



**Крымский В.Г.**  
**Krymsky V.G.**

доктор технических наук,  
профессор, зав. кафедрой  
«Информационно-  
управляющие системы»  
Уфимского  
государственного  
университета экономики  
и сервиса,  
Россия, г. Уфа



**Жалбеков И.М.**  
**Zhalbekov I.M.**

аспирант  
Уфимского  
государственного  
университета  
экономики  
и сервиса,  
Россия, г. Уфа



**Имильбаев Р.Р.**  
**Imilbaev R.R.**

аспирант  
Уфимского  
государственного  
университета  
экономики  
и сервиса,  
Россия, г. Уфа



**Юнусов А.Р.**  
**Yunusov A.R.**

кандидат технических наук,  
директор  
ООО «УфаСистемаГаз»  
Россия, г. Уфа

УДК 681.518.5

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ: ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

В газораспределительной отрасли на современном этапе ее развития активно внедряются средства телеметрии и телемеханики, что повышает безопасность процесса транспортировки газа до конечного потребителя и существенно снижает затраты, связанные с обслуживанием. Построение систем диспетчерского управления и сбора данных на объектах газораспределительной сети во многом схоже с решением задачи автоматизации технологических процессов на производственном предприятии, но имеет, тем не менее, свои особенности. Статья посвящена анализу существующих подходов к формированию указанных систем и типовых проблем, с которыми приходится сталкиваться их разработчикам. Рассматриваются вопросы организации измерений и учета расхода газа с помощью современных датчиков, а также способы передачи данных с контрольно-измерительных пунктов на диспетчерский пункт по беспроводному каналу связи. Обсуждаются достоинства и недостатки введения сети Интернет в коммуникационную архитектуру проектируемой автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП).

*Ключевые слова:* газораспределительные сети, автоматизированные системы управления технологическим процессом, SCADA-системы, беспроводные технологии.

## **AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL IN GAS DISTRIBUTION NETWORKS: CHALLENGES, TRENDS AND PERSPECTIVES**

Telemetry and remote control aids are being actively implemented within gas distribution industry at the present stage of its progress, so this increases safety of gas transmission to an end-user and significantly reduces service costs. Building up the supervisory control and data acquisition systems at the plants which belong to gas distribution network is very similar to solving the problem of process control automation for the manufacturing business but nonetheless it has some specific features. The paper analyzes existing approaches to constructing those systems and describes typical problems encountered by the system designers. There are considered the problems of measurement organization and gas flow account issues by means of modern sensor devices; wireless communication methods for data transmission from field device to supervisory level

are also described. Pros and cons of embedding the Internet into the computerized process control system (CPCS) architecture are discussed.

*Key words:* gas distribution networks, computerized process control systems, SCADA, wireless technologies.

### *Введение*

Как известно, многие промышленные и энергетические системы (сети) имеют территориально распределенную структуру. Для них характерны территориальное разделение значимых участков-узлов, реализующих технологические функции, и их удаленность от центрального узла (ядра системы), в котором принимается то или иное решение о порядке реализации технологического цикла. Такая географическая распределенность указанных узлов, а также большое их количество и сложности реализуемых ими функций существенно затрудняют решение задачи получения, передачи, обработки первичных данных о состоянии системы и формирования соответствующего управления. Поэтому дистанционный мониторинг и управление удаленными объектами – весьма важные и актуальные проблемы, стоящие перед исследователями и практиками.

К типичным системам с распределенной структурой, в частности, относится газораспределительная сеть. Анализ существующих решений в об-

ласти телеметрии и телемеханизации указанного класса систем посвящена данная статья.

### *Устройство газораспределительной сети*

В первую очередь, остановимся на процессе подготовки углеводородного топлива. Природный газ, подвергшийся ряду процедур [1] на газоперерабатывающем предприятии с целью обеспечения требуемого качества горючего (дегидратация, очистка газа от примесей и т. д.), доставляется по магистральному газопроводу при давлении, достигающем 11,8 МПа, до газораспределительной станции (ГРС). На ГРС газ подвергается очистке от механических примесей и одорируется. Давление газа на выходе из ГРС в зависимости от схемы его понижения принимает значения, соответствующие диапазонам, приведенным в таблице 1 [2]. Далее углеводородная смесь попадает в систему газопроводов, на участках которых располагаются узлы редуцирования. Они снижают давление газа до необходимого значения для безопасного использования конечным потребителем.

