему ограниченного диапазона IP-адресов операторы мобильной связи вынуждено решают за счет технологии преобразования сетевых адресов (NAT). При этом время жизни неактивного соединения ограничивается со стороны сетевого оборудования оператора связи. Для поддержания постоянного соединения между GSM-модемом и M2M прокси-сервером необходимо передавать сервисные пакеты, которые не связаны с передачей полезных данных, но учитываются в биллинговых системах операторов связи. С одной стороны, сервисные сообщения

необходимы для проверки и поддержания связи с GSM-модемом, с другой — необходимо минимизировать сервисный трафик. Например, теплосчетчики в системе отопления нужно опрашивать только во время отопительного сезона, что делает экономически нецелесообразным использовать GSM-модемы в активном режиме в межотопительный период. Другой важной функцией M2M прокси-сервера является маршрутизация запросов из локальной сети от сервера сбора данных к счетчику, установленному на удаленном объекте. Для обеспечения правильного сопоставления информационной модели счетчика в базе данных информационно-аналитической системы с реальным счетчиком необходимо установить взаимнооднозначное соответствие между счетчиком, GSM модемом и адресом используемого канала связи. Для этой цели на практике используется IMEI модема, заводской номер счетчика и статические адреса и/или порты средств связи. Используя эту информацию, сервер сбора с помощью протокола TCP/IP открывает сессии передачи данных с прокси-сервером по заранее известному для него локальному IP-адресу и сетевому порту.

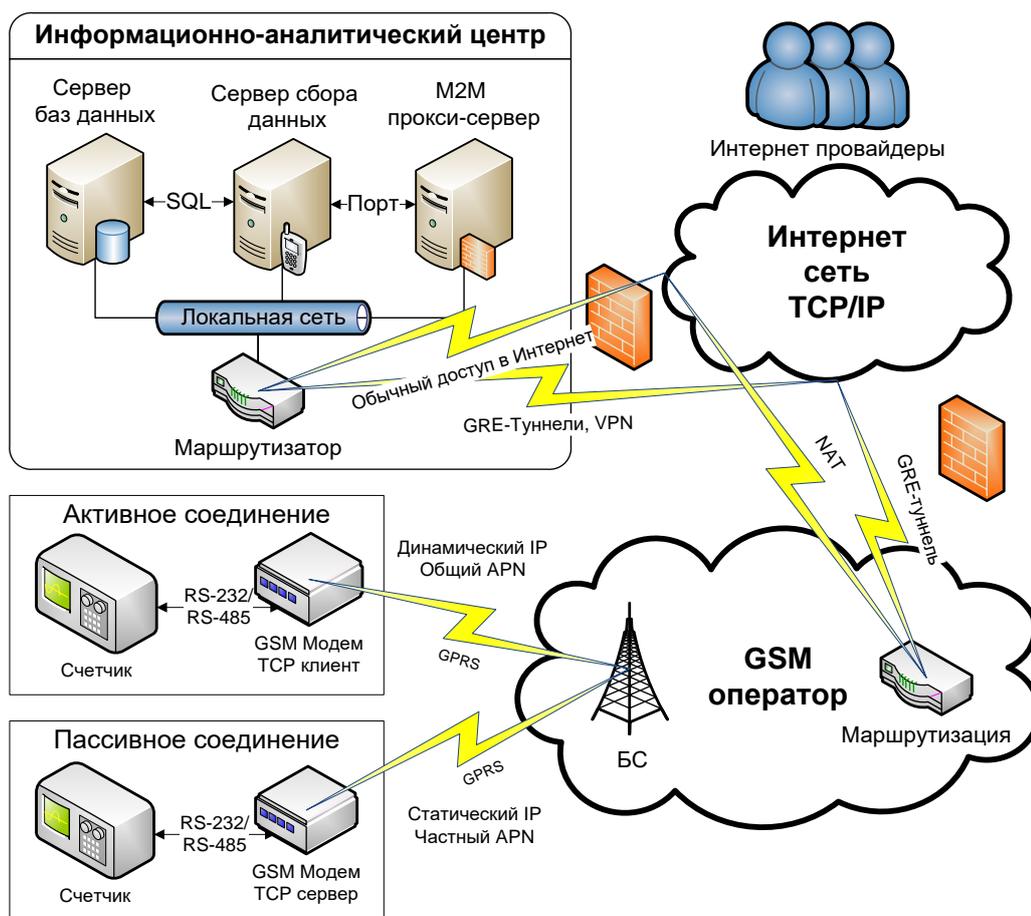


Рис. 5. Схема сбора данных по пакетной технологии

Столь сложная архитектура современных систем сбора данных требует решения ряда нетривиальных задач, в том числе мониторинга и оценки качества связи, диагностирования коммуникационного оборудования, обнаружения сбоев в каналах связи, оптимизацию производительности систем сбора данных с учетом экономии затрат на связь.

