

ОТЧЕТ

**«Унификация информационного обмена в
системах жизнеобеспечения интеллектуальных
зданий»**

РЕФЕРАТ

Отчет 181 с., 11 рис., 14 табл., 27 источников.

ПРОТОКОЛ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ, ФОРМАТ ДАННЫХ, ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА, ИНТЕРФЕЙС, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЗДАНИЕ, УМНЫЙ ГОРОД, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, ИНФОРМАЦИОННО – КОММУНИКАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА.

Объектом исследования являются протоколы обмена информацией и форматы данных применяемых для интеллектуальных зданий в составе «умного города».

В НИР выполнены следующие работы:

- 1) Анализ существующих устройств, применяемых в решениях для инженерных и иных систем интеллектуальных зданий, их классификация, определение состава и объема передаваемой информации, требований к качеству ее представления и передачи.
- 2) Анализ существующих технологий, форматов и протоколов обмена данными в устройствах инженерных и иных систем интеллектуального здания, технических решений, применяемых для организации информационного обмена.
- 3) Выявление существующих проблем и имеющихся недостатков в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных и иных системах здания.
- 4) Формирование системы требований (показателей и критериев выполнения) и обоснование обобщенного подхода к унификации информационного обмена.
- 5) Разработка детальной концепции унификации информационного обмена устройств инженерных и иных систем, включая возможные подходы и обобщенные технические требования.
- 6) Разработка рабочего варианта формата представления данных и регламента информационного обмена устройств инженерных и иных систем интеллектуального здания.

Методология исследования заключается в поиске информации, ее анализе, сравнении и обобщении, выявлении общих и частных взаимосвязей, синтезе выводов, прогнозе вероятного развития ситуации в области унификации форматов данных и протоколов информационного обмена в интеллектуальных зданиях.

Результаты работы могут быть использованы Министерством связи и информатизации Республики Беларусь при разработке СТБ по унификации протоколов обмена информацией и форматов данных, применяемых в интеллектуальных зданиях.

Экономическая эффективность будет достигнута путем сокращения затрат на разработку и внедрение информационно-управляющих систем интеллектуальных зданий, а также минимизации затрат на развитие «умного города» за счет применения унифицированных протоколов обмена информацией и форматов данных, применяемых в интеллектуальных зданиях.

Социальная значимость заключается в повышении уровня удовлетворения потребностей населения в области жизнеобеспечения, оптимизации деятельности органов государственного управления, организаций ЖКХ, прежде всего в части оперативного реагирования на аварийные ситуации.

Содержание

РЕФЕРАТ	2
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
1 Анализ существующих устройств, применяемых в решениях для инженерных и иных систем интеллектуальных зданий, их классификация, определение состава и объема передаваемой информации, требований к качеству ее представления и передачи	11
1.1 Общие сведения об инженерных системах интеллектуальных зданий	11
1.2 Сенсоры инженерных систем интеллектуальных зданий.....	12
1.3 Исполнительные устройства инженерных систем интеллектуальных зданий	15
2 Анализ существующих технологий, форматов и протоколов обмена данными в устройствах инженерных и иных систем интеллектуального здания, технических решений, применяемых для организации информационного обмена	17
2.1 Технологии передачи данных в инженерных системах интеллектуального здания..	17
2.2 Анализ протоколов передачи и форматов представления данных с использованием выделенной проводной линии	17
2.3 Анализ протоколов передачи и форматов представления данных с использованием беспроводного интерфейса.....	28
2.4 Технология PLC.....	30
2.5 Протоколы передачи данных на основе Ethernet	31
2.6 Форматы передачи данных	35
3 Выявление существующих проблем и имеющихся недостатков в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных и иных системах здания	40
4 Формирование системы требований (показателей и критериев выполнения) и обоснование обобщенного подхода к унификации информационного обмена	41
4.1 Общие требования	41
4.2 Архитектура информационно-управляющей системы интеллектуального здания....	41
4.3 Система требований к унификации информационного обмена	44
4.4 Требования к формату представления данных	50
5 Разработка детальной концепции унификации (форматов и протоколов) информационного обмена верхнего уровня в инженерных системах интеллектуальных зданий	51
5.1 Общие принципы унификации	51
5.2 Перечень унифицируемых параметров	51
6 Разработка рабочего варианта формата представления данных и регламента информационного обмена устройств инженерных и иных систем интеллектуального здания	54
6.1 Формат передаваемых сообщений	54
6.2 Протокол обмена сообщениями.....	56
6.3 Обеспечение безопасности передаваемых данных.....	57
Выводы	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	61
Приложение А	63
Приложение Б	67
Приложение В	70

Приложение Г	79
---------------------------	-----------

Перечень рисунков и таблиц

Таблицы

Таблица 1 – Типы данных протокола Modbus	18
Таблица 2 – Структура данных фрейма HART	21
Таблица 3 – Модель OSI протокола M-Bus	27
Таблица 4 – Режимы WM-Bus	29
Таблица 5 – Перечень команд, ответных сообщений и параметров технологического режима.....	53
Таблица А.1 – Сенсоры	63
Таблица Б.1 – Исполнительные устройства	67
Таблица В.1 – Параметры, передаваемые от всех типов устройств	70
Таблица В.2 – Данные, передаваемые от измерительных сенсоров	71
Таблица В.3 – Данные, передаваемые от сенсоров фиксации ситуаций	75
Таблица В.4 – Команды управления рабочего режима для исполнительных устройств.....	76
Таблица В.5 – Команды управления технологического режима	76
Таблица Г.1 – Перечень вредных веществ для анализаторов газового состава воздуха	79

Рисунки

Рисунок 1 – Кадр данных CAN 2.0А.....	25
Рисунок 2 – Информационно – коммуникационная инфраструктура многоквартирного дома	42
Рисунок 3 – общие принципы реализации IoT	43
Рисунок 4 – Референсная архитектура IoT и области унификации	43
Рисунок 5 – Классическое построение IoT (архитектура клиент – сервер)	44
Рисунок 6 – Сервисно-ориентированная архитектура IoT (с выносом блока управления на объект)	44
Рисунок 7 – Сообщение как объект JSON	54
Рисунок 8 – Варианты передаваемого значения.....	54
Рисунок 9 – Представление строки.....	55
Рисунок 10 – Представление массива	55
Рисунок 11 – Представление числа	56

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о проделанной работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

протокол обмена информацией – совокупность стандартных правил, описывающих единую для пользователей данной сети структуру представления информации и механизмы обмена ею между узлами сети;

формат данных – порядок расположения символов и значений данных, позволяющий распознавать их составные части;

интерфейс – общая граница между двумя функциональными объектами, требования к которой определяются стандартом; совокупность средств, методов и правил взаимодействия (управления, контроля и т.д.) между элементами системы;

жизнеобеспечение – комплекс мероприятий, направленных на создание и поддержание условий, необходимых для сохранения жизни, здоровья и работоспособности людей;

обитаемость – совокупность факторов, характеризующих условия жизнедеятельности человека, обеспечивающих надежность деятельности и сохранение здоровья в любой открытой или замкнутой экологической системе;

физический уровень – нижний уровень модели OSI, который определяет метод передачи данных, представленных в двоичном виде, от одного устройства (компьютера) к другому;

канальный уровень – уровень модели OSI, предназначен для обеспечения взаимодействия сетей на физическом уровне и контроля за ошибками, которые могут возникнуть;

уровень приложений – верхний уровень модели OSI, обеспечивающий взаимодействие пользовательских приложений с сетью;

среда передачи данных – физическая субстанция, по которой происходит передача (перенос) той или иной информации (данных) от источника (передатчика, отправителя) к приемнику (получателю) с помощью сигналов.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АИС	Автоматизированная информационная система
АИУС	Автоматизированная информационно – управляющая система
АСКУЭ	Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии
ГОСТ	Государственный стандарт
ЖКХ	Жилищно-коммунальное хозяйство
ИК	Инфракрасный
ИС	Информационная система
ИУС	Информационно – управляющая система
МЭК	Международная электротехническая комиссия
НИР	Научно-исследовательская работа
ПО	Программное обеспечение
СТБ	Стандарт Республики Беларусь
ТБО	Твердые бытовые отходы
ТНПА	Технический нормативно-правовой акт
УСПД	Устройство сопряжения и передачи данных
BLE	Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy)
Ethernet	Локальная сеть – семейство технологий пакетной передачи данных между устройствами для компьютерных и промышленных сетей
GPON	Высокоскоростная технология пассивной передачи данных по оптическому кабелю
GSM	Глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени и частоте (Global System Mobile Communication)
IEEE	Институт инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
Industrial Ethernet	Ethernet для применения в промышленности
IoT	Интернет вещей (Internet of Things)
IP	Интернет-протокол (Internet Protocol)
LoRaWAN	Технология беспроводной передачи данных

NB-IoT	Стандарт сотовой связи для устройств с низкими объемами обмена данными (Narrow-Band Internet of Things)
NRZ	Код передачи (без возврата к нулю)
OD	Объектная база данных (Object Database)
OSI	Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем (open systems interconnection basic reference model)
SRD	Устройства малого радиуса действия (Short Range Device)
TCP	Протокол управления передачей (Transmission Control Protocol)
TCP/IP	Сетевая модель передачи данных, представленных в цифровом виде (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)

ВВЕДЕНИЕ

Задача унификации формата данных и протокола информационного обмена в системах жизнеобеспечения интеллектуальных зданий является одним из элементов цифровизации экономики [1] и должна решаться с применением системного подхода.

Системный подход подразумевает рассмотрение объекта исследования как системы (целостного комплекса взаимосвязанных элементов), являющегося, в свою очередь, элементом системы более высокого уровня [2].

Формат представления данных и протокол их передачи определяют алгоритмы функционирования ПО [3], под которым понимается совокупность программ, процедур, правил и соответствующей документации системы обработки информации.

Международное определение термина «формат» есть «языковая конструкция, которая задает представление в форме символа объектов данных в записи, файле, сообщении, устройстве хранения или канале передачи» [3]. Аналогично, под значением термина «протокол» понимается «набор правил, который определяет поведение объектов при обмене сообщениями», либо «набор семантических и синтаксических правил, определяющих поведение объектов на одном уровне при выполнении функции связи» [4]. Соответственно, научно-техническое обоснование требований к протоколам и форматам передаваемых данных при информационном обмене в системах жизнеобеспечения интеллектуальных зданий подразумевает учет: структуры АИС и выполняемых ею функций с учетом перспектив развития; свойств подсистемы жизнеобеспечения; свойств системы связи, интерфейса и параметров сенсоров и исполнительных устройств, требований к параметрам собираемых данных и управляющих воздействий.

Целью унификации формата данных и протокола информационного обмена в системах жизнеобеспечения интеллектуальных зданий является сокращение стоимости разработки, внедрения и эксплуатации информационно-управляющих систем, реализующих функции жизнеобеспечения интеллектуального здания.

Исходными данными для унификации формата данных и протокола дистанционного считывания показаний средств измерений и учета являются результаты выполнения НИР «Разработка структуры, принципов взаимодействия и технических требований к унифицированной системе управления, контроля и учета информации инженерных систем интеллектуальных зданий», СТБ 2559 – 2019, а также сведения:

- о структуре и функциях предполагаемой АИУС интеллектуального здания;
- характеристиках сенсоров и исполнительных устройств, которые могут найти применение в системе жизнеобеспечения интеллектуального здания;
- свойствах уже применяемых интерфейсов и протоколов обмена данными в системе жизнеобеспечения интеллектуального здания;
- требованиях к составу и параметрам считываемых данных;
- требованиях к составу и параметрам управляющих воздействий на исполнительные устройства.

В ходе выполнения работы должны быть решены следующие задачи:

- проведение анализа перечисленных выше исходных данных с учетом перспектив развития;
- выявление существующих проблем и имеющихся недостатков в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных и иных системах здания;
- разработка детальной концепции унификации информационного обмена устройств инженерных и иных систем, включая возможные подходы и обобщенные технические требования;
- разработка рабочего варианта формата представления данных и регламента информационного обмена устройств инженерных и иных систем интеллектуального здания.

Наиболее перспективными областями применения результатов работы являются информационно-управляющие системы в сфере ЖКХ и различных отраслей административных зданий, а также в системах «умного города».

1 Анализ существующих устройств, применяемых в решениях для инженерных и иных систем интеллектуальных зданий, их классификация, определение состава и объема передаваемой информации, требований к качеству ее представления и передачи

1.1 Общие сведения об инженерных системах интеллектуальных зданий

Исходя из понимания жизнеобеспечения как комплекса градостроительных, социально-экономических, хозяйственно-бытовых, медико-профилактических мероприятий [5], для описания его качества целесообразно использовать комплексное свойство «обитаемость» [6]. Различают физические, химические, биологические, психологические и эстетические факторы обитаемости, каждый из которых включает несколько компонент, количественно характеризуемых соответствующими частными показателями. На совокупность частных показателей накладывается система ограничений, определяющих четыре уровня нормирования:

- **Нормы коммунальной гигиены.** Обеспечивают постоянно оптимальные условия для работы человека (жилище, место постоянной работы и т. п.);
- **Эксплуатационные нормы.** Обеспечивают безвредные для здоровья человека условия работы на определенный срок пребывания в данных условиях;
- **Предельно-допустимые нормы.** Обеспечивают эпизодическое пребывание, (как правило, не очень продолжительное) человека в экстремальных условиях. Допускается временное снижение работоспособности;
- **Предельно-переносимые нормы.** Обеспечивают жизнь человека при минимальной трудовой деятельности, (как правило, не очень продолжительное время).

Значения частных показателей обитаемости определяются совокупностью внешних (воздействие окружающей среды, свойства здания, мебель и иная обстановка в помещениях, метаболизм человека, работа технических средств и др.) и внутренних (функционирование инженерных и иных систем здания) факторов. Именно для поддержания значений частных показателей обитаемости в требуемом (комфортном) диапазоне и предназначены инженерные и иные системы зданий. В состав подобных систем входят сенсоры (источники данных), исполнительные устройства (потребители данных и команд) и локальные подсистемы управления (контроллеры). Сенсоры и исполнительные устройства могут находиться в одном из режимов работы:

- рабочий (функционирование системы интеллектуального здания происходит нормально, согласно заданным алгоритмам);
- технологический (производятся операции по установке/деинсталляции устройств, настройке отдельных устройств или системы в целом);
- аварийный.

Информационный обмен в указанных режимах различается протоколами обмена, составом команд и данных.

1.2 Сенсоры инженерных систем интеллектуальных зданий

Классификация сенсоров соответствует факторам обитаемости, при этом один сенсор может измерять значение одного или нескольких параметров обитаемости, функционировать как самостоятельное устройство или входить в состав комплекса, включающего, в том числе исполнительные устройства и/или контроллеры.

Физические факторы обитаемости включают:

1. Электромагнитные:

статические поля:

- электрические;
- магнитные;

электромагнитные излучения:

- ионизирующие;
- ультрафиолетовые;
- видимый свет;
- инфракрасные;
- радиочастотные.

2. Физические свойства воздушной среды:

микrokлиматические:

- температура воздуха;
- влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;

прочие характеристики воздуха:

- уровень и перепады давления воздуха;
- степень ионизации воздуха;
- содержание нетоксичной пыли.

3. Механические:

шумы:

- инфразвуковые (менее 16 Гц);
- слышимого диапазона (16 – 20 000 Гц);
- ультразвуковые (свыше 20 000 Гц);

вибрации:

- общие;
- местные;

ускорения:

- силы тяжести;
- радиальные;
- линейные;

деформации:

- повреждения конструкции;
- наклона конструкции.

4. Параметры потребляемых ресурсов и удаления отходов:

электроснабжения:

- водоснабжения;
- теплоснабжения;
- газоснабжения;
- канализации;
- ТБО.

Параметры потребляемых ресурсов и информационный обмен в данной области регламентируется СТБ 2559 – 2019 [7].

Химические факторы обитаемости включают:

1. Естественный газовый состав воздуха:

- содержание O₂;
- содержание CO₂.

2. Вредные примеси воздуха.

Производственные примеси.

- пары горюче-смазочных материалов;
- испарения и аэрозоли технических жидкостей;
- пыль и пары тяжелых металлов (ртуть, свинец и т.п.) и их соединений;
- пары хладагентов;
- испарения средств санитарии;
- прочие.

Продукты сгорания и пиролиза;

- выхлопные газы;
- альдегиды и кетоны;
- сложные продукты пиролиза.

Продукты метаболизма и бытовые газы.

- CO₂;
- аммиак;
- сероводород;
- акролеин (продукт сгорания жира);
- амины;
- фенолы;
- испарения средств личной гигиены и косметики;
- прочие.