*Таблица 1*

**Классификация газопроводов по давлению в газораспределительных сетях**

Тип газопровода		Давление природного газа, Мпа	Потребители газа
высокого давления	I категории (Г4)	0,6–1,2	промышленные предприятия
	II категории (Г3)	0,3–0,6	
среднего давления (Г2)		0,005–0,3	общественные и административные здания, складские помещения
низкого давления (Г1)		менее 0,005	жилые здания

Отмеченная система газопроводов от ГРС до ввода газа потребителям, а также сооружения и технические средства на них и представляют собой газораспределительную сеть. Структура и элементы такой сети изображены на рисунке 1. В общем случае система газораспределения включает в себя:

- собственно саму сеть стальных и/или полиэтиленовых трубопроводов;
- шкафные и блочные газорегуляторные пункты (ШРП и ГРПБ/ГРП соответственно), основной задачей которых является понижение давления газа до требуемого уровня;
- станции катодной защиты (СКЗ), предназначенные для предотвращения воздействия коррози-

онных процессов на металлические составляющие конструкции сетей газораспределения;

- крановые узлы (КУ), позволяющие осуществлять реконфигурацию (изменение топологии) трубопроводной сети.

В соответствии с [3] в сетях газораспределения необходимо осуществлять мониторинг и контролировать достаточно большое число параметров, основные из которых приведены в таблице 2. С целью выполнения этих требований системы газораспределения оснащаются соответствующим измерительным оборудованием:

- датчиками давления;
- расходомерами;

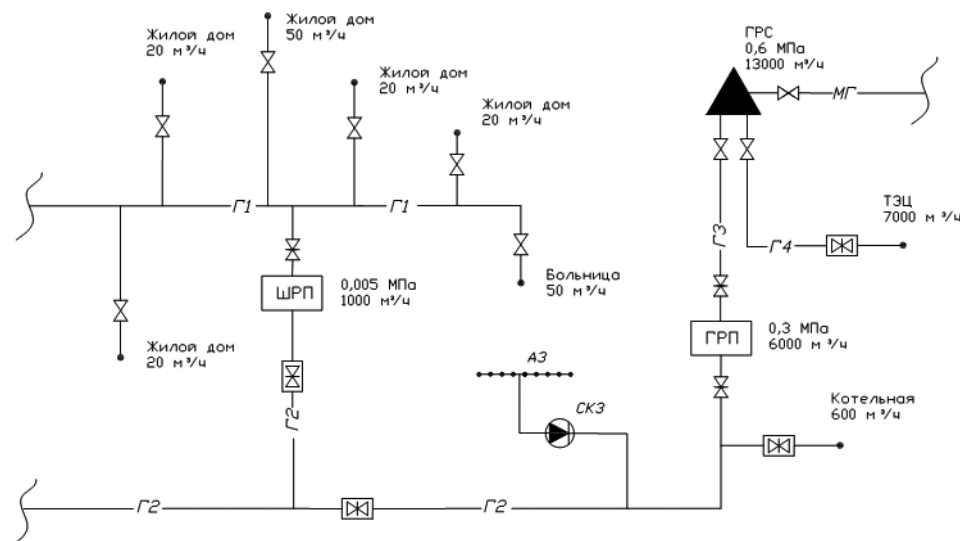


Рис. 1. Участок сети газораспределения

- датчиками температуры;
- сигнализаторами загазованности.

При разработке системы телеметрии необходимо уделить особое внимание подбору полевых устройств

для измерения. Каждое такое устройство обладает обширным перечнем нормируемых параметров, предельные значения которых во многом зависят от физического принципа действия преобразователя.

Таблица 2

**Основные контролируемые параметры систем газораспределения**

ГРП	КУ	СКЗ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• давление газа на входе и выходе;</li> <li>• перепад давления на фильтрах;</li> <li>• температура газа на входе и выходе;</li> <li>• загазованность помещений по CH<sub>4</sub>;</li> <li>• состояние предохранительного запорного клапана (ПЗК).</li> </ul> <p>Дополнительно контролируемые параметры при наличии узла учета расхода газа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• давление газа в точке измерения расхода;</li> <li>• температура газа в точке измерения расхода;</li> <li>• объем газа, приведенный к стандартным условиям</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• давление газа до и после КУ;</li> <li>• температура газа на КУ;</li> <li>• давление рабочей среды в системе привода запорного устройства;</li> <li>• сигнализация санкционированного/ несанкционированного доступа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• выходное напряжение;</li> <li>• выходной ток;</li> <li>• суммарный потенциал сооружения;</li> <li>• поляризационный потенциал сооружения;</li> <li>• сигнализация санкционированного/ несанкционированного доступа</li> </ul>

В качестве примера на рис. 2 приведена классификация расходомеров по принципу действия [4, 5]. Однако, согласно [6], не все они подходят для коммерческого учета газа (хотя и могут использоваться, например, в узлах технологических измерений), а ряд современных типов расходомеров вообще не вошел в соответствующий стандарт, что отмечено на рис. 2.

Выбор конкретного типа расходомера зависит от требуемой точности, динамического диапазона расходов, диапазона давлений, температуры, величины потерь давления на первичном преобразовате-

ле, а также наличия гидравлических сопротивлений перед участком газопровода, где осуществляется замер. Рекомендации по параметрическому подбору расходомеров приведены в [6]. Все это лишь подтверждает тот факт, что обеспечение газораспределительных сетей средствами телеметрии – нетривиальная задача.