3 Практическое применение телеизмерительной системы в водоснабжении

Одна из основных составляющих тарифа (наибольшая часть затрат) за водоснабжение и водоотведение – электроэнергия. Показатель энергоэффективности по водоканалам Российской Федерации составляет от 1.84 до 2.05 кВт/м³. Столь значительное энергопотребление объясняется не только высотными перепадами территории водоснабжения и большой удаленностью основного водозабора, но и отсутствием проведенного анализа соответствия характеристик насосного оборудования требованиям обслуживаемой территории. Эффективность работы системы водоснабжения недостаточно высокая, но может быть повышена с помощью современных информационных систем для управления потреблением электроэнергии [12]. По предварительным

данным потенциал повышения энергоэффективности достаточно велик, на примере КГУП «Приморский водоканал» возможна экономия до 30% от текущего энергопотребления. Поэтому на первом этапе для проведения объективного анализа качества и энергоэффективности работы насосных станций требуются фактические данные с измерительных приборов. В КГУП «Приморский водоканал» разработана система сбора и анализа технологической информации из разнородных источников [13] (рис. 6). Система является полезным инструментом своевременного получения данных приборного учета, последующей аналитической обработки и выработки рекомендаций по оптимальному режиму водоподачи с целью повышения энергоэффективности функционирования насосных станций.