Биологические факторы обитаемости включают:

1. Макроорганизмы (многоклеточные растения и животные в т.ч. грызуны, насекомые, паукообразные и черви).
2. Микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие).

К **психологическим факторам обитаемости** интеллектуального здания можно отнести:

1. Техногенные чрезвычайные ситуации:
 - затопление помещения вследствие протечки кровли или аварии водоснабжения;
 - пожар или задымление;
 - утечку природного газа.
2. Антропогенные:
 - несанкционированное проникновение посторонних в помещение;
 - санкционированное наличие людей в помещении.

Эстетические факторы обитаемости в настоящее время неформализуемы, и, как следствие, лежат вне области функционирования систем интеллектуальных зданий.

Биологические факторы обитаемости в настоящее время не поддаются определению распространенными техническими средствами, учет их в данной работе нецелесообразен.

Полное множество сенсоров систем жизнеобеспечения интеллектуальных зданий должно обеспечивать возможность мониторинга значений всех описанных выше параметров факторов обитаемости в реальном масштабе времени. Данные от сенсоров могут быть представлены в одном из трех видов шкал [8]:

- **дихотомической** – результат имеет возможные значения «Да» (1, т.е. присутствует или находится вне допуска) либо «Нет» (0, т.е. отсутствует или находится в допустимых пределах);
- **интервальной** – возможные значения лежат в пределах возможного фиксированного интервала (разбитого на равные участки), естественная точка отсчета не определена (нуль условен и не указывает на отсутствие измеряемого параметра);

- **отношений** – значения измеряются в известных единицах измерения с определенной точностью, нуль фиксирован и означает полное отсутствие измеряемого параметра.

В соответствии с типом используемой шкалы данные от сенсора могут иметь размер от 1 бита до нескольких значащих цифр. При отсутствии накопления измеряемых значений как правило достаточно 3-х значащих цифр (возможно в сопровождении знака величины или десятичного символа разделителя порядка).

Режимы выдачи сообщений сенсорами:

- **периодический**, данные выдаются через установленные равные интервалы времени (без привязки к дате и времени суток);
- **регламентированный**, данные выдаются в установленные регламентом моменты времени;
- **событийный**, данные выдаются при наступлении события либо при изменении значения параметра на установленную величину.

В целях удобства отладки (настройки, устранения неисправностей и т.п.) систем целесообразно сопровождать выдаваемые в десятичном формате данные символьным идентификатором параметра, который однозначно воспринимается персоналом.

Передаваемые данные должны передаваться надежно и без искажений, что обеспечивается протоколами транспортного уровня. Время передачи сообщения ($T_{пер}$) не должно оказывать статистически значимого влияния на функционирование АИУС, т.е. должно выполняться условие:

- $T_{пер} \leq 50...300$ мс для охранного и тревожного сенсора;
- $T_{пер} \leq 250...1200$ мс для пожарного сенсора;
- $T_{пер} \leq 1...3$ с для прочих аварийных сенсоров;
- $T_{пер} \leq 3...30$ с для остальных сенсоров систем жизнеобеспечения.

Перечень типов сенсоров и примерный состав выдаваемых ими данных в рабочем режиме приведен в приложении А.

1.3 Исполнительные устройства инженерных систем интеллектуальных зданий

Исполнительные устройства жизнеобеспечения интеллектуального здания образуют:

основные подсистемы:

- водоснабжение;
- водоотведение (канализация);
- электроснабжение;
- газоснабжение;

- отопление;
- вентиляция (в т.ч. кондиционирование и фильтрация воздуха);

дополнительные подсистемы:

- противопожарной защиты;
- охранная;
- освещения (мест общего пользования, придомовой территории и т.п.).

Перечень типов исполнительных устройств и примерный состав принимаемых ими в рабочем режиме команд приведен в приложении Б. Анализ возможных состояний исполнительных устройств и необходимых команд управления показывает, что условно все команды управления можно разбить на три группы:

- включения / выключения;
- установки состояния регулятора (в требуемое положение);
- установки состояния (требуемого значения) регулируемого параметра.

Взаимодействие исполнительных устройств с управляющей подсистемой осуществляется путем выдачи устройствами сообщений о своем состоянии и приеме команд в сопровождении данных [7]. Команды управления указывают на тип операции, которую должно выполнить исполнительное устройство, а данные конкретизируют свойство выполняемой операции. Для команд вида «включить – выключить» (установить – снять режим) данные могут отсутствовать либо содержать новые значения слова состояния исполнительного устройства. Для команд «изменить состояние на ..» данные характеризуют величину инкремента (декремента). Для команд «установить состояние» данные содержат новое значение состояния (положения регулятора). Размер передаваемых данных в любом случае не превышает длину слова состояния или длину кода положения регулятора, т.е. составляет несколько байт.

Время передачи сообщения не должно оказывать статистически значимого влияния на функционирование АИУС, т.е. должно выполняться условие:

- $T_{\text{пер}} \leq 1...3$ с для исполнительных устройств, осуществляющих включение или отключение чего-либо (в т.ч. в случае аварии);
- $T_{\text{пер}} \leq 3...30$ с для исполнительных устройств систем жизнеобеспечения, осуществляющих регулирование чего-либо.

Режимы выдачи команд исполнительным устройствам определяется алгоритмами работы АИУС интеллектуального здания.

Таким образом, с учетом приведенной классификации сенсоров и исполнительных устройств систем жизнеобеспечения интеллектуальных зданий определен перечень данных и команд, передаваемых в рабочем режиме.

2 Анализ существующих технологий, форматов и протоколов обмена данными в устройствах инженерных и иных систем интеллектуального здания, технических решений, применяемых для организации информационного обмена

2.1 Технологии передачи данных в инженерных системах интеллектуального здания

В инженерных системах интеллектуального здания могут применяться беспроводные и проводные технологии передачи данных:

- беспроводные дальнего радиуса действия (LoRaWAN, NB-IoT и др.);
- беспроводные ближнего радиуса действия (BLE, Wi-Fi, ZigBee и др.);
- проводные по выделенным медным линиям (Ethernet, CAN, M-Bus, RS-232, RS-485 и др.);
- по линиям электропитания (PLC).

В связи с особенностями архитектуры информационной сети интеллектуального здания применение беспроводных технологий дальнего радиуса действия нецелесообразно. Применение технологии PLC ограничивает высокая стоимость оборудования и наличие помех в сети питания от различных устройств. Применение Ethernet требует прокладки более дорогих, в сравнении с альтернативными технологиями, кабельных линий, при этом основное преимущество (скорость передачи данных) не востребовано.

2.2 Анализ протоколов передачи и форматов представления данных с использованием выделенной проводной линии

Полевая шина на базе медного кабеля, как правило, использует двухпроводный кабель типа «витая пара» с экранированием, например, стандартный телефонный (JYStY N*2*0.8 mm). Преимущества: низкая цена; удобство прокладки и выполнения физических соединений. Недостатки: подвержен влиянию электромагнитных наводок; ограничена протяженность линий; меньшая по сравнению с оптоволоком полоса пропускания.

Управление передачей данных на физическом уровне выполняется с использованием проприетарных протоколов или интерфейсов промышленных сетей:

Modbus – распространенный открытый стандарт промышленных сетей;

P-NET – электрическая спецификация P-NET для стандарта RS-485;

LIN – интерфейс для автомобильных систем;

HART – стандарт передачи данных через токовую петлю 4-20мА;

Profibus – промышленная сеть, международный стандарт, созданный Siemens AG и его аналог FF H1, разработанный Foundation Fieldbus;

AS-Interface – дешевая и помехозащищенная сеть для низкоскоростных дискретных датчиков;

CC-Link – семейство промышленных сетей разработки корпорации Mitsubishi Electric;

CAN – спецификация физического и транспортного уровней промышленной сети для автоматизации транспорта и машиностроения.

M-Bus – стандарт физического уровня и коммуникационный протокол. Разработан для приборов учета электрической энергии, тепловой энергии, расходомеров воды и газа.

Особенности указанных протоколов и используемых ими форматов представления данных рассмотрены ниже.

2.2.1 Протокол Modbus

Modbus открытый и массово используемый протокол, в настоящее время практически все промышленные системы контроля и управления имеют программные драйверы для работы с Modbus [9]. Разработан Modbus в 1979 г. С учетом потребностей и вычислительных возможностей того времени, соответственно многие актуальные для современных промышленных сетей вопросы не учтены.

Стандарт специфицирует метод передачи только двух типов данных (таблица 1).

Таблица 1 – Типы данных протокола Modbus

Тип данных	Размерность данных	Тип доступа
Дискретные входы (Discrete Inputs)	один бит	только чтение
Регистры флагов (Coils)	один бит	чтение и запись
Регистры ввода (Input Registers)	16-битное слово	только чтение
Регистры хранения (Holding Registers)	16-битное слово	чтение и запись

С другими типами данных сторонние производители MODBUS-решений поступали по своему усмотрению, что привело к несовместимости оборудования от различных производителей.

Пакет данных в Modbus выглядит следующим образом:

Адрес | Код функции | Данные | Контрольная сумма

«Адрес» – это поле, содержащее уникальный номер устройства, которому адресован запрос. Ведомое устройство в своем ответе так же посылает поле «Адрес», кроме широковещательного запроса (ответ ведомого отсутствует).

«Код функции» содержит номер функции (запрос данных или команда). Коды функций являются числами в диапазоне от 1 до 127. Функции с номерами от 125 до 127 являются зарезервированными для пересылки в ответном сообщении информации об ошибках.

В поле «Данные» содержится передаваемая информация и, при необходимости, уточнение функции. Длина поля «Данные» зависит от типа передаваемых данных, но не более 252 байт.

Поле «Контрольная сумма» содержит информацию для проверки целостности сообщения и отсутствия ошибок передачи.

Недостатки Modbus:

- стандарт не регламентирует начальную инициализацию системы. назначение сетевых адресов и прописывание в системе параметров каждого конкретного устройства выполняются вручную на этапе адаптации и программирования системы;
- не предусмотрена передача сообщений по инициативе подчиненного устройства (прерываний), ведущее устройство должно периодически опрашивать ведомые;
- длина запроса ограничена, а данные могут быть запрошены только из последовательно расположенных регистров, что увеличивает задержки, так как для получения данных из регистров, расположенных далеко друг от друга в адресном пространстве, мастер должен либо запрашивать ненужные данные, либо использовать несколько запросов;
- не предусмотрен способ, с помощью которого подчиненное устройство могло бы обнаружить потерю связи с ведущим.

2.2.2 Протокол P-NET

Электрическая спецификация P-NET основана на стандарте RS-485, использующем защищенную витую пару длиной до 1200 м без повторителей с подключением до 125 устройств [10]. Данные передаются асинхронно в NRZ коде.

P-NET входит в IEC 61158 (многофункциональный стандарт промышленных сетей) и предназначена для соединения компьютера, датчиков, исполнительных устройств, устройств ввода-вывода, центрального и периферийного контроллеров и т. д. двухпроводной линией в двунаправленную шину с несколькими мастерами (до 32-х) для передачи числовых величин. Все мастера получают доступ к шине методом «передачи виртуального маркера», когда интервал простоя шины определяет приоритет (номер) мастера.

Для конфигурирования устройств P-NET используется специализированное ПО «VIGO».

Кадр протокола P-NET состоит из следующих полей:

Адрес;

Control Status – управляющая информация (команда или ответ);

Len – длина информационного поля;

Info – информационное поле;

CRC – контрольная сумма.

Данные, передаваемые по сети, могут быть простого или комплексного типа, чтобы удовлетворять требованиям измерения и контроля. Простой тип включает булевы переменные, байты, символы, слова, целые, длинные целые, действительные и длинные действительные и время. Комплексные тип включает строковые переменные, записи и буферные переменные. Формат данных является частью стандарта P-NET.

Номенклатура поддерживающих аппаратных средств ограничена.

2.2.3 Протокол LIN

Объектно-ориентированный (адресует не устройства, а функции) протокол, позволяющий одним сигнальным проводом длиной до 40 м соединять до 16 узлов, имеющих единый общий провод [11]. Является дешевым дополнением к сверхнадежному протоколу CAN для объединения многофункциональных низкоскоростных элементов, не требующих гарантированного надежного подключения. Стандарт LIN включает технические требования на протокол и на среду передачи данных. Основан на стандарте ISO 9141-1 (K-Line) с использованием асинхронного интерфейса (UART) при допустимой скорости от 1 до 20 кбод, формат посылки 8N1.

Обмен данными производится пакетами по инициативе мастера, передающего заголовок пакета (синхробайт и идентификатор), содержащий длину данных и тип сообщения. Типы сообщений, передаваемых мастером или ведомым после заголовка, предопределены спецификацией протокола или запрограммированы разработчиком устройств. Завершается пакет контрольной суммой (1 байт).

К недостаткам протокола можно отнести малую дальность, необходимость общего провода, объектную ориентированность.

2.2.4 Протокол HART

HART разработан американской компанией Rosemount, в 1986 году стал открытым стандартом. С 2014 года, после слияния Fieldbus Foundation и HART Communication Foundation, спецификации HART поддерживаются FieldComm Group [12]. Политика распространения официальных спецификаций предусматривает либо членство в стандартизирующей организации, либо покупку бумажных копий стандарта.

Физический уровень HART выполнен поверх токовой петли стандарта 4-20 мА. Данные передаются фазовой модуляцией тока амплитудой $\pm 0,5$ мА, несущая 3200 Гц, постоянная составляющая недопустима. При этом спектр аналогового сигнала токовой петли должен быть ограничен до 25 Гц. Минимальное сопротивление источника питания линии (приемника сигнала 4-20 мА) 230 Ом. Таким образом, питание датчика, снятие его первичных показаний и вторичной информации осуществляется по двум проводам.

При использовании кабеля сечением 0,8 мм² допустимо подключение к мастеру до 15 ведомых приборов на линии протяженностью до 708 м (в версии HART 6 адресация устройств расширена до 38 бит, что позволяет адресовать устройства по их уникальным номерам). Протокол допускает наличие двух управляющих устройств (Primary Master и Secondary Master). Второй мастер может функционировать в качестве контрольно-настроечного терминала, позволяющего получить доступ к приборам без отключения или иного нарушения работы оборудования. Допускается «горячее» подключение второго мастера.

Обмен ведется сообщениями, содержащими преамбулу для синхронизации демодулятора приемника и набор данных, называемых фреймом. Между сообщениями идут паузы, во время которых никакой модуляции на линию не идет. Данные передаются байтами в формате асинхронного интерфейса 8O1, снабжены стартовым, стоповым битом и битом контроля нечетности (odd) для проверки целостности приема. Структура данных фрейма показана в таблице 2.

Таблица 2 – Структура данных фрейма HART

Название поля	Длина (байт)	Назначение
Delimiter	1	Используется для определения начала фрейма, номера мастера и наличия поля Expansion.
Address	1 или 5	Содержит сетевой адрес назначения, индикатор Burst Mode
[Expansion]	0–3	Опциональное поле, появилось начиная с версии HART 6. Длина определяется в байте Delimiter.
Command	1	Код команды
Byte Count	1	Размер полей Status+Data
[Status]	0 или 2	Статус ведомого устройства. В фреймах мастера отсутствует.
[Data]	0–255	Данные команды
Check Byte	1	XOR для всех байт сообщения начиная с Delimiter по последний байт Data

Особенности токовой петли снижают надежность функционирования сети, при повреждении кабеля или одного из устройств необходима последовательная диагностика всего сегмента.

2.2.5 Протокол ProfiBus

Разработанная компанией Siemens AG для своих промышленных контроллеров Simatic открытая промышленная сеть Profibus (Process Field Bus), позволяет объединять разрозненные устройства автоматизации в единую систему на уровне датчиков и приводов, широко распространена в машиностроении и управлении промышленным оборудованием на территории Европы и отвечает требованиям международных стандартов IEC^o61158 и EN^o50170 [13].

Profibus обеспечивает обмен данными между ведущим и ведомыми устройствами (протоколы DP и PA) или между несколькими ведущими устройствами (протоколы FDL и FMS) по шине на экранированной витой паре, соответствующей стандарту RS-485 со скоростью от 9,6 Кбит/с (выбирается из ряда: 9,6; 19,2; 93,75; 187,5; 500; 1500 Кбит/с). Длина соединения: от 100 м до 24 км (с ретрансляторами и оптоволоконными кабелями). Максимальная длина шины (3 последовательных повторителя): до 800 м при 1500 Кбит/с, до 4,8 км при 93,75 Кбит/с. Для передачи данных в сети Profibus используются витая пара, волоконно-оптический кабель или беспроводная среда (ИК технология) в различных комбинациях.