Большое число измеряемых параметров порождает необходимость их централизованного сбора с целью коррекции расчетных значений, калибровки. Исполнение данной функции возлагается на промышленный логический контроллер (ПЛК),

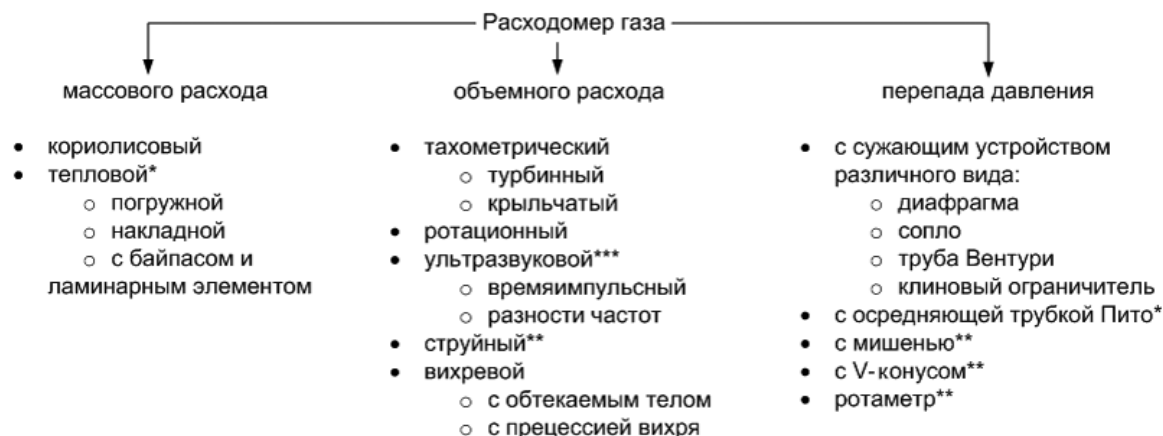


Рис. 2. Классификация расходомеров газа по принципу действия:

\* – расходомеры, не допускаемые к применению в узлах коммерческого учета; \*\* – расходомеры, не включенные в стандарт;

\*\*\* – расходомеры, допускаемые к применению в узлах коммерческого учета при некоторых условиях

который является неотъемлемым элементом конструкции любой современной системы управления. Кроме этого, ПЛК выполняет задачи управления газопроводной арматурой в соответствии с полученными результатами, значениями установок и передачи информации на следующий иерархический уровень системы контроля (как правило, в состав контроллеров входит модуль беспроводной связи).

#### *Управление процессом распределения газа*

Согласно [2] на территории РФ газораспределительные сети поселений с населением свыше 100 тыс. человек должны быть оснащены автоматизированными системами управления технологическим процессом распределения газа (АСУТП РГ). Основными задачами АСУТП РГ являются:

- регистрация информации о работе компонентов и оборудования газораспределительной сети, изменениях в режиме работы;
- информирование оператора дежурной службы о работе системы, тревогах и внештатных ситуациях;
- обеспечение записи и фиксации информации о событиях системы и работе системы в электронных цифровых архивах хранения данных;
- автоматизированный контроль работы системы, сверка с требуемыми параметрами работы системы и информирование оператора дежурной службы об обнаруженных расхождениях;
- информационный обмен с автоматизированными системами управления по диспетчерской иерархии.

#### *Классификация АСУТП*

Традиционно выделяют следующие типы АСУТП [7]:

- системы диспетчеризации и сбора данных (SCADA);

- распределенные системы управления (PCU);
- автономные ПЛК-системы.

Первоначально отличительной особенностью PCU являлась децентрализация обработки, хранения и отображения данных в масштабах промышленного предприятия (в частности, таким объектом мог выступать газоперерабатывающий завод). В SCADA-системах акцент был смещен в сторону создания средств централизованного мониторинга и управления географически распределенными объектами (например, сетями газо- или электро-снабжения). Первые системы такого типа столкнулись с проблемой передачи информации на большие расстояния, в связи с чем на центральный пульт передавались данные качественного характера, сигнализирующие о наличии отклонения значения контролируемого параметра от заданного уровня в ту или иную сторону. В свою очередь, PCU использовались в тех областях, где требовалось непрерывно обновлять значения измеряемых параметров. Однако по мере развития широкополосных телекоммуникационных и сетевых технологий, а также возникновения транснациональных корпораций разница между PCU и SCADA-системами становится все менее существенной и носит номинальный характер. В то же время архитектурная реализация и проблемы, с которыми сталкиваются разработчики PCU и SCADA-систем, во многом идентичны [8].