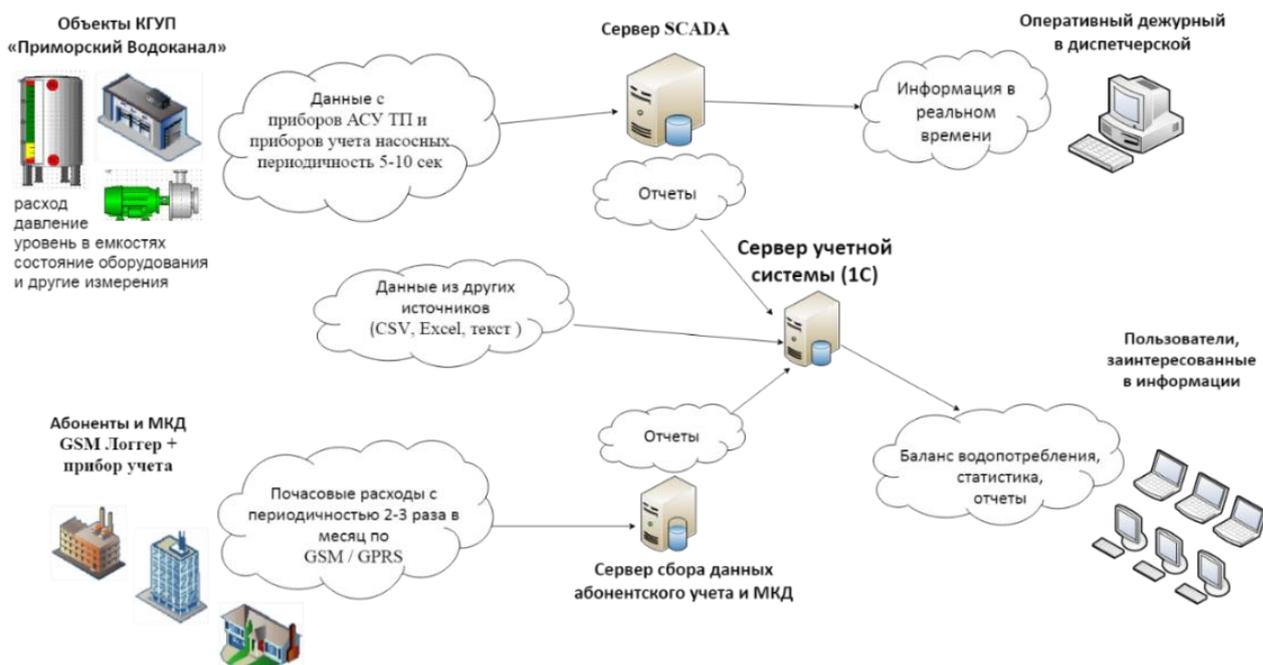


Рис. 6. Схема автоматизации сбора данных в системе водоснабжения

Во Владивостоке крайне непростой рельеф. Весь город стоит на сопках, что делает процесс подачи воды крайне сложным и энергозатратным из-за очень большого перепада высот. Город разделен на несколько зон водоснабжения, каждая из которых имеет свою диктующую точку (дом, резервуар, сопка). Насосные станции (НС) работают в каждой из зон системы водоснабжения и потребляют основную долю электроэнергии. Всего на техническом обслуживании «Примводоканала» 84 водных НС и 57 канализационных НС. В условиях модернизации НС и улучшения качества процесса водоподачи, мероприятия по энергосбережению приобретают ключевое значение. Актуальной является задача оптимизации функционирования НС с целью повышения энергоэффективности и реализации мероприятий по энергосбережению [14].

Первым этапом на пути к снижению потребления электроэнергии стал сбор данных с манометров для выявления избыточного давления на участках сети водоснабжения и обследование всех крупных НС.

На втором этапе по результатам анализа собранных данных были выявлены проблемные участки и проведены мероприятия по оптимизации работы НС:

- оптимизация технического процесса регулирования напорными задвижками;
- оптимизация производительности НС;
- оптимизация использования резервуаров в часы пиковых нагрузок;
- оптимизация загрузки водоводов для снижения давления;
- установка подкачивающих насосов для абонентов.

На насосной станции НФС №2 второго подъема в пгт. Шкотово рабочее давление составляло порядка 9 кг/м.кв., с учетом того, что насосная станция имеет два водовода, проложенных на разных отметках, было принято решение максимально задействовать водовод с наименьшей отметкой и в результате давление удалось снизить по одной отметки до 8,5 кг/см.кв. по другому 7,6-8,2 кг/см.кв. На насосной станции НФС №1 второго подъема давление было снижено с 12,5 кг/см.кв до 12 кг/см.кв., а также установлен подкачивающий насос для двух абонентов. Как следствие было

снижено давление и соответственно энергопотребление. Насосная станция третьего подъема «Муравейка» работала с ручным регулированием задвижек. При регулировании задвижками возникает избыточное давление перед задвижкой. Чем больше разница давлений до и после задвижки, тем больше перерасход электроэнергии. После отказа от ручного регулирования напорными задвижками, производительность насосной станции теперь регулируется напором, создаваемым НФС №2 второго подъема. На сопке «Опорная» восстановлен один из имеющихся резервуаров. Что позволило в часы пиковых нагрузок не запускать третий насосный агрегат на насосной станции «Горностан». Резервуар сглаживает пиковые нагрузки: наполняется при небольшом потреблении воды, а при увеличении потребления запас воды расходуется из резервуара.

На третьем этапе для экономии потребления электроэнергии использованы регулируемые приводы. В мировой практике регулируемый привод уже давно признан одной из наиболее эффективных энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий. Высокая эффективность применения автоматизированного регулируемого привода для оптимизации работы различных технологических систем с механизмами, особенно с насосными установками, работающими в переменных режимах, подтверждена многолетним мировым опытом. Применение регулируемого привода позволило оптимизировать работу электродвигателей насосов, исключить непроизводительное потребление электроэнергии и, помимо этого, обеспечить значительное снижение водопотребления (до 20 %). Энергосберегающий эффект от применения регулируемого привода можно пояснить на примере насосной установки, для которой требуется работа в различных режимах производительности из-за необходимости поддержания постоянного давления у потребителя. Такие режимы работы характерны, в частности, для большинства технологических систем водоснабжения. Принцип экономии электроэнергии и расхода воды показан на рис. 7.