Все версии Profibus используют единый протокол доступа к шине (FDL), реализующий процедуру доступа с помощью маркера (token), циркулирующего в логическом кольце, состоящем из ведущих устройств. Минимальная конфигурации сети – два устройства, хотя бы одно из которых должно быть ведущим. Ведущее может контролировать шину (передавать сообщения без удаленных запросов), когда у него есть маркер (в течение установленного при конфигурации сети для этого узла маркерного таймера), после чего маркер передается следующему по номеру узлу в сети. Ведомое может лишь распознавать полученные сообщения или передавать данные после соответствующего запроса.

Для конфигурирования сети Profibus существует ПО как от Siemens AG, так и от сторонних производителей.

Размер сообщения: до 244 байт от одного узла. Методы обмена сообщениями: опрос (DP/PA) и одноранговый (FMS).

Все объекты коммуникации в Profibus – станции (только ведущее устройство) вводятся в локальную OD этой станции. Для сложных устройств OD конфигурируется, а затем локально или удаленно загружается в устройство. OD содержит описание, структуру и тип данных. OD содержит также внутренние адреса объектов коммуникации устройства и их представление на шине (индекс/имя). OD состоит из:

- Заголовка (содержит информацию о структуре данного OD).
- Списка Статических Типов (содержит список поддерживаемых типов статических данных).
- Словаря Статических Объектов (содержит все статические объекты коммуникации).
- Динамического Списка Списков Переменных (содержит действующий список всех списков известных переменных).
- Динамического Списка Программ (содержит список всех известных программ).

Статические объекты коммуникации должны определяться заранее производителем данного устройства или во время конфигурирования системы с описываемой шиной, различаются следующие статические объекты связи:

- простая переменная;
- массив (ряд простых переменных одного типа);
- запись (последовательность простых переменных разных типов);
- домен (диапазон данных);
- событие.

Динамические объекты коммуникации вводятся в динамическую часть OD. Они могут предопределяться во время конфигурирования или динамически определяться, удаляться или изменяться прикладными службами во время работы.

Поддержкой, стандартизацией и развитием сетей стандарта Profibus занимается Profibus Network Organization (PNO).

Преимущества Profibus:

- гибкая шинная или древовидная топология;
- пассивная передача сигналов, которая обеспечивает отключение узлов без оказания влияния на сеть;
- простота прокладки и подключения шинного кабеля;
- возможность объединения сегментов в единую сеть с использованием повторителей RS-485;
- независимость от поставщика оборудования и сертификация устройств.

Недостатки Profibus:

- количество устройств в сети не более 32 без повторителей, с повторителями – до 127;
- необходимость ручной конфигурации сети с использованием специализированного ПО;
- максимальная длина сегмента 100 – 1000 м (зависит от скорости передачи данных).

2.2.6 Протокол AS-Interface

AS-Interface (Actuator Sensor Interface) – открытый стандарт интерфейса датчиков и исполнительных устройств и промышленной сети [14] для передачи преимущественно дискретных сигналов по специальному плоскому кабелю. Спецификация разработана и поддерживается ведущими производителями систем автоматизации (свыше 100 фирм). Для подключения датчиков разработан специальный плоский кабель с подключением под прокол изоляции. Версия AS-i 2.11 (и более поздние) позволяет передавать аналоговые сигналы.

Обмен мастера осуществляется с ведомыми специальными цифровыми и аналоговыми модулями ввода-вывода (до 62 шт.).

Ограничения:

- длина сегмента не более 100 м.;
- передача данных не более чем через 2 межсегментных повторителя;
- каждый сегмент должен иметь питание;
- на конце сегмента требуются согласующие терминаторы;
- требуется настройка выходного сигнала мастера под параметры линии.

Достоинства:

- низкая стоимость и простота монтажа;
- высокая помехозащищенность.

Недостатки:

- оптимизирован только под дискретные (битовые) сигналы.

2.2.7 Протокол CC-Link

CC-Link – закрытый фирменный протокол Mitsubishi Electric. Физический уровень основан на RS-485. Абсолютно надежная (по заявлению производителя), высокоскоростная (0,156–10 Мбит/с) управляющая сеть ввода-вывода. Длина сегмента сети до 1200 м. Общая протяженность сети до 13,2 км.

Достоинства CC-Link:

- обеспечивается легкость подключения устройств компании Mitsubishi;
- при использовании в качестве ведущих интеллектуальных устройств серии Q не требуется ручное конфигурирование сети;
- сеть имеет встроенные алгоритмы с резервированием данных и отличной устойчивостью к ошибкам.

Недостатки CC-Link:

- несовместимость с оборудованием других производителей;
- принципы функционирования протокола и форматы обмена данными закрыты производителем.

2.2.8 Протокол CAN

Протокол CAN разработан компанией Robert Bosch GmbH и является открытым стандартом [15] последовательной передачи данных между контроллерами (ISO 11898-1). Получил широкое распространение на транспорте и в системах автоматизации промышленного производства. Оборудование выпускают Philips, Bosch, Infineon, Siliconix, Unitorde и др. производители.

Особенности CAN:

- физический уровень использует дифференциальную передачу данных по витой паре;
- для управления доступом к шине используется неразрушающее bit-wise разрешение конфликтов;
- сообщения имеют малые размеры (8 байт данных) и защищены контрольной суммой;
- в сообщениях отсутствуют явные адреса, вместо этого каждое сообщение содержит числовое значение, которое управляет его очередностью на шине, а также может служить идентификатором содержимого сообщения;
- имеется схема обработки ошибок, обеспечивающая повторную передачу сообщений, если они не были получены должным образом;
- имеются эффективные средства для изоляции сбоев и удаления сбойных узлов с шины.

В сообщениях CAN отсутствует явный адрес, содержимое сообщения имплицитно (неявным образом) определяет адресата (вариант метода ассоциативной адресации). Реализовано 4 типа сообщений (кадров), передающихся по шине CAN:

- кадр данных (Data Frame);
- удаленный кадр (Remote Frame);
- кадр ошибки (Error Frame);
- кадр перегрузки (Overload Frame).

Кадр данных – самый распространенный тип сообщения. Он содержит (рисунок 1):

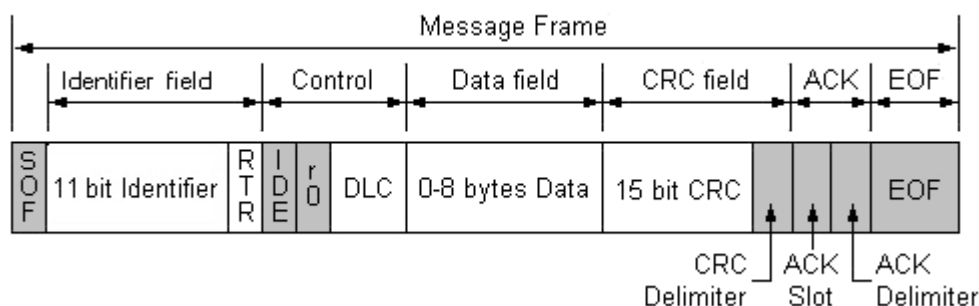


Рисунок 1 – Кадр данных CAN 2.0A

- поле арбитража (Arbitration Field), которое определяет очередность сообщения в том случае, когда за шину конкурируют два или более узла (в CAN 2.0A 11-битный идентификатор и один бит RTR, который является определяющим для кадров данных, а в CAN 2.0B 29-битный идентификатор и бит RTR);
- поле данных (Data Field), содержащее от 0 до 8 байт данных;
- поле CRC, содержащее 15-битную контрольную сумму для обнаружения ошибок;
- слот распознавания (Acknowledgement Slot), формируемый получателем сообщения при корректном его приеме (приемопередатчик проверяет наличие бита распознавания и, если таковой не обнаруживается, высылает сообщение повторно).

Удаленный кадр используется для запроса требуемых данных и отличается установленным битом RTR при нулевой длине поля данных.

Кадр ошибки содержит флаг ошибки (Error Flag), который состоит из 6 бит одинакового значения (нарушая правило вставки битов) и разграничителя ошибки (Error Delimiter), состоящего из 8 рецессивных бит.

Кадр перегрузки формируется занятым узлом в случае невозможности им принять кадр данных.

Физический уровень стандарта CAN определяет электрические уровни и схему передачи сигналов по шине, полное сопротивление кабеля и т.п.

Наиболее распространенным является вариант ISO 11898-2 как двухпроводная сбалансированная сигнальная схема (high-speed CAN), обеспечивающий скорость до 1 Мбит/с при длине кабеля до 40 м (волновое сопротивление 120 Ом).

ISO 11898-3 описывает двухпроводную сбалансированную сигнальную схему для менее скоростной (до 125 кбит/с при длине кабеля до 500 м, и до 10⁹кбит/с при длине кабеля до 6 км) шины (low-speed CAN), в которой передача сигналов может продолжаться даже в том случае, когда один из проводов будет перерезан, замкнут на «землю» или на шину питания.

SAE J2411 описывает однопроводной (плюс «земля») физический уровень, используемый в основном в автомобилях при скорости передачи данных до 50 кбит/с.

Преимущества CAN:

- возможность работы в режиме жесткого реального времени;
- простота реализации и минимальные затраты на использование;
- высокая устойчивость к помехам;
- арбитраж доступа к сети без потерь пропускной способности;
- надежный контроль ошибок передачи и приема;
- широкий диапазон скоростей работы;
- большое распространение технологии, наличие широкого ассортимента продуктов от различных поставщиков.

Недостатки CAN:

- небольшое количество данных, которое можно передать в одном пакете (до 8 байт);
- большой размер служебных данных в пакете (по отношению к полезным данным);
- отсутствие единого общепринятого стандарта на протокол высокого уровня.

2.2.9 Протокол M-Bus

M-Bus («Meter-Bus») – европейский коммуникационный проводной протокол (европейский стандарт EN 1434/IEC870-5, EN 13757-2 – физический и канальный уровни, уровень приложений EN 13757-3) для построения распределенных систем сбора данных и коммерческого учета расхода энергоресурсов (тепло, вода, газ, электроэнергия и пр.) [16], основан на стандартной архитектуре «клиент-сервер». Стандарт M-bus описан и утвержден ГОСТ EN 1434-3-2018. «Теплосчетчики. Часть 3. Обмен данными и интерфейсы».

Средой передачи данных для стандарта M-bus является медная «витая пара», которая может одновременно включать элементы топологии «шина» и «звезда», что позволяет создавать гибкие и произвольные сетевые структуры.

Протокол обмена данными между устройствами сети M-bus основывается на принципе «один MASTER – много SLAVE». Для каждого сегмента сети требуется только одно устройство MASTER, которое посылает запросы и получает ответ от устройств SLAVE, что полностью исключает возникновение конфликтных ситуаций внутри сегмента сети M-bus.

Все SLAVE устройства подключаются параллельно к MASTER через шину M-bus (витая пара), при этом полярность подключения устройств к шине значение не имеет.

Передача данных по шине M-bus производится в последовательном режиме в обоих направлениях. На шине поддерживается номинальный уровень напряжения от устройства Master для обеспечения электропитания устройств Slave. Для передачи бита данных устройство Master изменяет уровень напряжения на шине, которое воспринимается всеми устройствами Slave. Распознав свой адрес в запросе, уполномоченное устройство Slave

передает биты данных путем изменения, потребляемого от шины M-bus тока. Данные изменения считываются устройством Master.

Физическая длина шины M-bus ограничена активным сопротивлением проводов, которое в связи с потреблением тока устройствами Slave снижает напряжение питания в сети по мере удаления от устройства Master. Скорость передачи данных в сетях M-bus ограничена электрической емкостью шины и колеблется от 300 до 9600 бод. Ограничение по количеству Slave приборов в одном сегменте сети определяется мощностью источника напряжения устройства Master и предельными возможностями адресации – до 250 приборов в одном сегменте сети. Дальность передачи в стандартной конфигурации до 1000 метров, а дальность от slave устройства до повторителя сигнала до 350 метров.

Так как M-Bus не является сетью, то не нужен транспортный или сеансовый уровень, уровень четырех до шести модели OSI являются пустыми (таблица 3). Оборудованы функциями только физический, канал передачи данных, сеть и слой приложения.

Таблица 3 – Модель OSI протокола M-Bus

Модель OSI			
Слой	Блок данных	Слой	Стандарт
Принимающие	Данные	7. Применение	EN1434-3
		6. Презентация	Пустой
		5. Сессия	Пустой
	Сегмент / Datagram	4. Transport	Пустой
Медиа	Пакет	3. Сеть	Необязательный
	Рамка	2. Канальный	IEC 60870
	Немного	1. Физические	M-Bus

Термин M-Bus может одновременно подразумевать как физический интерфейс, так и протокол передачи данных. В случае если указано, что прибор учета поддерживает M-bus, всегда следует уточнить, что имеется в виду:

- только физический интерфейс;
- физический интерфейс и протокол (обычно);
- только протокол.

То есть прибор может поддерживать протокол M-bus, но интерфейсом подключения при этом выступает, например, RS-485. Или прибор имеет интерфейс M-bus, но протокол обмена разработчики устройства реализовали свой. В этом случае для подключения к автоматизированной системе учета необходимо согласование протокола обмена.

Основные преимущества стандарта M-bus:

- простота построения сети;
- высокая помехоустойчивость;
- длина линий связи до нескольких километров;

- простое сегментирование сети;
- большое число точек учета;
- простота поэтапного расширения сети;
- пассивное электропитание slave устройств;
- минимальные затраты на установку и эксплуатацию оборудования.

Таким образом, M-bus отвечает следующим базовым требованиям:

- гарантированной передаче данных относительно небольшого объема от большого числа неинициативных источников на расстояние до нескольких километров в условиях высокого уровня помех;
- низкой стоимости оборудования и минимальным затратам на установку и эксплуатацию;
- простоте расширения системы в течение срока службы.

Стандарт M-Bus не включает процедур преобразования форматов данных, организации «сессий» передач, транспортировки пакетов и маршрутизации.

Протокол M-Bus не является промышленным и применяется только в тех устройствах, где не критична низкая скорость (и даже потеря части данных).

К достоинствам данного протокола можно отнести минимальные требования к оборудованию и линиям связи, быстроту внедрения и простоту монтажа. Это делает его малозатратным и экономически привлекательным. Указанные свойства M-Bus сделали его достаточно популярным, и довольно часто данный протокол используется в системах автоматизации различных объектов. Также этому способствует и достаточно простое интегрирование с промышленными протоколами автоматизации, включая RS-485.

2.3 Анализ протоколов передачи и форматов представления данных с использованием беспроводного интерфейса

2.3.1 Протокол WirelessHART

Протокол использует синхронизированную во времени, самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую архитектуру. Используется диапазон частот 2400 – 2483,5 МГц.

Обратная совместимость с «пользовательским уровнем» HART обеспечивает адаптацию систем управления и инструментов конфигурирования, совместимых с HART, которые могут включать новые беспроводные сети и устройства, а также дальнейшее использование проверенных практик настройки и компоновки систем.

Основной поставщик оборудования – компания Emerson.

Для применения в системах интеллектуального здания устройства WirelessHART имеют завышенные требования по безопасности, надежности и гарантированной задержке доставки данных, что обуславливает высокую стоимость реализации.

2.3.2 Протокол Wireless Profibus

Беспроводная версия Profibus использует ИК технологию передачи данных. Особенности распространения ИК волн ограничивают применение зоной прямой видимости, что в общем случае неприемлемо.

2.3.3 Протокол WM-Bus

Является расширением M-Bus на область беспроводных систем. Аналогично проводной версии, основная топология сети для WM-Bus – «точка-точка» или «звезда». Типичным применением WM-Bus является организация сбора показаний счетчиков потребления ресурсов на стационарный или мобильный концентратор, который впоследствии передает их для последующей обработки на сервер.

Основным регламентирующим документом WM-Bus является стандарт EN13757-4, определяющий обмен данными в диапазоне SRD (868 – 870 МГц). Технически возможно также использование диапазонов 433 МГц или 169 МГц. На текущий момент в стандарте EN13757-4 определены три рабочих режима: «S», «T» и «R» (таблица 4).

Таблица 4 – Режимы WM-Bus

Режим	Направление	Скорость передачи данных и используемый код
«S» (стационарный): S1; S1-m; S2	«S1» – однонаправленный; «S2» – двунаправленный	Передача (TX): 32 кбод/с, манчестерский; прием (RX): 32 кбод/с, манчестерский
«T» (частая передача): «T1»; «T2»	«T1» – однонаправленный; «T2» – двунаправленный	Передача (TX): 100 кбод/с, «3 из 6»; прием (RX): 32 кбод/с, манчестерский
«R» (частый прием): «R2»	«R2» – двунаправленный	Передача (TX): 4.8 кбод/с, манчестерский; прием (RX): 4.8 кбод/с, манчестерский

Пакет физического уровня WM-Bus состоит из четырех частей: преамбулы, слова синхронизации, поля данных и поля окончания пакета.