Наконец, автономные АСУТП на базе ПЛК применяются в качестве локальных систем управления, где не требуется передача информации на более высокий уровень. Они занимают нижнюю ступень иерархии АСУТП. Принимая во внимание перечисленные особенности, в дальнейшем термины «АСУТП РГ» и «SCADA-система» будут употребляться как синонимы.

*Особенности передачи данных в SCADA-системах газораспределительной отрасли*

Структура SCADA-системы изображена на рис. 3. Как отмечалось ранее, ПЛК входят в состав SCADA-систем, образуя так называемый уровень локальных контроллеров. Информация от ПЛК должна передаваться на уровень оперативного управления, на котором располагаются SCADA-сервер, сервер баз данных, АРМ операторов и разработчика. Согласно [9] время передачи сообщения с контрольно-измерительных

пунктов на пульт управления не должно превышать 1 мин. для текущих значений и 10 сек. – для аварийных данных. При этом для коммуникации элементов системы можно использовать как проводные, так и беспроводные каналы передачи данных. Следует иметь в виду, что в местах размещения большинства точек контроля газораспределительной сети отсутствует доступ к проводным каналам связи. В таком случае целесообразно организовать передачу данных на верхний уровень по беспроводному каналу.

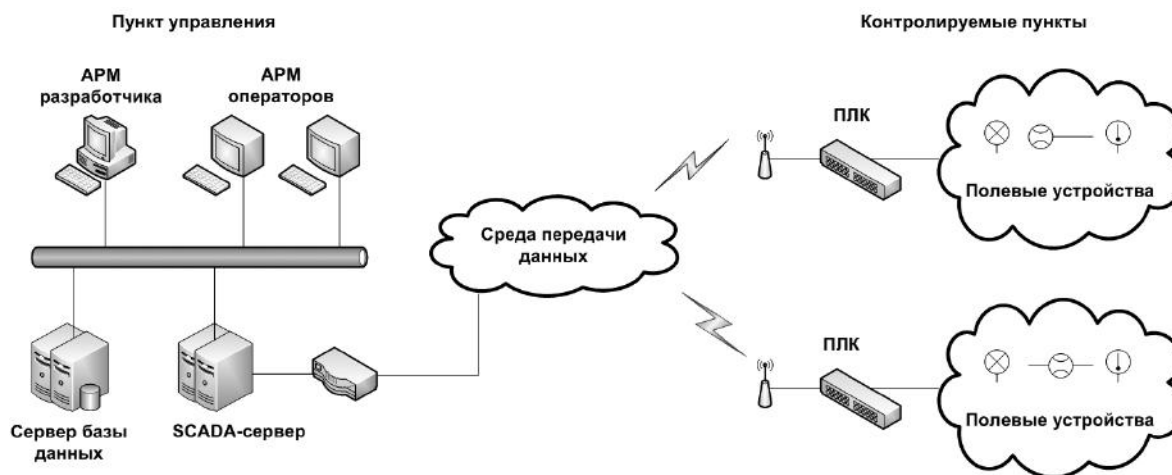


Рис. 3. Архитектура SCADA-системы

На сегодняшний день существует достаточно большое количество стандартизованных технологий беспроводной передачи информации, часть из которых представлена в таблице 3 [10, 11]. Тем не менее остановить свой выбор на конкретной технологии не очень просто. При построении сетей коммуникации традиционно возникают задачи определения дальности и скорости передачи данных, которые предоставляет та или иная технология. К промышленным сетям связи, как правило, предъявляется ряд дополнительных требований. Так, применительно к беспроводным коммуникациям на пунктах газораспределительных сетей необходимо дополнительно учитывать следующие особенности:

- небольшой объем телеметрических данных с каждого пункта [12] и умеренная частота их обновления [9] не предъявляют существенных требований к скорости передачи;
- зачастую на отдельных узлах контроля (в частности, ШРП) отсутствует доступ к электросетям переменного напряжения, что, в свою очередь, порождает необходимость решения задач снижения мощности, потребляемой оборудованием, и обеспечения автономного питания средств телеметрии и коммуникации;
- в целях предотвращения взрыва горючей смеси при наличии утечки следует снижать мощность

устройств беспроводной связи, что накладывает ограничения на дальность передачи (в [13] отмечается, что, даже учитывая эффекты воздействия модуляции и отражения электромагнитных волн, уровень мощности, излучаемой приемопередатчиками WPAN и WLAN сетей, не превосходит порогового значения, при котором происходит воспламенение);

- повышенные требования к надежности АСУТП РГ регламентируют наличие резервного канала связи;
- стратегически важный характер объекта управления подразумевает применение технологий, обеспечивающих соответствующий уровень безопасности передачи данных.