При номинальной расчетной производительности $Q_{ном}$ насос работает при номинальной частоте вращения f_0 в точке «а» пересечения характеристики насоса (кривая 1) с гидравлической характеристикой сети (кривая 2). При этом в сети устанавливается номинальное давление, определяемое напором насоса $P_{ном}$, расход воды у потребителя - $Q_{ном}$. Потребляемая насосом мощность определяется по характеристике мощности (кривая 5) - $N_{ном}$. При снижении водопотребления гидравлическое сопротивление сети повышается, и гидравлическая характеристика сети смещается (кривая 3), а рабочая точка нерегулируемого насоса переходит в точку «b», соответствующую расходу Q_1 и напору P_1 . Насос работает с напором, избыточным на величину $\Delta P = P_1 - P_{ном}$. Потребляемая насосом мощность составляет N_1 . Ликвидация избыточного напора ΔP при работе насоса с регулируемым приводом достигается соответствующим снижением частоты вращения до величины f_1 . В результате характеристика насоса смещается (кривая 4), а номинальный напор насоса восстанавливается, поддерживая требуемое давление в сети при изменённой гидравлической характеристике (кривая 3). Насос теперь работает в точке «с» с номинальным напором $P_{ном}$ и производительностью Q_2 , обеспечивая экономию расхода воды ΔQ , потребляя мощность N_2 . При изменении частоты вращения насоса зависимости напора, расхода и мощности на валу насоса изменяются в соответствии со следующими соотношениями:

$$(1) \quad Q_1/Q_2 = (f_0/f_1)^k; P_1/P_{ном} = (f_0/f_1)^n; N_1/N_2 = (f_0/f_1)^m.$$

где f – частота вращения насоса, коэффициенты k , n , m - показатели степени, которые для характеристики лопастного насоса (вентилятора) при совпадении начала координат характеристик насоса и сети составляют $k = 1$, $n = 2$, $m = 3$. Изменение (снижение) расхода воды и потребляемой мощности (электроэнергии) при работе с регулируемым приводом по сравнению с работой без регулирования частоты вращения определяется вышеприведенными соотношениями (1). Откуда следует, что потребляемая мощность снижается пропорционально изменению частоты вращения в третьей степени. Например, при работе со скоростью вращения 80% от номинальной потребляемая мощность уменьшается вдвое. Ресурсосберегающий эффект регулируемого привода определяется также его способностью выполнять плавные пуски и остановки насосов, вентиляторов и другого электрооборудования. Особенно эффективно применение регулируемого привода в системах холодного водоснабжения (ХВС) коммунальных хозяйств, поскольку в этом случае помимо экономии электроэнергии, обеспечивается также экономия воды до 20%. Кроме прямой экономии электроэнергии и воды достигается косвенный экономический эффект от использования гидропривода за счет повышения надежности, срока службы и межремонтного ресурса оборудования. Благодаря щадящим режимам работы оборудования, зачастую этот экономический эффект оценивается выше чем эффект от энергосбережения.

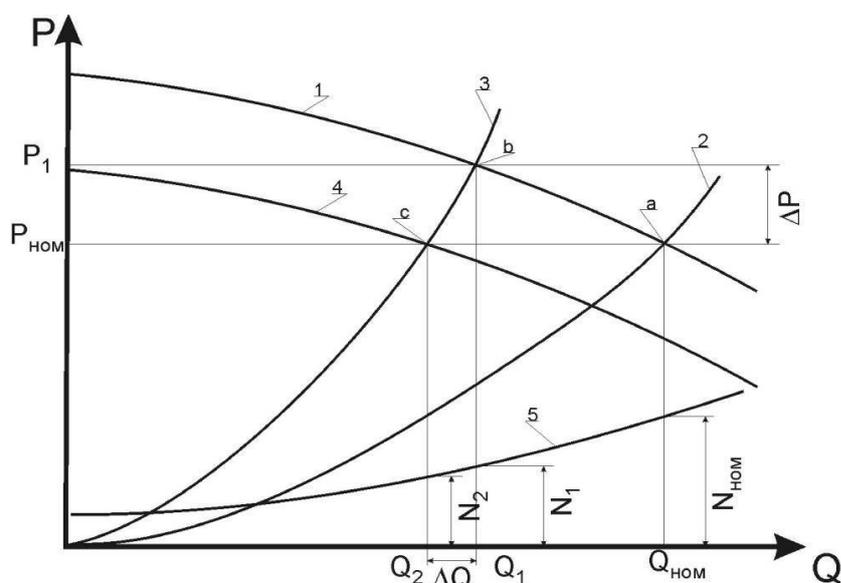


Рис. 7. Характеристики совместной работы центробежного насоса и гидравлической сети

Благодаря комплексу мер по энергосбережению в 2018 году на крупных НС предприятия КГУП «Приморский водоканал» без дополнительных затрат и вложений на оборудование удалось за счёт оптимизации режимов функционирования сократить потребление электроэнергии на 8-10% (экономия 45 млн. руб.) по сравнению с такими же периодами предыдущих лет. На предприятии мероприятия по энергосбережению в 2019 году продолжают. В настоящий момент ведутся работы на НС «Седанка». В планах также произвести реконструкцию канализационной НС №5, и запустить второй резервуар на сопке «Опорная». Ожидаемый эффект от мероприятий – экономия порядка 30% от потребляемой сейчас электроэнергии.