В рамках протокола WM-Bus возможны следующие режимы формирования и трансляции пакетов:

- режим 0 – кодирование манчестерским кодом, длина преамбулы 279 бит, синхронизирующее поле 18 бит (значение 0x7696), поддерживается режимами работы S1 и S2;

- режим 1 – кодирование манчестерским кодом, длина преамбулы 15 бит, синхронизирующее поле 18 бит (значение 0x7696), поддерживается режимами работы S1-m, S2, T2;
- режим 3 – код 3 из 6, длина преамбулы 19 бит, синхронизирующее поле 10 бит (значение 0x3D), поддерживается режимами работы T1, T2;
- режим 5 – кодирование манчестерским кодом, длина преамбулы 39 бит, синхронизирующее поле 18 бит (значение 0x7696), поддерживается режимом R2.

Размер поля данных пакета 0 – 64 кбайт, в данном поле инкапсулируется пакет канального уровня WM-Bus (или просто пакет WM-Bus). В сети WM-Bus возможны пакеты двух типов: А и В. Каждый тип пакетов включает в себя три информационных блока: первый, второй и опциональный.

Первый блок содержит поля длины пакета, контрольную информацию и адрес отправителя. Он одинаков для пакетов обоих типов.

Второй блок пакета содержит информационные поля, характеризующие тип информации в пакете. В него входят заголовок блока, 15 (тип А) или 115 (тип В) байт описания информации пакета и двухбайтовое поле контрольной суммы. Поле данных второго блока пакета включает в себя данные прикладного уровня WM-Bus.

Опциональный блок содержит поле данных и двухбайтовое поле контрольной суммы.

Протокол WM-Bus является достаточно простым для реализации и не требует от реализующего его контроллера большого объема оперативной и постоянной памяти. Это позволяет применять для реализации WM-Bus беспроводные приемопередатчики в связке с небольшим малопотребляющим контроллером. Интенсивность обмена данными в инженерных системах интеллектуальных зданий относительно невелика. В связи с этим при выборе аппаратной платформы на первый план выходит энергопотребление приемопередатчика и микроконтроллера в режимах сна, ожидания или подобных, т.к. большую часть времени и управляющий микроконтроллер, и беспроводной приемопередатчик будут находиться в режиме ожидания.

Для обмена данными целесообразнее использовать диапазон 868,7 – 869,2 МГц, поскольку радиоволны данного диапазона слабее подвержены влиянию препятствий и затуханию при прохождении сквозь стены и перекрытия по сравнению с волнами диапазона 2,4 ГГц.

2.4 Технология PLC

Телекоммуникационная технология PLC (Power Line Communication) базируется на использовании силовых электросетей для высокоскоростного информационного обмена [17]. Применение DSP-процессоров (цифровые сигнальные процессоры) дало возможность использовать сложные способы модуляции сигнала, такие как OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) с частотным разделением сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбивается на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в один сигнал. Теоретическая скорость передачи данных при использовании параллельных потоков с одновременным фазовым модулированием сигналов составляет более 100 Мб/с.

Практическая реализация определяется конкретным производителем. Например, фирма Phonex предлагает устройство Phonex Broadband QX-201 NeverWire 14 с максимальной скоростью до 14 Мб/с.

Результаты эксплуатации модемов PLC выявили [18] ряд проблем:

- несовместимость работы разных версий hardware PLC и наличие измененных алгоритмов работы, вызывает неработоспособность одной и второй системы в одних линиях 0,4 кВ;
- наличие помех в сети 0,4 кВ и трудности с поиском источника помех;
- качество работы сети PLC зависит от состояния электропроводки;
- влияние сдвига фаз на передачу данных по PLC;
- совместимость PLC систем на предмет совместной работоспособности в пределах одной трансформаторной подстанции, системы разных производителей мешают друг другу;
- отсутствие шифрования в PLC и возможность перепрограммирования по каналу PLC;
- особенности включения трехфазных счетчиков при считывании данных по PLC каналу, обслуживающий счетчики персонал не понимает разницу питания модема PLC в однофазных и трехфазных счетчиках.

Описанные проблемы технологии PLC подтверждают несовершенство технологии для выполнения задач передачи данных по линии 0,4 кВ. Основная проблема работы PLC – это шумы, которые зависят от потребительских приборов. Учитывая стоимость PLC модемов (30 – 100 \$) целесообразность использования рассматриваемой технологии сомнительна.

2.5 Протоколы передачи данных на основе Ethernet

При необходимости использования IoT устройств, управления в режиме реального времени и др. задач, в соответствии с моделью OSI физический, канальный и сетевой уровни протоколов определяются технологией Internet. В качестве транспортного протокола используется, как правило, TCP/IP.

В системах реального времени для обеспечения гарантированного времени реакции используют протоколы реального времени Industrial Ethernet:

- Profinet;
- EtherCAT;
- Ethernet Powerlink;
- EtherNet/IP;
- SERCOS III;
- LAN eXtensions for Instrumentation.

Эти протоколы в различной степени модифицируют стандартный стек TCP/IP, добавляя в него:

- функции синхронизации;
- новые алгоритмы сетевого обмена;
- диагностические функции;
- методы самокорректировки.

Канальный и физический уровни Ethernet при этом остаются неизменными, что позволяет использовать протоколы реального времени в существующих сетях Ethernet с использованием стандартного сетевого оборудования.

Основные отличия от обычного Ethernet заключаются в дополнении стека протоколов TCP/IP протоколом RFC1006 (ISO Transport Service), что обеспечивает регулярную и частую передачу по сети небольших объемов информации и использование протокола IEEE 1588 для синхронизации устройств в сети.

В системах, где нет жестких требований по гарантированному времени реакции, кроме TCP/IP также могут использоваться контекстно-зависимые протоколы верхних уровней, реализующие промышленную сеть для автоматизации зданий (LonWorks, BACnet) и специализированный протокол обмена данными между приборами учета со встроенными контроллерами и системой сбора данных (DLMS/COSEM).

Особенности беспроводного подключения к сети контроллеров рассмотрены в [19].

2.5.1 Протокол LonWorks

Сетевая платформа, разработанная для достижения производительности, гибкости, соответствия инсталляционным и эксплуатационным потребностям в задачах активного мониторинга и управления. Построена на созданном компанией Echelon Corporation протоколе сетевого взаимодействия устройств через различные среды передачи данных [20], такие как, витая пара, линии электропитания, оптоволокно, и беспроводные радиочастотные. LonWorks широко используется для автоматизации различных процессов и функций зданий, например, управление освещением, отоплением, вентиляцией и кондиционированием.

В LonWorks используется специфичный коммуникационный протокол – LonTalk, единственным средством имплементации которого является созданный компанией Echelon 8-битный процессор «Neuron chip». В целях диверсификации реализаций протокол LonTalk опубликован и сделан доступным для процессоров общего назначения – порт стандарта ANSI/EIA709.1 в IP-базирующиеся 32-битные чипы, что, однако, пока не получило распространения.

2.5.2 Протокол BACnet

BACnet стал в 1995 г. стандартом ASHRAE/ANSI (135), а в 2003 г. стандартом ISO (16484-5) [21]. Стандарт постоянно совершенствуется в различных рабочих группах.

BACnet гарантирует возможность взаимодействия между устройствами различных производителей, если алгоритмы этих устройств реализованы на основе стандартных функциональных блоков BIBB (BACnet Interoperability Building Block). Блоки BIBB используются для обмена данными между устройствами. Они разработаны для упрощения работы

инженеров, которым достаточно написать краткие спецификации, описывающие требования к взаимодействию различных устройств, входящих в систему BACnet. Поддерживаемые блоки BIBB для каждого устройства BACnet перечислены в PICS (Protocol Implementation Conformance Statement). PICS это документ, детально описывающий тип данного устройства BACnet, и его возможности к взаимодействию с другими устройствами.

Каждое устройство в сети BACnet описывается набором стандартных объектов. Количество одинаковых объектов, составляющих устройство, не ограничено. Стандарт определяет 19 типов объектов, количество которых может увеличиться по мере развития стандарта. Каждый объект в сети BACnet характеризуется набором свойств, которые описывают его поведение или управляют его работой.

Стандарт определяет классы прикладных задач, которые выполняют устройства:

- тревоги и события;
- доступ к файлам;
- доступ к объектам;
- управление удаленным устройством;
- виртуальный терминал.

Классы прикладных задач описываются набором служб (сервисов), которые используются для общения между устройствами.

К настоящему времени концепция BACnet, как унифицированного, независимого от производителей оборудования, стандарта для передачи данных в системах автоматизации здания, морально устарела.

2.5.3 Протокол DLMS/COSEM

DLMS/COSEM – открытый стек-ориентированный протокол, базирующийся на концепциях модели OSI в основе которого лежит клиент-серверная архитектура, регламентирующий обмен данными между приборами учета со встроенными контроллерами и системами сбора данных [22].

DLMS (Device Language Message Specification) представляет собой спецификацию прикладного уровня, которая не зависит от более низких уровней и как следствие от коммуникационных каналов. Целью внедрения является обеспечение единой среды для структурного моделирования и обмена данными с приборами учета. Регламентируются: дистанционное считывание показаний с приборов учета, дистанционное управление, а также дополнительные сервисы для измерения любого вида энергоресурса (электричество, вода, газ, тепло).

COSEM (COmpanion Specification for Energy Metering) представляет собой спецификацию, в которой отражена объектно-ориентированная интерфейсная модель приборов учета, обеспечивающая представление их функциональных возможностей. Прибор учета представляет собой физическое устройство, состоящее из логических устройств. Каждое логическое устройство имеет уникальный идентификатор (в мировом масштабе), называемый

логическим именем устройства. Информация, содержащаяся в каждом логическом устройстве, доступна посредством интерфейсных объектов. Доступ к интерфейсным объектам в рамках логического устройства осуществляется через объекты ассоциации. Объект ассоциации предоставляет информацию о ресурсах, имеющихся в логическом устройстве в зависимости от прав доступа.

Каждый интерфейсный объект состоит из атрибутов и методов. В атрибутах содержится информация об объекте и том функционале, который он представляет.

Методы, в свою очередь, позволяют изменять или просматривать значения и необязательно присутствуют в интерфейсных объектах.

Интерфейсные объекты, имеющие общие характеристики (одни и те же атрибуты и методы) составляют интерфейсный класс. Интерфейсный класс идентифицируется через идентификатор класса (`class_id`) и версию (`version`). Каждый интерфейсный объект, в рамках логического устройства является уникальным и однозначно идентифицирует информацию, независимым от производителя прибора учета способом, представленную этим объектом с помощью логического имени (первый атрибут любого интерфейсного объекта), идентификатора класса и его версии.

Реализация общей части DLMS/COSEM IEC 62056-1-0 регламентирована рядом международных стандартов:

- IEC 62056-3-1: 2013 Использование локальных сетей на витой паре с сигнализацией несущей;
- IEC 62056-4-7: 2014 DLMS/COSEM транспортного уровня для сетей IP;
- МЭК 62056-5-3: 2017 Прикладной уровень DLMS/COSEM;
- IEC 62056-6-1: 2017 Идентификация объектов системы (ОБИС);
- IEC 62056-6-2: 2017 Классы COSEM интерфейса;
- IEC 62056-6-9: 2016 Преобразование между профилями сообщений Common Information Model (IEC 61968-9) и DLMS/COSEM (IEC 62056). Модели данных и протоколы;
- IEC 62056-7-5: 2016 Профили локальной передачи данных для локальных сетей (LN);
- МЭК 62056-7-6: 2013 3-й слой, ориентированный на соединение на основе протокола HDLC коммуникационного профиля;
- IEC 62056-8-5: 2017 Узкополосный OFDM G3-PLC Коммуникационный профиль;
- IEC TS 62056-8-20: 2016 Mesh Коммуникационный профиль;
- IEC TS 62056-9-1: 2016 Профили связи с использованием веб-сервисов для доступа к серверу DLMS/COSEM через службу доступа COSEM (CAS);
- IEC 62056-9-7: 2013 Профиль связи для IP сетей TCP-UDP.
- Достоинства протокола DLMS/COSEM:

- возможность широкого выбора интерфейсов для передачи данных: RS 232/485, GSM, GPRS, IPv4, PPP и PLC;
- определяет интерфейсную модель, действительную для любого типа энергоресурса, а система, построенная на базе протокола DLMS/COSEM, открыта для расширения путем добавления новых возможностей без изменения имеющихся сервисов;
- стандартизует функционал прибора учета: регистрация потребления, тарифное планирование, измерение качества электроэнергии и др.;
- обеспечивает контролируемый и безопасный доступ к информации внутри прибора учета (открытый доступ, доступ по паролю и с аутентификацией). Информация, передаваемая по коммуникационным линиям, может быть дополнительно зашифрована;
- позволяет создавать унифицированные драйверы, посредством которых становится возможным связываться с приборами учета разных типов от различных производителей;
- широко распространен среди зарубежных приборов учета.

Недостатки DLMS/COSEM:

- проблема полноты и «чистоты» реализации стандарта. На практике опрос счетчика с заявленной поддержкой DLMS одного производителя программой опроса другого производителя либо ограничен основными параметрами, либо попросту невозможен;
- большая сложность протокола;
- непопулярность среди производителей оборудования в Республике Беларусь и Российской Федерации.

2.6 Форматы передачи данных

Определяются представительским и прикладным уровнями модели OSI. По способу организации данных форматы сообщений условно можно классифицировать на три типа:

- фиксированного единого формата, когда контекстное значение полей сообщения постоянно (например, формат сообщения электронной почты, формат SMS сообщения, формат сообщения от драйвера устройства);
- формата, описываемого классификатором, когда в сообщении присутствует идентификатор (код классификатора), определяющий номер записи в классификаторе, содержащей описание соответствия контекстного значения полей сообщения (например, обменные форматы геоинформационных систем – SXF/TXF, F20S и т.п.);
- открытого формата, когда в самом сообщении присутствуют идентификаторы полей, указывающие на контекст значения и размер поля и определяющие поведение программ, читающих сообщение и обеспечивающих доступ к его содержимому, фактически определяемым языком разметки (SGML, HTML, XML и JSON).

Применение первого типа позволяет создать законченный проект, развитие которого (при необходимости внесения новых или модернизации существующих функций, изменения

действующих ТНПА и т.п.) приводит к необходимости существенного изменения кода ПО. В результате появляется необходимость в расходах на программно-техническое сопровождение проекта разработчиком, что ведет к дополнительным расходам заказчика и не всегда возможно из-за реорганизации или ликвидации фирмы разработчика.

Применение форматов второго типа приводит к необходимости содержания постоянно действующей рабочей группы, выполняющей задачу сопровождения и актуализации единого (в рамках всей информационной системы) классификатора и централизованного распространения обновлений, во все проекты использующие данный классификатор.

Применение форматов третьего типа, использующих один из расширяемых языков разметки, позволяет создавать адаптивные к изменению контента сообщений информационные системы, не требующие централизованного сопровождения.

2.6.1 Формат XML

XML означает Extensible Markup Language, использующий совокупность элементов (тегов) и контекстных полей данных (текста) [23]. Теги позволяют правильно понимать значения полей данных и обрабатывать их как программно, так и визуально, поскольку базируется XML на кодировке Юникод (UTF-8 и UTF-16) и легко подстраивается под любые конкретные нужды. Сообщение интерпретируется как документ и соответственно обрабатывается.

В формате XML, могут содержаться базы данных или определенные настройки приложений. Применение документа XML в сети Всемирной паутины, служит в целях обмена информацией. В стандарте XML, удобно выполнять обмен требуемыми данными между различными платформами, потому XML языком разметки, пользуются владельцы различных операционных систем.

Обязательным условием правильной работы является определение элементов в описании типа документа (Document Type Definition – DTD) или в схеме документа, начальная декларация XML (может включать кроме аббревиатуры XML также указание на версию и вид используемой кодировки символов), наличие корневого элемента (начальный и замыкающий теги).

Для корректной работы с XML сначала выбираются имена элементов, а затем на основе этих имен определяется соответствующее описание DTD или схема. Имена могут содержать буквы, цифры и специальные знаки, такие как знак подчеркивания. Вложенные («дочерние») элементы должны полностью располагаться внутри окружающего («родительского») элемента.

К элементам возможно добавление атрибутов, состоящих из пары имя-значение, и позволяющих сохранять вместе с элементом дополнительные параметры.

Сущности (entity) могут представлять собой фрагменты текста или специальные символы. Они могут указываться внутри документа или вне его. Во избежание ошибок и для правильности отображения сущности должны быть надлежащим образом объявлены и выражены. Использование сущностей помогает избежать многократного повторения одной и той же фразы или информации.