Беспроводные персональные сети на базе стандарта IEEE 802.15.4 (ZigBee, WirelessHART, ISA 100.11) удовлетворяют требованиям малого энергопотребления, однако не позволяют передавать информацию на большие расстояния, вследствие чего потребуется использовать ретрансляторы для обеспечения должной площади покрытия территории, что в конечном итоге повышает затраты на развертывание таких сетей. В то же время ZigBee не поддерживает перестройку рабочих частот, что существенно снижает его помехоустойчивость; в этом отношении больше подходят WirelessHART



Сравнительная характеристика беспроводных коммуникационных технологий

Наименование типа сети	Технология беспроводной передачи данных	Максимальная скорость передачи	Типичная дальность передачи
WPAN	ZigBee WirelessHART ISA 100.11	250 Кбит/с	до 100 м
	Bluetooth	3 Мбит/с	до 100 м
	UWB	480 Мбит/с	10 м
WLAN	Wi-Fi (IEEE 802.11g)	54 Мбит/с	100–300 м
	Wi-Fi (IEEE 802.11n)	320 Мбит/с	30 м
2G	GSM/CSD	9,6 Кбит/с	10–40 км
2.5G	GSM/GPRS	60 Кбит/с	10–40 км
	GSM/EDGE	384 Кбит/с	10–40 км
3G	UMTS	2 Мбит/с	10–40 км
4G, WMAN	WiMAX (IEEE 802.16)	70 Мбит/с	до 50 км

и ISA 100.11. Кроме того, последние две технологии обладают рядом дополнительных преимуществ: они обеспечивают повышенный уровень безопасности и гарантируют выполнение команд в реальном времени [13]. Тем не менее на базе ZigBee организуют промежуточную передачу данных между ШРП с батарейным питанием и ближайшими объектами газораспределительной сети, оснащенными питанием 220 В [14], что, вероятно, связано с недавней ратификацией WirelessHART и ISA 100.11. Спецификация Bluetooth не нашла широкого применения ввиду относительной сложности ее протоколов и малой масштабируемости [13]. В свою очередь, технологии сверхширокополосных (UWB) и WLAN сетей не выгодны с точки зрения энергоэффективности при передаче небольших объемов информации [15].

С учетом вышеназванных особенностей для информационного обмена с верхним уровнем SCADA-системы целесообразно использовать существующую инфраструктуру беспроводной передачи данных мобильных операторов.

Типичное время задержки сети радиодоступа не превышает 1 с [10], что, в принципе, не препятствует организации измерений с регламентированной частотой обновления данных. Между тем сети 4-го поколения характеризуются повышенной масштабируемостью, что существенно снижает риск отказа в обслуживании при увеличении числа абонентов.

Удаленность объекта контроля от ближайшей базовой станции ограничена мощностью и чувствительностью приемопередатчика и может достигать

нескольких десятков километров, что позволяет охватить относительно большую территорию размещения протяженных трубопроводов. Однако на сегодняшний день наибольшую площадь покрытия предоставляют именно сети стандарта GSM, что и привело в конечном итоге к их повсеместному использованию в средствах телеметрии.

#### *Интернет как центральный компонент современных SCADA-систем газораспределения*

В соответствии с [9] измерительная информация о состоянии объекта поступает на пункты управления газораспределительной организации (ГРО), которые также имеют иерархическую структуру. Сюда относятся аварийно-диспетчерские службы районов и центральная диспетчерская служба региональной ГРО. Как правило, доступ к SCADA-системе предоставляется также и самому ее разработчику для выполнения сервисных функций и своевременной реакции на сбои. Таким образом, пространственная распределенность характерна не только для контрольно-измерительных точек, но и для пунктов управления. Взаимодействие АРМ ГРО и служб поддержки со средствами телеметрии и телемеханики осуществляется посредством SCADA-сервера. В отличие от устройств, размещенных на уровне локальных контроллеров, проблем с подключением элементов, составляющих верхний уровень системы, к сетям коммуникации обычно не возникает. Более того, применение находит наиболее универсальный, легкий и экономически рентабельный

способ связи – обмен данными с серверной частью SCADA-системы через сеть Интернет.

Как отмечалось ранее, для передачи данных на верхний уровень используются сети сотовой связи, транслирующие IP-пакеты в Интернет. В результате Интернет становится по существу центральным связующим звеном SCADA-системы (рис. 4). Такое решение нельзя назвать наилучшим с точки зрения безопасности и допустимого времени задержки, однако на данный момент оно фактически позволяет развернуть распределенную систему диспетчеризации и сбора данных (и тем самым значительно повысить безопасность объекта критической инфра-

структуры), избегая целого ряда дополнительных затрат по организации коммуникаций. В защиту отмеченного подхода говорят и многочисленные факты вывода из строя полевого оборудования вредоносными программами, которые проникали на изолированные от Интернета SCADA-системы иными путями [7, 16]. Так или иначе, обсуждение вопроса применения данного компромиссного решения, успешно реализуемого на практике [17], и теоретически возможных альтернатив, встречающих целый ряд препятствий (прежде всего экономического характера) на пути их внедрения, – предмет отдельной дискуссии.