Закключение

Ранее технический персонал выполнял считывание приборов учёта непосредственно подключаясь к ним с помощью ноутбука. Переход с ручного на автоматическое считывание показаний показал значительные преимущества и экономию по времени. Благодаря беспроводному считыванию приборов учёта, в настоящее время очень трудоёмкая работа занимает всего несколько минут и с гораздо большей точностью, чем это было раньше. Статистика эксплуатации телеизмерительных систем в отопительном сезоне 2018-2019 гг. для более 500 приборов учёта показала, что 95% счетчиков считываются по беспроводным технологиям без каких-либо затруднений. Своевременное предоставление измерительной информации значимой для технологического и коммерческого учёта позволяет эффективно управлять инженерными системами как отдельного здания, так и «умного» города.

Литература

1. Паспорт национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации" // СПС КонсультантПлюс.
2. Кузнецов Р.С., Чипулис В.П. Информационно-аналитический центр объектов теплоэнергетики // В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2012) Труды Шестой международной конференции (ежегодный сборник). Под общей редакцией С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна. 2012. С. 362-371.
3. Чипулис В.П., Кузнецов Р.С. Информационно-аналитические системы в теплоэнергетике для повышения энергоэффективности // В сборнике: Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016) Материалы 9-й конференции по проблемам управления. Председатель президиума мультikonференции В. Г. Пешехонов. 2016. С. 544-551.
4. Yu. Bogdanov, V. Chipulis, "Information-Analytical Systems of Thermo-Power Engineering," LNICST, vol. 72. Springer: Heidelberg, 2012, pp. 116-124.
5. Кузнецов Р.С., Раздобудько В.В., Чипулис В.П. Информационно-аналитические системы объектов теплоэнергетики // Информатика и системы управления. №2(28). 2011. С. 41-49.
6. Волошин Е.В., Кузнецов Р.С., Чипулис В.П. Автоматизация объектов теплоэнергетики на базе аналитической платформы // Автоматизация в промышленности. 2016. № 12. С. 18-24.

7. *Волошин Е.В.* Программный модуль для сбора измерительной информации с объектов теплоэнергетики // Промышленные АСУ и контроллеры. 2016. № 9. С. 25-33.
8. *R. Kuznetsov, V. Chipulis.* "Wireless Data Collection in Power System," // Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 280. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 21-26.
9. *Волошин Е.В.* Разработка многофункционального программного модуля для сбора измерительной информации с объектов теплоэнергетики // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2016. №1. С. 213-216.
10. *Волошин Е.В.* Применение мультиагентной технологии для сбора данных с объектов теплоэнергетики // В сборнике: Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016) Материалы 9-й конференции по проблемам управления. Председатель президиума мультikonференции В. Г. Пешехонов. 2016. С. 324-333.
11. *Чипулис В.П., Пакичев Т.В., Волошин Е.В.* Оценка качества системы распределенного сбора данных // Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». М: РОСПАТЕНТ. №6. 2018. Свидетельство № 2018616656
12. *Потемин А.А., Сапожников С.И., Хренов К.Е.* Автоматизированная информационная система планирования и управления потреблением электроэнергии объектами МГУП «Мосводоканал» // Автоматизация в промышленности. 2010. №10. С. 38-41.
13. *Беленев С.А., Горошко О.А., Карасев А.Г., Дьяченко А.А.* МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КГУП «ПРИМОРСКИЙ ВОДОКАНАЛ» // Автоматизация в промышленности. 2016. № 12. С. 29-31.
14. *Кинебас А., Сокол В., Гусаров А., Таразевич С.* Ресурсосбережение и безопасность при локальной организации интеллектуальной АСУТП водопроводной насосной станции // СТА. 2010. №4. С. 54-59.