Наряду с множеством достоинств XML обладает и рядом существенных недостатков:

- Синтаксис XML избыточен. Размер XML-документа существенно больше бинарного представления тех же данных. В грубых оценках величину этого фактора принимают за 1 порядок (в 10 раз). Размер XML-документа существенно больше, чем документа в альтернативных текстовых форматах передачи данных (например, JSON, YAML, Protocol Buffers) и особенно в форматах данных, оптимизированных для конкретного случая использования. Избыточность XML может повлиять на эффективность приложения. Возрастает стоимость хранения, обработки и передачи данных. XML содержит метаданные (об именах полей, классов, вложенности структур), и одновременно XML позиционируется как язык взаимодействия открытых систем. При передаче между системами большого количества объектов одного типа (одной структуры), передавать метаданные повторно нет смысла, хотя они содержатся в каждом экземпляре XML описания. Для большого количества задач не нужна вся мощь синтаксиса XML, допустимо использовать значительно более простые и производительные решения;
- Неоднозначность моделирования. Нет общепринятой методологии для моделирования данных в XML, в то время как для реляционной модели и объектно-ориентированной такие средства разработаны и базируются на реляционной алгебре, системном подходе и системном анализе. В природе есть множество объектов и явлений, для описания которых разные структуры данных (сетевая, реляционная, иерархическая) являются естественными, и отображение объекта в неестественную для него модель является болезненным для его сути. В случае с реляционной и иерархической моделями определены процедуры декомпозиции, обеспечивающие относительную однозначность, чего нельзя сказать о сетевой модели. В результате большой гибкости языка и отсутствия строгих ограничений, одна и та же структура может быть представлена множеством способов (различными разработчиками). Поддержка многих языков в именовании тегов дает возможность назвать, например, вес русским словом, в таком случае компьютер никак не сможет установить соответствия этого поля с полем weight в англоязычной версии программы и с полями в версиях модели объекта на множестве других языков;
- XML не содержит встроенной в язык поддержки типов данных. В нем нет строгой типизации, то есть понятий «целых чисел», «строк», «дат», «булевых значений» и т. д.;
- Иерархическая модель данных, предлагаемая XML, ограничена по сравнению с реляционной моделью объектно-ориентированными графами и сетевой моделью данных. Выражение неиерархических данных (например, графов) требует дополнительных усилий;
- Пространства имен XML сложно использовать и их сложно реализовывать в XML-парсерах.
- Существуют другие, обладающие сходными с XML возможностями, текстовые форматы данных, которые обладают более высоким удобством чтения человеком или большей компактностью (YAML, JSON, SweetXM, XF).

2.6.2 Формат JSON

JSON (JavaScript Object Notation) – простой, основанный на использовании текста, формат обмена данными, удобный для чтения и написания как человеком, так и компьютером [24]. Формат основан на подмножестве синтаксиса языка JavaScript, но является независимым от языка и может использоваться практически с любым языком программирования. Для многих языков существует готовый код для создания и обработки данных в формате JSON.

С помощью простого синтаксиса позволяет представлять любые типы данных, начиная от одного числа до строк, массивов и объектов, в простом тексте. Также можно связывать между собой массивы и объекты, создавая сложные структуры данных. В сравнении с XML обладает большей лаконичностью и лучше подходит для сериализации сложных структур.

JSON-текст представляет собой (в закодированном виде) одну из двух структур:

- Набор пар «ключ: значение». В других языках это реализовано как объект, запись, структура, словарь, хэш-таблица, список с ключом или ассоциативный массив. Ключом может быть только строка (регистрозависимая: имена с буквами в разных регистрах считаются разными), значением – любая форма;
- Упорядоченный набор значений. В других языках это реализовано как массив, вектор, список или последовательность.

Это универсальные структуры данных: как правило, любой современный язык программирования поддерживает их в той или иной форме. Они легли в основу JSON, так как он используется для обмена данными между различными языками программирования.

В качестве значений в JSON могут быть использованы:

- Объект – это неупорядоченное множество пар ключ:значение;
- Массив (одномерный) – это упорядоченное множество значений;
- Число;
- Литералы true, false и null;
- Строка – это упорядоченное множество из нуля или более символов юникода, заключенное в двойные кавычки.

Как функционально, так и синтаксически JSON является подмножеством языка YAML. В частности, спецификация YAML 1.2 указывает, что «любой файл в формате JSON является корректным файлом в формате YAML». Наиболее распространенный парсер YAML способен обрабатывать и JSON.

Современные версии веб-браузеров (Mozilla Firefox, Microsoft Internet Explorer, Opera Google Chrome, Apple Safari и др.) имеют встроенную поддержку JSON и способны быстро его обрабатывать.

Наиболее частое распространенное использование JSON - пересылка данных между сервером и браузером. Обычно данные JSON доставляются с помощью AJAX [25], который позволяет

обмениваться данными браузеру и серверу без необходимости перезагружать страницу и организовывать запросы, передавая параметры GET или POST либо используя методы `getJSON()` и `parseJSON` библиотеки `jQuery`.

Преимущества JSON:

- он компактен;
- его предложения легко читаются и составляются как человеком, так и компьютером;
- его легко преобразовать в структуру данных для большинства языков программирования (числа, строки, логические переменные, массивы и так далее);
- многие языки программирования имеют функции и библиотеки для чтения и создания структур JSON.

К недостаткам JSON можно отнести невозможность сообщить о кодировке текстовой строки, что не является принципиальным. Во-первых, согласно стандарту JSON предлагается кодировать только в UTF-8, допустимы кодировки UTF-16 и UTF-32 с порядком следования байт BE и LE. Во-вторых, можно использовать коды ASCII, а другие символы представлять в виде эскапе-последовательностей: `\xXX` для 8-битных кодировок и `\uXXXX` для Юникода. В-третьих, можно использовать любую кодировку, если у клиента и сервера один "хозяин" и договариваться о кодировке через заголовок HTTP протокола.

Также JSON, возможно, может являться обстоятельством вызова проблем безопасности. При вставке вызовов функций параллельно с материалами в JSON и использовании функции `eval()` для формирования решения, создается произвольный код, который практически, уже может быть угрозой безопасности.

Наладка и налаживание непосредственно относится одинаково к серверной части программы, и к клиентской. Нужно убедиться, что на сервере сведения грамотно созданы и корректны. Со стороны клиента же, должна быть отладка ошибок в решении. С помощью JSON данная проблема является решаемой вручную, тем самым может потребоваться проверка того, что вследствие ответа имеются верные определения проблемы и способов ее решения.

Таким образом, существует множество протоколов, позволяющих организовать информационный обмен в интеллектуальном здании, каждый из которых обладает специфической совокупностью особенностей, достоинств и недостатков. Практически все из них имеют международные и/или европейские стандарты, а протокол M-Bus (WM-Bus) стандартизован в Республике Беларусь для приборов учета потребляемого тепла (ГОСТ EN 1434-3-2018). Используемые рассмотренными протоколами форматы данных не унифицированы, причем некоторые из них закрыты разработчиками оборудования, и могут быть использованы только при условии применения специального ПО от производителя.

3 Выявление существующих проблем и имеющихся недостатков в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных и иных системах здания

К основным проблемам в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных системах зданий, относятся:

- разнообразие уже применяемых частных решений, реализованных в них технологий передачи, протоколов и форматов данных;
- отсутствие определенной архитектуры построения информационно-управляющей системы интеллектуального здания;
- построение и внедрение решений без учета перспектив развития интеллектуальных зданий как базиса для IoT и места интеллектуальных зданий в системе «умный город»;
- отсутствие нормативно-правовой базы, регламентирующей построение, эксплуатацию и развитие информационно-управляющих систем интеллектуальных зданий.

Недостатки в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных системах зданий тесно взаимосвязаны с проблемами. К основным недостаткам можно отнести:

- использование проприетарных протоколов, что обусловлено стремлением поставщиков готовых решений к монополизации рынка;
- массовое применение технологий радиосвязи в ISM диапазонах, где уже функционирует множество разнообразных устройств, что обусловлено как отсутствием проводной инфраструктуры в зданиях, так и низкой стоимостью внедрения решений, но ведет к низкой помехоустойчивости и надежности;
- использование одноранговой архитектуры «клиент – сервер» с расположением сервера в облаке, что снижает стоимость решений, но и также снижает надежность функционирования;
- применение технологии NB-IoT, что снижает стоимость внедрения решений, но повышает стоимость их эксплуатации;
- использование специализированных контроллеров и УСПД, что обусловлено отсутствием требований по интероперабельности в рассматриваемой области;
- отсутствие единого подхода к разработке интеллектуальных зданий на этапах строительства или реконструкции, что обусловлено стремлением к экономии средств на данном этапе в ущерб развитию.

В целях решения указанных проблем и устранения (или снижения негативного влияния) недостатков необходимо проведения ряда организационных и технических мероприятий. Одним из таких и является унификация информационного обмена в инженерных и иных системах интеллектуальных зданий. Первым этапом на пути к решению стала разработка СТБ 2559 – 2019 [7].

4 Формирование системы требований (показателей и критериев выполнения) и обоснование обобщенного подхода к унификации информационного обмена

4.1 Общие требования

Обусловлены целями, функциями, задачами и условиями применения:

- обеспечение (поддержка) функционирования всех систем интеллектуального здания;
- реализация принципа открытой архитектуры, т.е. возможности расширения системы новыми устройствами, функциями, задачами и целями функционирования;
- совместимость с уже принятыми унифицированными решениями [7];
- совместимость с основными трендами в развитии IoT;
- соответствие рациональной архитектуре построения интеллектуального здания как элемента системы «умный город».

4.2 Архитектура информационно-управляющей системы интеллектуального здания

Для выбора рационального варианта архитектуры информационно-управляющей системы интеллектуального здания необходимо учитывать существующий уровень развития информационно-коммуникационной инфраструктуры и перспективы ее развития. В настоящее время на территории Республики Беларусь завершается построения информационно-коммуникационной инфраструктуры в населенных пунктах численностью до нескольких тысяч жителей. Большинство населения проживает в многоквартирных домах. Информатизация многоквартирных домов и административных (офисных) зданий подобны. Здание подключается к сети оператора по волоконно – оптической технологии в целом, с поквартирным подключением по технологии Ethernet, либо в каждую квартиру прокладывается оптический кабель с применением технологии GPON. Внутри квартиры связь организуется по Ethernet ли WiFi (рисунок 2).

Существующую инфраструктуру рационально использовать для интеллектуального здания, что позволит снизить стоимость внедрения и эксплуатации системы.

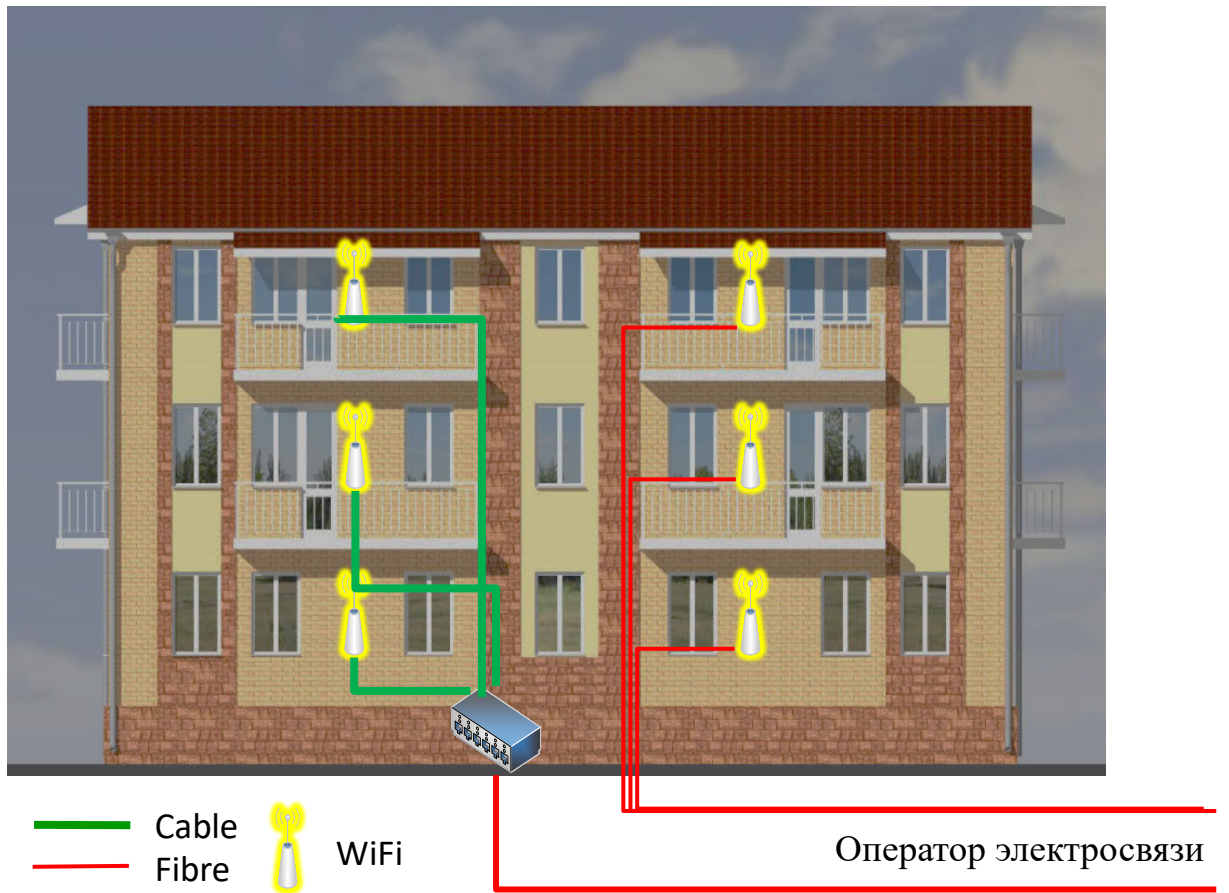


Рисунок 2 – Информационно – коммуникационная инфраструктура многоквартирного дома

Необходимость совместимости с основными трендами в развитии IoT обусловлена тем, что в качестве устройств интеллектуального здания все более выступают устройства IoT, следовательно, архитектура информационно – управляющей системы интеллектуального здания должна быть интегрирована в IoT систему. Вместе с тем, интеллектуальное здание, как элемент «умного города» должно решать гораздо более широкий круг задач, выходящий за рамки инженерных систем. Для учета указанных требований следует учитывать общие принципы реализации IoT (рисунок 3).

Enterprise View of the Internet of Things

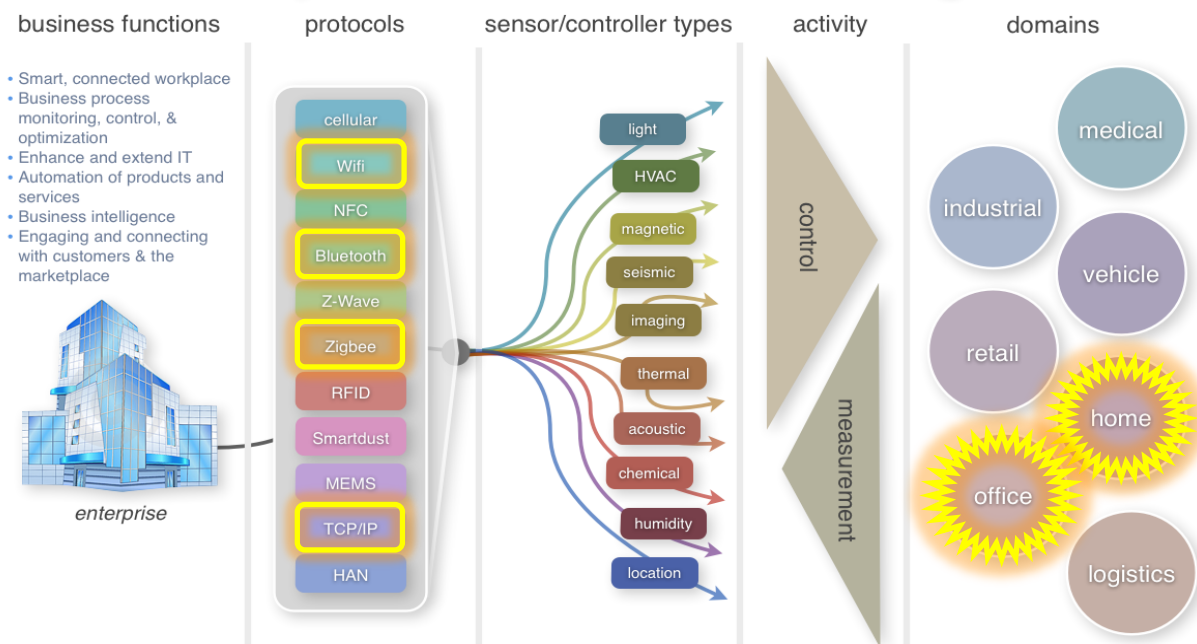


Рисунок 3 – общие принципы реализации IoT

В качестве эталона целесообразно использовать принципы построения референсной архитектуры IoT в целом (рисунок 4), где необходимые области унификации выделены цветом.