Рис. 4. Структура SCADA-системы на базе сети Интернет

Таким образом, имеет смысл говорить о появлении нового класса SCADA-систем, а именно IP-SCADA [18]. Это системы диспетчеризации и сбора данных, в которых прием-передача и обмен информацией ведутся по IP-протоколу. IP-SCADA характеризуются большой масштабируемостью и неограниченным количеством точек доступа к информации посредством интернет-браузеров.

#### *Проблемы использования сети Интернет для коммуникации элементов SCADA-системы*

Применение Интернета в качестве среды передачи данных позволяет строить экономически эффективные, гибкие, масштабируемые распределенные АСУТП. В то же время идея внедрения сети Интернет в структуру SCADA-систем не лишена недостатков [19], основными из которых являются временная задержка при передаче данных и сравнительно низкая степень их защиты. Кроме этого, разработчики отмечают проблемы обеспечения надежности системы в целом и организации множественного доступа [20]. Решение последней задачи, в принципе, не представляет серьезных затруднений: достаточно установить правила поведения системы в случае коллизии, вызванной попыткой одновременного изменения одно-

го и того же параметра. Надежность системы во многом связана с обеспечением безопасности хранения, обработки и передачи информации. Поэтому наряду с традиционными подходами к повышению надежности: резервированием элементов системы – серверов, каналов связи (путем использования различных операторов и/или технологий передачи данных) – необходимо предусмотреть соответствующие меры защиты информации. Применительно к рассматриваемому типу SCADA-систем специфичной является проблема нейтрализации уязвимостей, вызванных использованием публичной сети передачи данных.

Ниже более подробно освещены две проблемы, указанные ранее как основные.

#### *Задержка передачи данных в Интернете и SCADA-системах на его основе*

Временная задержка передачи информации по сети Интернет в момент времени  $k$  определяется согласно следующей формуле [20]:

$$T(k) = \sum_{i=0}^n \left[ \frac{l_i}{c} + t_i^R + t_i^L(k) + \frac{M}{b_i} \right], \quad (1)$$

где  $l_i$  – длина участка сети между  $i$ -м и  $i+1$  узлами;  $c$  – скорость света;  $t_i^R$  – задержка, связанная с мару-

тизацией на  $i$ -м узле;  $t_i^L(k)$  – задержка, обусловленная нагрузкой  $i$ -го узла;  $M$  – объем передаваемых данных;  $b_i$  – скорость передачи данных через канал между  $i$ -м и  $i+1$  узлами. Ввиду того, что слагаемое  $t_i^L(k)$  зависит от времени поступления пакета на узел, прогнозировать время задержки практически невозможно.

В [20] представлены результаты натурного эксперимента, в ходе которого определялось время задержки передачи сигнала обратной связи через Интернет в системе контроля уровня воды в резервуаре. Для выхода в Интернет использовалось модемное подключение к телефонной линии. При этом отношение объема передаваемых данных к скорости канала, как отмечает автор, достаточно мало (передавались значе-

ния лишь нескольких параметров). Математическое ожидание времени доставки сигнала обратной связи составило 582 мс со средним квадратическим отклонением 461 мс при удалении от объекта контроля на 50 км. В то же время соотношение числа потерянных пакетов к их общему числу оказалось равным 26 к 194. Кроме того, на временном интервале 500 с (при частоте дискретизации 2 Гц) наблюдалась одна задержка, длительность которой превышала 5 с.

В структуру SCADA-систем входят и другие элементы (рис. 4), которые вносят дополнительную задержку. Поэтому представляют интерес результаты, полученные в [21] для оценки времени задержки передачи пакетов посредством GPRS (табл. 4).

Таблица 4

**Таблица распределения вероятностей времени задержки передачи сообщения в направлении «к серверу» по технологии GPRS**

Диапазон времени задержки, с	0–2	2–4	4–6	6–8	>8
Вероятность	0,972	0,019	0,004	0,002	0,003

Для получения интегральной оценки задержки передачи данных от ПЛК до АРМ следует также учесть время, отведенное под шифрование данных на ПЛК и дешифрацию на компьютере оператора. Эти параметры варьируются в зависимости от алгоритма шифрования и вычислительной мощности используемого оборудования и могут достигать нескольких секунд [20].

Как можно заметить, существует достаточно малая вероятность того, что суммарная величина времени задержки превысит 10 с, поэтому такое решение можно считать удовлетворяющим требованиям «с большой долей вероятности». Тем не менее по представленным результатам невозможно предположить, насколько возрастет задержка при увеличении нагрузки на сеть GPRS или узлы сети Интернет. В связи с рассматриваемым аспектом можно высказать следующие рекомендации по повышению надежности системы управления процессом газораспределения:

- использовать две петли управления, причем на нижнем уровне системы частота дискретизации должна быть выше, чем на уровне оперативного управления;
- предусматривать возможность архивирования данных на уровне ПЛК;
- повышать частоту отправки сообщений на пункт управления в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

#### *Основные принципы обеспечения информационной безопасности в SCADA-системах с использованием сети Интернет*

Чем сложнее объект, тем большее количество векторов его атаки существует. Приводить их детальную таксономию и подробно описывать методы борьбы с уязвимостями SCADA-систем в данной статье не представляется возможным, заинтересованный читатель может обратиться к [7, 16].

В то же время следует заметить, что публичные сети уже давно используются для передачи важной информации (например, в системах типа «Клиент – банк» или платежных сервисах). Для обеспечения необходимой степени безопасности в интернет-системах телемеханики целесообразно применять шифрование данных, а также ограничивать уровень доступа пользователей к системам. Существует несколько способов реализации указанной защиты [22]:

- ранжирование уровня доступа пользователей по логину и паролю;
- применение средств аутентификации пользователя по электронным ключам;
- организация виртуальной частной сети (VPN-соединение);
- ограничение множества IP-адресов и доменов, с которых можно получать доступ к системе.

В целях повышения информационной безопасности перечисленные методы следует комбинировать.



*Заключение*

Внедрение АСУТП РГ позволяет:

- осуществлять контроль территориально удаленных объектов в рамках одного «хозяйства» из единого диспетчерского пункта;
- значительно снизить затраты на периодический контроль и обслуживание удаленных объектов;
- обеспечить непрерывный контроль параметров работы всего комплекса оборудования в режиме реального времени.

Использование Интернета в качестве коммуникационной среды органично «вписывается» в архитектуру SCADA-системы распределения газа и несет в себе целый ряд дополнительных преимуществ, таких как:

- легкость развертывания системы при незначительных экономических затратах на коммуникационную инфраструктуру;
- простота интеграции с АСУ различных уровней и, как следствие, повышение эффективности взаимодействия отдельных структур в рамках предприятия (в перспективе рассматривается возможность обмена данными между секторами переработки, передачи, распределения и потребления газовой отрасли в рамках единой сети «Smart grid» [23]);
- снижение расходов на программное обеспечение системы (так называемый SCADA-пакет).

При использовании IP-SCADA в сочетании с многосерверной архитектурой построения системы на стороне клиента не требуется установки никаких дополнительных программ, достаточно наличия веб-браузера и подключения к сети Интернет. Как результат, при увеличении числа АРМ отсутствует необходимость в приобретении лицензии на дополнительные терминалы (в отличие от SCADA-пакетов, выполненных в виде отдельных клиентских приложений). По соотношению «цена/качество» IP-SCADA представляется оптимальным вариантом решения задачи диспетчерского управления газораспределительной сети.

Вместе с тем основная проблема на пути внедрения данного подхода заключается в обеспечении соответствующего уровня защиты информации. Количество векторов атаки на систему, в структуру которой входит сеть Интернет, отличается в большую сторону по сравнению с аналогичным параметром для изолированной SCADA-системы, что требует более тщательного подхода к вопросам безопасности и ее оценки в терминах риска для той или иной разработки. Без подобных исследований невозможно утверждать, что любая изолированная от Интернета конфигурация системы является более предпочтительной, нежели рассмотренная выше

(примером тому может служить вирус Stuxnet, который был занесен в защищенную систему с USB-накопителем). Авторы признают компромиссный характер предложенного варианта, отмечая при этом, что на сегодняшний день вопросы обеспечения безопасности SCADA-систем, независимо от их конкретной реализации, остаются открытыми.

*Список литературы*

1. *Mokhatab S.* Handbook of natural gas transmission and processing [Text] / S. Mokhatab, W.A. Poe, J.S. Speight. – Elsevier, 2006. – 636 p.
2. *СНУП 42-01-2002.* Газораспределительные системы [Текст]. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 33 с.
3. *Технические требования* ОАО «Газпромрегионгаз» к системам телемеханики объектов газораспределительных сетей: [утверждены приказом ОАО «Газпромрегионгаз» № 451 от 27.09.2010 г.] [Текст]. – СПб., 2010. – 20 с.
4. *Андреев Е.Б.* Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: учебное пособие для вузов [Текст] / Е.Б. Андреев, А.И. Ключников, А.В. Кротов, В.Е. Попадько, И.Я. Шарова. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 399 с.
5. *Crabtree M.A.* Industrial flow measurement: M. Sc. thesis [Text] / M.A. Crabtree. – University of Huddersfield, 2009. – 244 p.
6. *СТО Газпром 5.32-2009.* Обеспечение единства измерений. Организация измерений природного газа [Текст]. – М.: ООО «Газпром экспо», 2010. – 90 с.
7. *Stouffer K.* Guide to industrial control systems security [Text] / K. Stouffer, J. Falco, K. Scarfone. – NIST special publication 800-82. – 2011. – 155 p.
8. *Galloway B.* Introduction to Industrial Control Networks [Text] / B. Galloway, G.P. Hancke // IEEE Communications Surveys and Tutorials. – 2012. – Vol. PP. – Issue 99. – P. 1–21.
9. *Унифицированные технические решения* для создания АСУ ТП объектов газораспределительных сетей: [утверждены приказом ОАО «Газпромрегионгаз» № 121 от 01.03.2011 г.] [Текст]. – СПб., 2011. – 39 с.
10. *Akyol B.A.* A survey of wireless communications for the electric power system. PNNL-19084 [Text] / B.A. Akyol, H. Kirkham, S.L. Clements, M.D. Hadley. – WA, Richland: Pacific Northwest National Laboratory. – 2010. – 73 p.
11. *Zahurul H.* Advanced topics in measurements [Text] / H. Zahurul. – InTech, 2012. – 400 p.
12. *Васютинский В.* Системы коммерческого учета и сбора данных существующей газовой инфраструктуры: шаг к эффективному распоряжению ресурсами [Текст] / В. Васютинский, А. Ткалич // Сфера нефтегаз. – 2010. – № 3. – С. 28–30.