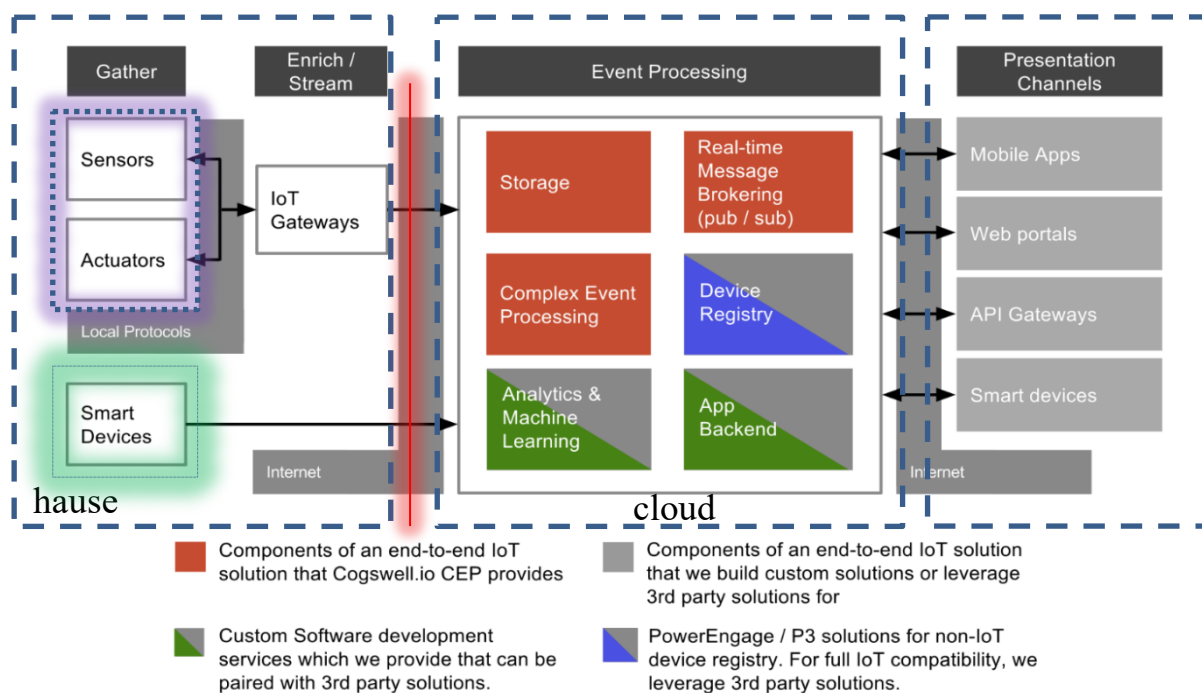


Рисунок 4 – Референсная архитектура IoT и области унификации

Унификация целесообразна в части подключения «неинтеллектуальных» устройств к контроллеру (серверу) интеллектуального здания и в части подключения IoT устройств, прежде всего в инженерных системах.

Классический, наиболее распространенный вариант построения IoT по архитектуре клиент – сервер (рисунок 5) обладает принципиальным недостатком – при нарушении связи с сервером (облаком) нарушается и функционирование систем здания, что недопустимо.

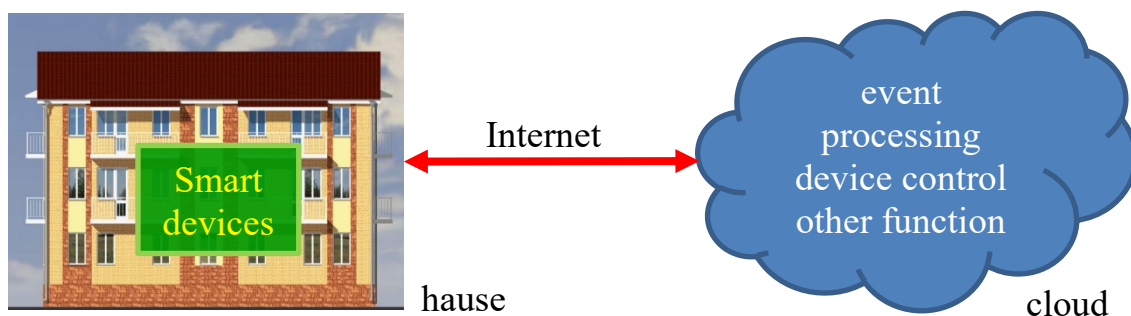


Рисунок 5 – Классическое построение IoT (архитектура клиент – сервер)

От указанного недостатка свободна сервисно – ориентированная архитектура построения IoT и интеллектуального здания (рисунок 6), где непосредственная обработка событий и управление устройствами осуществляется умным контроллером на объекте. При временном отсутствии связи нарушения функционирования системы умных устройств не происходит. Цифровой двойник в облаке позволяет оптимизировать управляющий софт до его загрузки в контроллер.

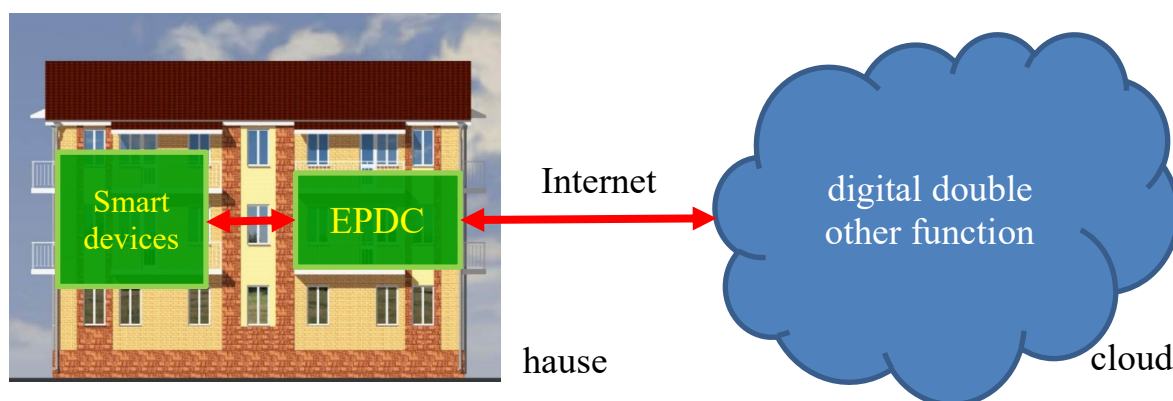


Рисунок 6 – Сервисно-ориентированная архитектура IoT (с выносом блока управления на объект)

Таким образом, неотъемлемым элементом в составе интеллектуального здания является котроллер, который, при отсутствии связи с облаком автономно выполняет минимально необходимый перечень задач, обеспечивая устойчивое функционирование.

4.3 Система требований к унификации информационного обмена

Для каждого требования показателем является степень соответствия данному требованию. Критерием выполнения является уровень, достаточный для обеспечения инвариантности к производителю (поставщику) оборудования.

Кроме указанных выше общих требований необходимо выполнение ряда частных требований, обусловленных спецификой используемой технологии электросвязи, а также области применения протоколов и форматов данных.

4.3.1 Особенности подключения по проводной технологии

Для проводной технологии должна быть обеспечена возможность подключения нескольких устройств различного типа к одной шине и их питание от шины (для максимизации срока службы встроенных батарей).

Инициация обмена информации должна быть возможна как со стороны устройства, так и контроллера, при этом незадействованные устройства должны оставаться в «спящем» режиме (минимального энергопотребления). Максимальная частота обмена данными с каждым устройством должна быть ограничена при питании его от батареи. Минимальная скорость передачи данных не менее 300 бод. Если устройство не поддерживает автоматическое определение скорости передачи, в нем должны быть установлены команды переключения скорости передачи данных и возврата в исходный режим.

Для обеспечения совместимости с уже функционирующими системами должна использоваться только структура переменных данных с первым младшим байтом в многобайтных элементах и контрольным кодом, позволяющим обнаруживать как минимум однократные ошибки.

С помощью канального уровня устройство должно поддерживать как первичную, так и вторичную адресацию. Прикладной уровень обеспечивает назначение первичных адресов через интерфейс шины. Для управления режимом вторичной адресации (включая функции расширенной вторичной адресации) должны поддерживаться все команды прикладного уровня, в том числе для режима расширенной вторичной адресации. Все считываемые блоки данных должны иметь как минимум стандартный заголовок, содержащий ID устройства.

Должна обеспечиваться возможность удаленных:

- настройки режима работы (конфигурации) устройства и его диагностики через шину с использованием WEB интерфейса;
- синхронизации часов устройства с системными часами контроллера.

Для представления измеренной величины используются цифры от 0 до 9.

Кодирование сообщения об ошибках устройств должно быть подобно используемому в приборах учета разных видов потребляемого ресурса.

В процессе начальной инициализации, выполняемой после включения питания или аппаратной перезагрузки, контроллер должен: активировать питание шины для обозначения состояния; подождать не менее 5 с; установить связь с каждым подключенным устройством (активировать его) и произвести опрос его состояния; при отсутствии подтверждения повторить до 2 раз, если все попытки завершились неудачей, произвести не более трех попыток полного перезапуска устройства; если ответ по-прежнему отсутствует или принято сообщение о неисправности устройства или ни одного полезного блока данных не было получено, перейти к алгоритму обработки системных ошибок.

4.3.2 Особенности подключения «умных» устройств

Протокол обмена с «умными» устройствами является элементом общего протокола высокого уровня, обеспечивающего взаимосвязь контроллера интеллектуального здания с различными УСПД и облаком. Протокол высокого уровня должен обеспечивать решение системных проблем, которые могут возникнуть по мере развития масштаба реализации системы. В крупных информационных системах к подобным проблемам относят:

- качество интерфейса API;
- масштабируемость;
- гибкость архитектурного решения;
- производительность системы;
- безопасность.

4.3.2.1 Качество интерфейса API

Интерфейс прикладного программирования (API) представляет собой набор готовых классов, процедур, функций, структур и констант, предоставляемых приложением (библиотекой, сервисом) или операционной системой для использования во внешних программных продуктах. Хороший API упрощает разработку компьютерной программы, предоставляя все строительные блоки и способствует снижению стоимости разработки внешних приложений. Хотя спецификации различаются между различными API-интерфейсами, конечной целью является предоставление ценности программисту за счет использования услуг, полученных от использования API.

Основные показатели качества API:

- универсальный, но удобный;
- применимый в любом случае, но не слишком большой;
- названия методов должны быть осмысленными, доступными для понимания, структурированными и по возможности короткими;
- ориентирован на повышение производительности, но без потери удобства;
- удобные константы;
- настраиваемый, но в меру;
- однопоточность;
- реализация настройки локализации;
- совместимость со старыми и новыми версиями.

4.3.2.2 Масштабируемость

Масштабируемость (scalability) – в электронике и информатике означает способность системы, сети или процесса справляться с увеличением рабочей нагрузки (увеличивать свою производительность) при добавлении ресурсов (обычно аппаратных). Система называется масштабируемой, если она способна увеличивать производительность пропорционально дополнительным ресурсам. Масштабируемость можно оценить через отношение прироста производительности системы к приросту используемых ресурсов. Также под масштабируемостью понимается возможность наращивания дополнительных ресурсов без структурных изменений центрального узла системы.

4.3.2.3 Гибкость архитектурного решения

В настоящее время решается применением стиля представления состояния переноса (REST) – абстракции архитектурных элементов в распределенной системе гипермедиа.

REST игнорирует детали реализации компонента и синтаксиса протокола, чтобы сосредоточиться на ролях компонентов, ограничениях на их взаимодействие с другими компонентами и их интерпретации значимых элементов данных. Он охватывает основные ограничения на компоненты, коннекторы и данные, которые определяют основу сервисной архитектуры и, следовательно, суть ее поведения в качестве сетевого приложения.

Применение REST в итоге позволяет реализовать концепцию построения распределенного приложения, при которой каждый запрос (REST-запрос) клиента к серверу содержит в себе исчерпывающую информацию о желаемом ответе сервера (желаемом представительном состоянии), и сервер не обязан сохранять информацию о состоянии клиента («клиентской сессии»).

4.3.2.4 Производительность системы

Характеризуется количеством операций, выполняемых в единицу времени. Применительно к АИС определяется факторами:

- большое количество устройств;
- время задержки ответа в системе;
- ограничения, связанные с доступностью устройств;
- затраты на авторизацию устройств в системе;
- затраты на передачу избыточных данных;
- большой объем данных в системе.

Количество устройств, подключаемых к контроллеру интеллектуального здания, по ориентировочной оценке, может составить до 10^4 шт. Остальные факторы требуют уточнения в процессе макетирования, т.к. зависят от аппаратной реализации и применяемого протокола.

Проблема недостаточной производительности может быть решена путем горизонтального масштабирования (параллельная обработка запросов) и/или оптимизации протокола обмена.

4.3.2.5 Безопасность

В системе, где информация передается через API для внешних заинтересованных сторон и внутри команд, безопасность является главной задачей. Реализуется совокупностью методов.

Протокол TLS

Безопасность транспортного уровня (TLS) и его предшественник Secure Sockets Layer (SSL) – это криптографические протоколы, обеспечивающие безопасность связи по компьютерной сети.

При защите TLS соединения между клиентом и сервером имеют одно или несколько из следующих свойств:

- соединение является конфиденциальным (или защищенным), поскольку симметричная криптография используется для шифрования переданных данных;
- ключи для этого симметричного шифрования генерируются уникально для каждого соединения и основаны на общем секретном документе, согласованном в начале сеанса;
- личность сообщающихся сторон может быть аутентифицирована с использованием криптографии с открытым ключом;
- соединение обеспечивает целостность, потому что каждое переданное сообщение включает проверку целостности сообщения с использованием кода аутентификации сообщения для предотвращения необнаруженной потери или изменения данных во время передачи.

Типы аутентификации API REST

Приложения полагаются на базовую безопасность экосистемы API. В настоящее время большинство приложений используют OAuth 2.0 и JWT которые становятся все более популярным среди разработчиков API.

OAuth, JWT и Basic Auth используют заголовки для передачи учетных данных, а поставщики API должны делать то же самое со всеми ключами API. В то время как они легко выполняются как параметры, они более безопасны в качестве заголовков.

Базовая аутентификация

Реализация базовой аутентификации HTTP – это самый простой способ обеспечения контроля доступа. Чтобы получить авторизацию, клиент отправляет идентификатор пользователя и пароль, разделенные одним символом двоеточия («:»), в кодированной в Base64 строке в учетных данных.

Базовая схема аутентификации не является безопасным методом аутентификации пользователей и никоим образом не защищает объект, который передается в открытом виде через физическую сеть, используемую в качестве носителя.

Самым серьезным недостатком базовой проверки подлинности является то, что она приводит к прозрачной передаче пароля пользователя по физической сети. Поскольку обычная проверка подлинности включает в себя передачу текстовых сообщений с открытым текстом,

она должна использоваться через протоколы TLS или SSL (HTTPS), чтобы защитить конфиденциальную или ценную информацию.

Ключи API

Не какой-либо официальный стандарт, а общепринятая концепция для поставщиков API и поддерживаемая провайдерами управления API. Это использование одного или двух ключей, которые сопровождают каждый вызов API. Ключи API действительно больше касаются идентификации приложения и пользователя в отношении безопасности, но многие воспринимаются как безопасные.

Ключи API могут использоваться для смягчения этого риска. Они также часто используются организацией для монетизации API. Вместо блокировки высокочастотных вызовов клиентам предоставляется доступ в соответствии с приобретенным планом доступа.

Как правило, ключ API предоставляет полный доступ к каждой операции, которую может выполнять API, включая запись новых данных или удаление существующих данных. Если вы используете один и тот же ключ API в нескольких приложениях, взломанное приложение может уничтожить данные ваших пользователей без простого способа остановить только одно приложение. Некоторые приложения позволяют пользователям создавать новые ключи API или даже иметь несколько ключей API с возможностью отменить тот, который, возможно, попал в чужие руки. Возможность изменения ключа API ограничивает недостатки безопасности.

Допустимые методы в белом списке

Общим для служб API RESTful является предоставление нескольких методов для заданного URL для различных операций над этим объектом.

Например, запрос GET может прочитать объект, тогда как PUT будет обновлять существующий объект, POST создаст новый объект, а DELETE удалит существующий объект.

Важно, чтобы служба правильно ограничивала допустимые глаголы таким образом, чтобы работали только разрешенные глаголы, в то время как все остальные вернули бы правильный код ответа.

Защита привилегированных действий и конфиденциальных коллекций ресурсов

Не каждый пользователь имеет право на каждый сервис. Очень важно, чтобы административные службы не были неправильно использованы.

Маркер сеанса или ключ API должен быть отправлен как параметр cookie или body, чтобы гарантировать, что привилегированные коллекции или действия должным образом защищены от несанкционированного использования.

Защита от межсайтовой подделки запроса

Для ресурсов, предоставляемых веб-службами API RESTful, важно удостовериться, что любые запросы PUT, POST и DELETE защищены от Cross-Site Request Forgery. Как правило, можно использовать подход CSRF, основанный на случайных токенах.

Общий протокол верхнего уровня должен обеспечивать реализацию рассмотренных механизмов обеспечения безопасности. К протоколу передачи данных на участке контроллер

– АИС, являющегося подмножеством общего протокола, предъявляются аналогичные требования по безопасности.

Вышеперечисленные методы обеспечения безопасности зачастую оказываются избыточными для интеллектуального здания, но, в связи с неопределенностью угроз, их применение не должно быть ограничено в разрабатываемой унификации.

4.4 Требования к формату представления данных

Исходя из соображений унификации формата представления данных, к нему могут быть предъявлены следующие требования:

- независимость от аппаратной и программной реализации контроллера и устройств;
- простота и удобство реализации;
- использование текстового вида представления данных для удобства восприятия человеком и обработки программно-техническими средствами;
- возможность представлять любые типы данных;
- возможность связывать между собой массивы и объекты, создавая сложные структуры данных;
- наличие адресной части (в заголовке или поле адреса);
- наличие средств контроля целостности данных;
- возможность применения криптографической защиты передаваемых данных;
- инвариантность к производителю одинаковых для различных типов устройств полей данных;
- возможность развития и адаптации к новым видам сервисов.

Реализация вышеперечисленных требований позволит применять унифицированный формат представления данных в составе интеллектуального здания и других информационных систем «умного города», при управлении элементами системы, при выполнении диагностики системы и других служебных операциях.

5 Разработка детальной концепции унификации (форматов и протоколов) информационного обмена верхнего уровня в инженерных системах интеллектуальных зданий

5.1 Общие принципы унификации

Задача унификации формата данных и протокола информационного обмена верхнего уровня в инженерных системах интеллектуальных зданий является одним из элементов цифровизации экономики [1] и должна решаться с применением системного подхода.

Целью унификации формата данных и протокола дистанционного считывания показаний средств измерений и учета является сокращение стоимости разработки, внедрения, эксплуатации и развития информационных систем, взаимодействующих с устройствами инженерных систем интеллектуальных зданий.

Исходными данными для унификации формата данных и протокола информационного обмена в инженерных системах интеллектуальных зданий являются изложенные выше требования, а также сведения:

- о структуре и функциях предполагаемой информационно – управляющей системы интеллектуальных зданий;
- характеристиках устройств инженерных систем интеллектуальных зданий;
- свойствах применяемых интерфейсов и протоколов обмена данными;
- требованиях к составу и параметрам передаваемых данных, выполняемых функциях, режимах работы устройств инженерных систем интеллектуальных зданий.

5.2 Перечень унифицируемых параметров

В протоколе дистанционного информационного обмена унификации подлежат общие принципы, обеспечивающие реализацию информационного обмена с абонентами на верхнем уровне, инвариантно к особенностям устройств одного типа и поставщику оборудования. Под абонентами понимаются устройства инженерных систем интеллектуальных зданий, подключаемые непосредственно к контроллеру интеллектуального здания, либо через УСПД, независимо от применяемых технологий передачи данных и протоколов нижнего уровня.

Унификация формата представления данных и команд производится для всех рассмотренных выше типов устройств, инвариантно к особенностям устройств одного типа и поставщику оборудования, но с учетом особенностей режимов функционирования.

Режимы функционирования и передачи данных:

- рабочий (штатный);
- аварийный;
- технологический.

Передача данных необходимых для решения задач управления инженерными системами осуществляется в штатном режиме. Дата, время и периодичность обмена определяется настройками для каждого вида данных.

Аварийный режим предназначен для внеплановой передачи оповещений о нештатной ситуации (авария, хищение и пр.). Порядок выдачи оповещений определяется настройками для каждого вида оповещений. По умолчанию (кроме датчиков аварийных ситуаций, охраны и т.п.) должно быть установлено: периодичность обмена: разово, повтор 3 раза с интервалом 1 мин.

В технологическом режиме обеспечивается решение задач настройки, тестирования, изменения конфигурации и т.п. Дата, время и периодичность обмена определяется особенностями для каждого типа устройств.

Обязательными передаваемыми в каждом сообщении данными для всех устройств, независимо от их типа и производителя, во всех режимах работы являются:

- идентификационный номер устройства или его сетевой адрес;
- время формирования сообщения.

Перечень данных, передаваемых сенсорами в рабочем режиме приведен в приложении А. Перечень команд, выдаваемых контроллером интеллектуального здания на исполнительные устройства в рабочем режиме приведен в приложении Б.

В аварийном режиме все устройства должны иметь возможность выдачи сообщения о вскрытии корпуса устройства, аварии (неисправности оборудования) и код нештатной ситуации (определяется производителем оборудования). Устройства с независимым питанием – сообщения о хищении, критическом значении напряжения питания. Устройства с питанием от электросети – о пропадании электропитания (разово).

Технологический режим предусматривает двусторонний обмен, в ходе которого прибор устройство может получать сообщения, содержащие команды и дополнительные параметры. В ответ на получаемые команды устройством должны быть выданы сообщения и значения параметров. Перечень команд, ответных сообщений и параметров приведен в таблице 5.

Под словом состояния устройства понимается кодированное сообщение, характеризующее его состояние (режим работы и т.п.) в установленном производителем формате.

Внешним параметром для сенсора является текущее значение измеряемого параметра (физической величины). Для устройств, производящих измерение только одного параметра, допустимо не указывать идентификатор этого параметра.

Внутренним параметром являются константы пересчета, единицы измерения (если их несколько), текущие значения даты и времени, значения порогов измеряемого параметра, пароль, значения настроек регламента выдачи сообщений (размер временного окна, расписание и периодичность) и т.п.

Таблица 5 – Перечень команд, ответных сообщений и параметров технологического режима

Команда на устройство	Параметр для устройства	Ответное сообщение	Параметр сообщения
Выдать состояние устройства	-	-	Слово состояния устройства
Выдать текущее значение внешнего параметра	Идентификатор параметра	Идентификатор параметра	Значение параметра
Выдать текущее значение внутреннего параметра	Идентификатор параметра	Идентификатор параметра	Значение параметра
Присвоить внутреннему параметру значение	Идентификатор параметра, значение параметра	Идентификатор параметра	Новое значение параметра
Выдать аварийное сообщение	Идентификатор аварийного сообщения	Выдача аварийного сообщения	Состав аварийного сообщения
Выдать идентификационный номер устройства	-	-	Идентификационный номер устройства
Выдать сетевой адрес устройства	-	-	Сетевой адрес устройства
Выдать дополнительную информацию об устройстве	Тип дополнительной информации	Тип дополнительной информации	Дополнительная информация

Запрос и выдача аварийного сообщения производятся при необходимости контроля правильности его формирования, выдачи и реакции на него системы.

Запрос и выдача идентификационного номера и сетевого адреса устройства производятся в целях проверки и настройки системы адресации устройств в сегменте сети.

Тип дополнительной информации и ее состав, характеризующий особенности конкретного устройства, определяются его производителем. При выполнении многофункциональным устройством функции учета потребления какого-либо ресурса порядок информационного в данной части определяется СТБ 2559-2019.

6 Разработка рабочего варианта формата представления данных и регламента информационного обмена устройств инженерных и иных систем интеллектуального здания

6.1 Формат передаваемых сообщений

Формат сообщения в соответствии с требованиями, сформированными на этапе 1 настоящей НИР, определяется как нотация JSON [21]. Каждое сообщение является отдельным объектом. Объект – неупорядоченный набор пар ключ/значение. Объект (рисунок 7) начинается с «{» (открывающей фигурной скобки) и заканчивается «}» (закрывающей фигурной скобкой). Каждое имя сопровождается «:» (двоеточием), пары ключ/значение разделяются «,» (запятой).

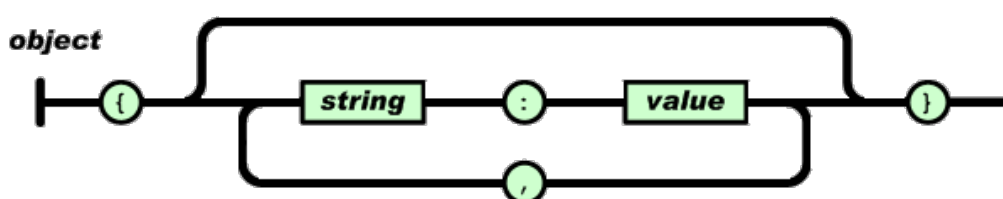


Рисунок 7 – Сообщение как объект JSON

Ключ является «строкой» (string), идентифицирующей передаваемое «значение» (value). Значение (рисунок 8) может быть строкой в двойных кавычках, числом, true, false, null, объектом или массивом. Эти структуры могут быть вложенными.

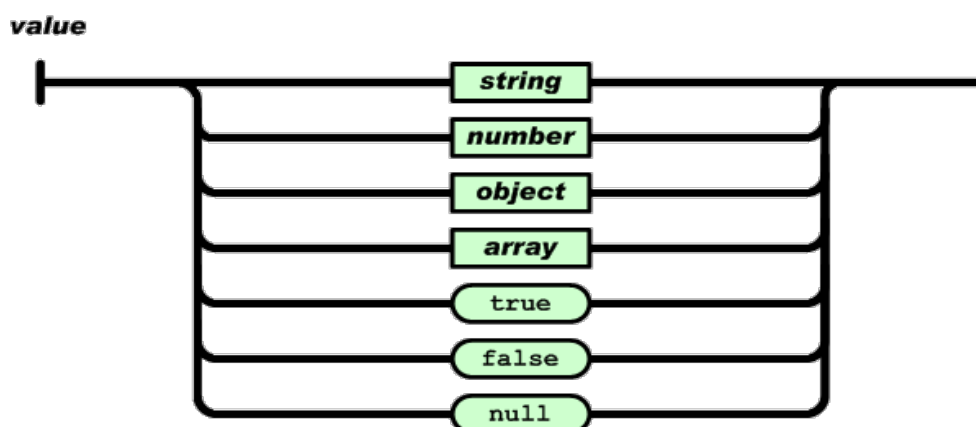


Рисунок 8 – Варианты передаваемого значения

Строка – коллекция нуля или более символов Unicode (рисунок 9), заключенная в двойные кавычки, используя «\» (обратную косую черту) в качестве символа экранирования. Символ представляется как односимвольная строка.

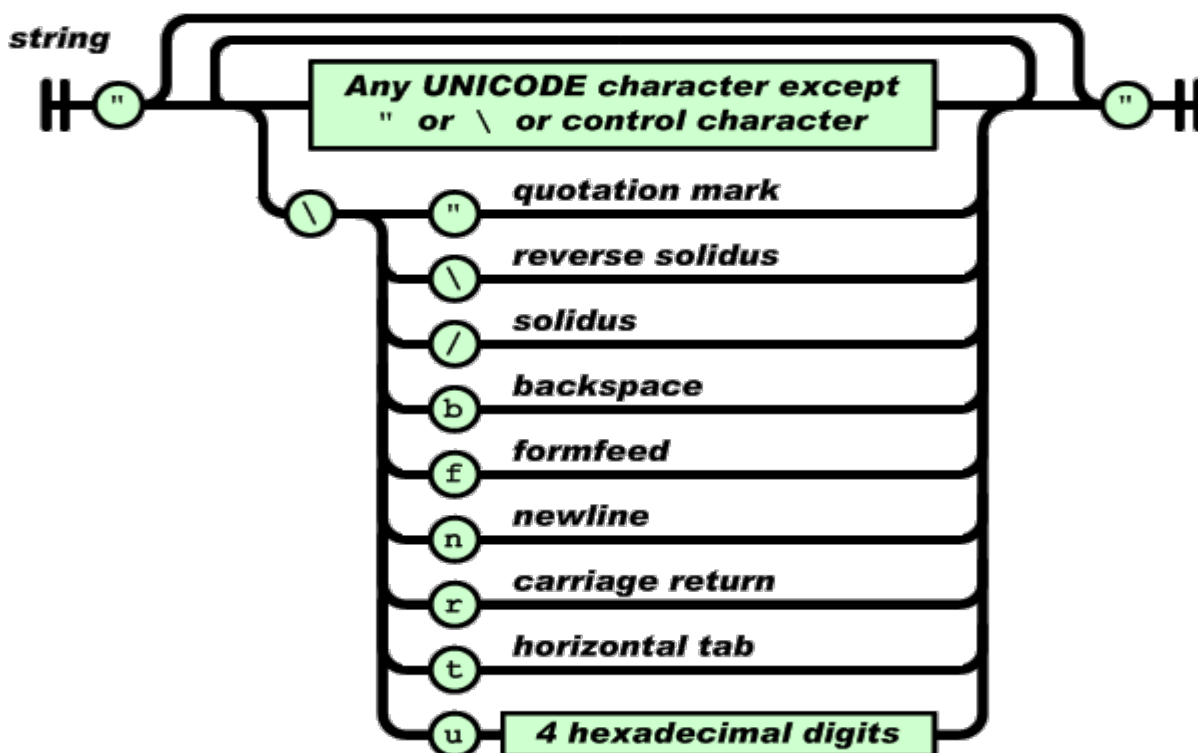


Рисунок 9 – Представление строки

Массив – упорядоченная коллекция значений (рисунок 10). Массив начинается с «[» (открывающей квадратной скобки) и заканчивается «]» (закрывающей квадратной скобкой). Значения разделены «,» (запятой).

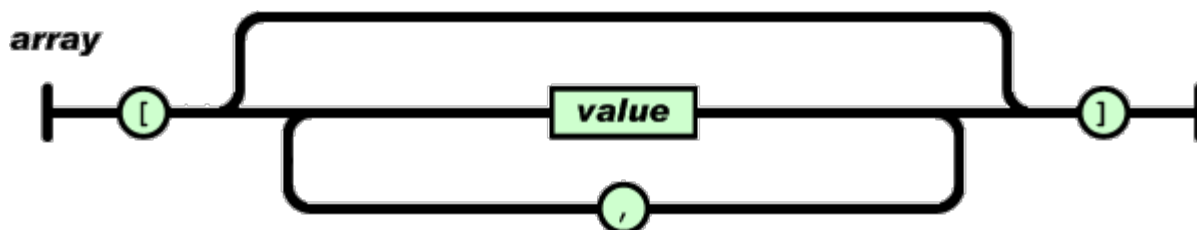


Рисунок 10 – Представление массива

Число представляется так же, как в языках программирования «С» или «Java» (рисунок 11), но используется только десятичная система счисления.

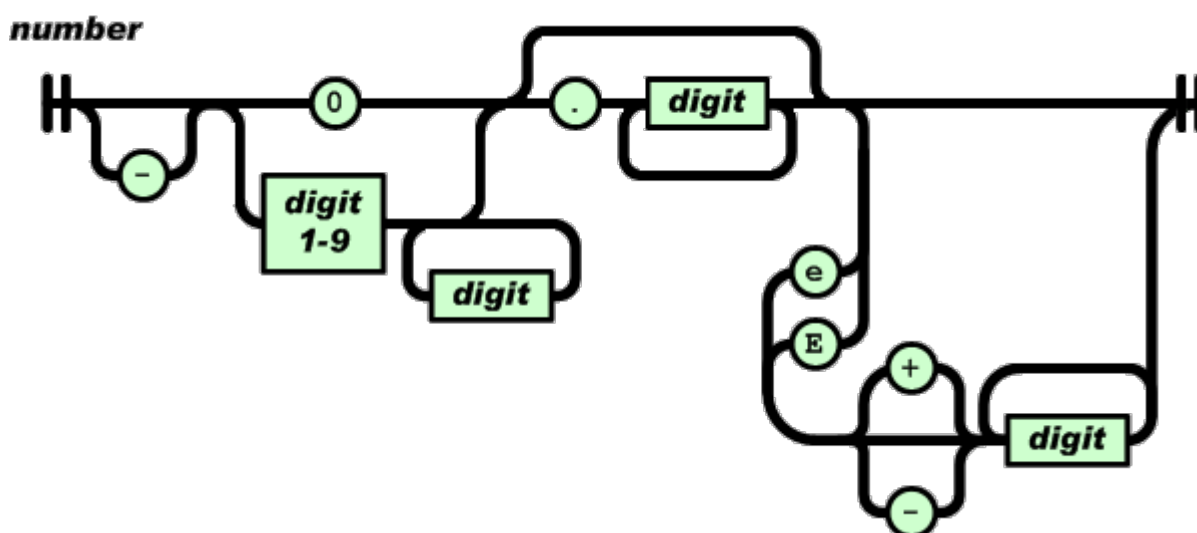


Рисунок 11 – Представление числа

Все значения представляются в виде символов в кодировке ASCII [17].