13. *Ikrum W., Thornhill N.F.* Wireless communication in process automation: a survey of opportunities, requirements, concerns and challenges [Electronic resource] // Proceedings of UKACC International Conference on CONTROL. – Coventry, UK, 2010. – URL: [http://ns.controlssystemworld.com/papers/IkrumThornhill\\_Control2010\\_Sept2010-1.pdf](http://ns.controlssystemworld.com/papers/IkrumThornhill_Control2010_Sept2010-1.pdf) (дата обращения: 05.02.2013).

14. *Миденко М.А., Заручевный Р.В., Косого-ров А.А.* Инновационные технологии в ГРО [Текст] / М.А. Миденко, Р.В. Заручевный, А.А. Косогоров // Газ России. – 2009. – № 2. – С. 30–33.

15. *Lee J.Sh.* A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi [Text] / J.Sh. Lee, Yu.W. Su, Ch.Ch. Shen // Proceedings of the 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON). – Taipei, Taiwan, 2007. – PP. 46–51.

16. *Knapp E.D.* Industrial network security: securing critical infrastructure networks for Smart Grid, SCADA and other industrial control systems [Text] / E.D. Knapp. – Syngress, 2011. – 360 p.

17. *Юнусов А.Р.* Автоматизация и телемеханизация ТП на базе Internet-программирования: опыт внедрения в ОАО «Газ-сервис» [Текст] / А.Р. Юнусов // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 2. – С. 43–45.

18. *Патент № 2455768 РФ, МПК7 H04H60/76.* Способ телемеханического контроля и управления удаленными объектами с использованием канала

связи GSM GPRS, единого сервера телемеханики и телемеханическая система для его реализации [Текст] / К.В. Балаба, В.Е. Балахонцев, А.К. Еникеев, А.Р. Юнусов; заявитель и патентообладатель ООО «УфаСистемаГаз». – № 2010121634/08; заявл. 27.05.10; опубл. 10.07.12, бюл. № 19. – 16 с.

19. *Форбс Б.* Десять ошибок при построении SCADA на базе технологий Интернета [Текст] / Б. Форбс // Мир компьютерной автоматизации. – 2012. – № 2. – С. 60–65.

20. *Yang S.H.* Internet-based Control Systems: Design and Applications [Text] / S.H. Yang. – Springer, 2011. – 224 p.

21. *Fornasa M., Zingirian N., Maresca M.* Extensive GPRS latency characterization in uplink packet transmission from moving vehicles [Text] / M. Fornasa, N. Zingirian, M. Maresca // Proceedings of vehicular technology conference. – Singapore, 2008. – P. 2562–2566.

22. *Юнусов А.Р.* Автоматизация и телемеханизация процесса газораспределения без применения традиционных SCADA-пакетов (опыт ОАО «Газ-сервис») [Текст] / А.Р. Юнусов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2010. – № 12. – С. 8–12.

23. *Smart grid aspects related to gas: deliverable of EU commission task force for smart grids, expert group 4* [Text]. – 2011. – 27 p.



**Кушнир В.Г.**

**Kushnir V.G.**

*доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой Костанайского государственного  
университета им. А. Байтурсынова,  
Республика Казахстан, г. Костанай*

УДК 621.668

## ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИТОКА ВОДЫ В МАЛОДЕБИТНЫЕ ВОДОИСТОЧНИКИ

Для механизации водоснабжения необходимы подробные исследования водоисточника, основой является его дебит. Необходимо знать текущий дебит несовершенного водоисточника, водоприемная часть которого не полностью вскрывает водоносный горизонт до водоупора водоисточника в первом приближении. Обработка научных исследований будет облегчена с программой для моделирования притока воды.

*Ключевые слова:* водоснабжение, водоисточник, приток воды, моделирование, программа, дебит.