Минимальный состав сообщения от абонента включает идентификатор отправителя, время формирования сообщения (измерения значения параметра) и, хотя бы один передаваемый параметр. Максимальное количество параметров, передаваемых в составе одного сообщения, устанавливается при инициализации абонента (определяется свойствами оборудования абонента и системы передачи данных).

Перечень передаваемых команд, параметров, данных и их идентификаторы приведены в приложении В.

6.2 Протокол обмена сообщениями

При передаче данных от сенсоров, в случае применения питания от батарей, может быть использована передача сообщений без квитирования (без подтверждения факта правильного принятия сообщения). В этом случае абонент после активизации оборудования (выход из режима энергосбережения по событию или по таймеру) производит передачу одного и того же сообщения установленное (в настройках модема) количество раз, открывает окно приема на установленный временной интервал, и, при отсутствии команд на изменение режима обмена, опять переходит в энергосберегающий режим.

Для абонентов, использующих питание от сети, рекомендуется применять передачу данных с квитированием. В ответ на переданное абонентом сообщение контроллер подтверждает факт его правильного приема. При отсутствии квитанции в установленном временном интервале абонент повторяет передачу (количество повторов и интервал между ними устанавливается при инициализации абонента).

При получении абонентом команды от контроллера он выполняет ее и в ответном сообщении передает запрошенные значения указанных параметров или иной результат выполнения команды. Контроллер, получив ответ от абонента, производит контроль соответствия времени формирования ответа (в целях определения правильности функционирования системы передачи данных и валидности показаний системных часов абонента).

Ограничения на размер передаваемых сообщений могут быть наложены размерами буферов используемых технических средств. Максимальный размер передаваемого сообщения (при передаче архива) как правило не превышает 10^3 байт, что существенно меньше типового размера буфера в современных технических средствах. Следовательно, практические ограничения на размер передаваемых сообщений отсутствуют.

6.3 Обеспечение безопасности передаваемых данных

В соответствии с методикой классификации ИС [26], разрабатываемые протокол и формат предназначены для применения в ИС классов «5-частн» и «5-гос». Для ИС данных классов обеспечение безопасности передаваемой информации средствами технической и криптографической защиты не предусмотрено [27]. Требуемый уровень защиты передаваемых данных обеспечивается транспортными протоколами используемой системы передачи данных в соответствии с реализованными технологиями электросвязи.

Выводы

Разработаны и обоснованы требования к формату представления данных, к протоколам обмена устройств инженерных систем интеллектуальных зданий, что позволит произвести аргументированный выбор протоколов обмена и разработать рациональный формат передаваемых данных.

Унификация форматов представления данных и протоколов обмена в интеллектуальных зданиях позволит обеспечить инвариантность систем к моделям устройств и их производителям, что исключит зависимость от поставщика и будет способствовать снижению стоимости внедрения, применения и развития интеллектуальных зданий, реализовать необходимое масштабирование решений (вплоть до масштабов Республики Беларусь в целом), формализовать взаимодействие интеллектуальных зданий с другими АИС и решениями «умного города», получить конкурентное преимущество (в сравнении с аналогичными АИС разработанными за рубежом) в случае создания проектов для иностранных заказчиков.

Разработанные требования к формату представления данных и протоколу их передачи в перспективе могут быть использованы при развитии систем интеллектуальных зданий в рамках концепции IoT и в иных решениях «умного города», путем расширения функциональности применяемых устройств, использующих различные физические принципы получения информации и управляющих разнообразными технологическими и иными процессами в интересах населения, бизнеса и органов местного управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы «Унификация информационного обмена в системах жизнеобеспечения интеллектуальных зданий» на основе сведений о существующих протоколах обмена и форматах представления данных, с учетом необходимости их унификации для использования в инженерных и иных системах жилых и общественных интеллектуальных зданий, действующих на территории Республики Беларусь и в мире ТНПА, мирового опыта реализации автоматизированных информационно-управляющих систем и решений «умного города» выполнены задачи:

- анализ существующих устройств, применяемых в решениях для инженерных и иных систем интеллектуальных зданий, их классификация, определение состава и объема передаваемой информации, требований к качеству ее представления и передачи;
- анализ существующих технологий, форматов и протоколов обмена данными в устройствах инженерных и иных систем интеллектуального здания, технических решений, применяемых для организации информационного обмена;
- выявление существующих проблем и имеющихся недостатков в организации информационного обмена данными устройств, применяемых в инженерных и иных системах здания;
- формирование системы требований (показателей и критериев выполнения) и обоснование обобщенного подхода к унификации информационного обмена;
- разработка детальной концепции унификации информационного обмена устройств инженерных и иных систем, включая возможные подходы и обобщенные технические требования;
- разработка рабочего варианта формата представления данных и регламента информационного обмена устройств инженерных и иных систем интеллектуального здания.

Таким образом, результаты данной работы позволят произвести:

- согласование разработанных требований к форматам представления и протоколам передачи данных с поставщиками оборудования и ПО для интеллектуальных зданий;
- разработку унифицированных формата представления и протокола передачи данных для инженерных систем интеллектуальных зданий в целях их интеграции в единую систему «умного города»;
- создание макета ИС, включающей устройства инженерных систем интеллектуальных зданий, использующие разработанные унифицированные форматы представления и протоколы передачи данных;
- отладку разработанных унифицированных форматов представления и протоколов передачи данных;
- уточнение разработанных унифицированного формата представления и протокола передачи данных по результатам отладки на макете.

Все научные задачи, поставленные в работе, выполнены в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 марта 2016 г. № 235 «Об утверждении Государственной программы развития цифровой экономики и информационного общества на 2016–2020 годы».
2. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход в современной науке // Проблемы методологии системных исследований. – М.: Мысль, 1970. – С. 7–48.
3. ISO/IEC 2382:2015 Information technology – Vocabulary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en> – Дата доступа 25.07.2020.
4. ГОСТ ИСО/МЭК 2382-1-99. Информационная технология. Словарь. Часть 1. Основные термины и определения // - Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - 1999. - 40 с.
5. Жизнеобеспечение. Медицинская энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rus-medical.slovaronline.com/11239-Жизнеобеспечение> – Дата доступа 26.08.2020
6. Обитаемость. Большая медицинская энциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://бмэ.орг/index.php/ОБИТАЕМОСТЬ> – Дата доступа 26.08.2020
7. СТБ 2559-2019. Унифицированная система управления, контроля и учета информации инженерных систем интеллектуальных зданий. Оборудование электросвязи дистанционного съема. Обмен данными верхнего уровня.
8. Ермолаев О. Ю. Математическая статистика для психологов. Учебник. // Российская академия образования. Московский психолого-социальный институт. – М.: Флинта, 2003. – 335 с.
9. The Modbus Protocol In-Depth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ni.com/white-paper/52134/en/> – Дата доступа 26.08.2020.
10. P-NET is an international fieldbus standard (IEC 61158 type 4) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.proces-data.com/the-p-net-fieldbus/> – Дата доступа 26.08.2020.
11. LIN (Local Interconnect Network) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.bmstu.wiki/LIN_\(Local_Interconnect_Network\)](https://ru.bmstu.wiki/LIN_(Local_Interconnect_Network)) – Дата доступа 26.08.2020.
12. HART Protocol Specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fieldcommgroup.org/hart-specifications> – Дата доступа 26.08.2020.
13. PROFIBUS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.profibus.com/technology/profibus/> – Дата доступа 26.08.2020.
14. Ebook - Automatisieren ist einfach - mit AS-Interface [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.as-interface.net/news-events/ebook> – Дата доступа 26.08.2020.
15. CiA develops and publishes specifications, recommendations, guidelines, and application notes. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.can-cia.org/standardization/specifications/> – Дата доступа 26.08.2020.
16. The M-Bus: A Documentation Rev. 4.8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.m-bus.com/mbusdoc/default.php> – Дата доступа 26.08.2020.
17. An Overview, History, and Formation of IEEE P1901.2 for Narrowband OFDM PLC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5676> – Дата доступа 26.08.2020.
18. Несовершенство технологии PLC. Проблемы с которыми сталкиваются в процессе эксплуатации АСКУЭ PLC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://embeenpo.blogspot.com/2014/01/plc.html> – Дата доступа 26.08.2020.

19. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Исследование условий внедрения в Республике Беларусь технологий IoT/M2M», этап 2 «Исследование принципов построения и функциональной архитектуры сетей IoT/M2M на базе сетей доступа различных технологий», Мн.: ОАО «Гипросвязь», 2020. – 112 с.
20. LonTalk Protocol [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20011120073956/http://www.geocities.com/lonsite/protocol.html> – Дата доступа 12.07.2020.
21. BACNET BOOKS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bacnet.org/Books/index.html> – Дата доступа 26.08.2020.
22. DLMS/COSEM Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dlms.com/documentation/index.html> – Дата доступа 26.08.2020.
23. Extensible Markup Language (XML) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.w3.org/XML/> – Дата доступа 26.08.2020.
24. Введение в JSON [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://json.org/json-ru.html> – Дата доступа 26.08.2020.
25. Ajax Tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.xul.fr/en-xml-ajax.html> – Дата доступа 26.08.2020.
26. СТБ 34.101.30-2017. Информационные технологии. Методы и средства безопасности. Информационные системы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop.belgiss.by/ru/gosudarstvennyye-standarty/stb-34-101-30-2017> – Дата доступа 26.07.2020.
27. Приказ Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь № 62 от 30.08.2013 (в редакции приказа Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь № 64 от 11.10.2017). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://oac.gov.by/files/files/pravo/prikazi_oac/Prikaz_OAC_62.htm – Дата доступа 26.07.2020.

Приложение А

Перечень типов сенсоров и примерный состав выдаваемых ими данных

Перечень типов сенсоров, видов измеряемых параметров, единицы измерения, примерный диапазон возможных значений измеряемых параметров и регламент измерения приведен в таблице А.1.

Таблица А.1 – Сенсоры

Тип сенсора	Изменяемый параметр	Единица измерения	Диапазон значений	Регламент измерения
Электростатического поля	Напряженность электрического поля	кВ/м (Н/Кл)	0.1 – 200	ГОСТ 12.1.045-84 «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
	Электростатический потенциал	кВ		
Магнитного поля	Индукция магнитного поля	мкТл	0.1 – 50	Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению безопасности и безвредности воздействия на население электрических и магнитных полей тока промышленной частоты 50 Гц». Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 12 июня 2012 № 67
	Напряженность магнитного поля	А/м	0.1 – 40	
Радиометр ионизирующего излучения	Мощность рентгеновского излучения	Гр/с (мкР/час, мкрад/час;	2•10 ⁻¹² – 3•10 ⁻⁶	СанПиН 2.6.1.8.-8-2002 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной
	Мощность гамма излучения	мкГр/час; мкЗв/час)		

Тип сенсора	Измеряемый параметр	Единица измерения	Диапазон значений	Регламент измерения
				безопасности" (ОСП-2002). Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22.02.2002 N 6
Ультрафиолетового излучения	Энергетическая освещенность	мВт/м ²	10 – 60000	«Допустимые значения показателей ультрафиолетового излучения производственных источников», утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14 декабря 2012 № 198. ГОСТ Р 8.759-2011
Видимого света	Освещенность	лк	1 – 20000	ГОСТ 24940-2016
	Цветовая температура	К	2360 – 2856	ГОСТ 8.023-2003 ГОСТ 17616-82
	Коэффициент пульсаций	%	1 – 99	СТБ IEC 60598-1-2008 ГОСТ 17616-82
Инфракрасные	Тепловая облученность	Вт/м ²	1 – 4000	ГОСТ 8.558-2009
Температуры	Температура воздуха	°С (К)	-30 – +60	ГОСТ 8.558-2009 ГОСТ 30494-96
Влажность воздуха	Относительная влажность	%	5 - 98	ISO 8573-3:1999
Скорости движения воздуха	Скорость движения воздуха	м/с	0.1 – 20	ГОСТ Р ИСО 16622-2009
Уровень и перепады давления воздуха	Уровень атмосферного давления	кПа	65 – 110	ГОСТ 12.3.018-79

Тип сенсора	Измеряемый параметр	Единица измерения	Диапазон значений	Регламент измерения
	Перепад давления воздуха	кПа	±40	
Степень ионизации воздуха	Концентрация аэроионов в воздухе	шт/м ³	10 ⁸ – 6•10 ¹²	МЭК 61340-4-7:2010 ГОСТ Р 8.846-2013
Содержание нетоксичной пыли	Концентрация пыли в воздухе	мг/м ³	0.01 – 500	
Инфразвукового шума	Эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот 2, 4, 8, 16 Гц	дБА	0 – 137	СанПиН РФ 2.2.4.3359-16
	Максимальный общий уровень инфразвука	дБ	0 – 120	
Шума слышимого диапазона	Эквивалентный уровень звука	дБА	0 – 100	ГОСТ 12.1.003-83
	Максимальные уровни звука, измеренные с временными коррекциями	дБА	0 – 125	
	Пиковый уровень звука	дБ	0 – 137	
Ультразвукового шума	Уровни звукового давления в децибелах в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами 12,5, 16, 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100 кГц	дБ	0 – 120	ГОСТ 12.1.001-89
Вибрации	Общей вибрации	дБ	10 – 120	ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997)

Тип сенсора	Измеряемый параметр	Единица измерения	Диапазон значений	Регламент измерения
	Местной вибрации			Санитарные нормы и правила. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 26.12.2013 № 132
	Ускорения	м/с ²	2•10 ⁻³ – 3•10 ²	ГОСТ 12.1.012-2004 ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253:2003)
Деформации конструкции	Относительное изменение размера	мкм/м	0 - 50	ГОСТ 24846-2012 ГОСТ 27751-88 СНБ 1.02.01 2019
Перемещение конструкции	Линейное перемещение	мм	0 - 50	СНБ 5.03.01-02 2003
Наклона конструкции	Угол наклона	рад	0 – 0,1	
Газового состава воздуха	Содержание O ₂	%	0 – 30	Санитарные нормы и правила. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 11.10.2017 № 92
	Содержание CO ₂	мг/м ³	0 – 500	
	Прочие вредные вещества	мг/м ³		
Затопления	Наличие воды			
Пожар и задымление	Оптические свойства воздуха			
Утечки природного газа	Концентрация природного газа в воздухе	Условные единицы		Определен производителем
Несанкционированного проникновения	Звук, движение, вибрация, температура, разрыв электрической цепи и пр.			Определен производителем
Наличия людей в помещении				

Приложение Б

Перечень типов исполнительных устройств и примерный состав принимаемых ими команд

Перечень исполнительных устройств, выполняемых функций, возможных значений состояний и необходимых команд управления приведен в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Исполнительные устройства

Тип исполнительного устройства	Функция	Возможные состояния	Команды управления
Вентиль водоснабжения	Включение / выключение подачи воды	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Вентиль (насос) водоотведения (канализации)	Включение / выключение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Вентиль электроснабжения	Включение / выключение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Вентиль газоснабжения	Выключение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Регулятор отопления (подачи теплоносителя) неавтоматический	Установка требуемого состояния / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение регулятора 0 (Выкл, OFF)
Регулятор отопления (подачи теплоносителя) автоматический	Установка требуемой температуры / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение температуры 0 (Выкл, OFF)
Вентиляция нерегулируемая	Включение / выключение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Вентиляция регулируемая	Установка требуемого состояния / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение регулятора 0 (Выкл, OFF)

Тип исполнительного устройства	Функция	Возможные состояния	Команды управления
Фильтрация воздуха	Включение / выключение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Кондиционирование воздуха	Установка требуемого состояния / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение регулятора 0 (Выкл, OFF)
	Установка требуемой температуры / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение температуры 0 (Выкл, OFF)
	Рециркуляция воздуха	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
	Увлажнение воздуха	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение регулятора 0 (Выкл, OFF)
	Увлажнение воздуха автоматическое	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение влажности 0 (Выкл, OFF)
Противопожарная защита	Оповещение при пожаре	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
	Приточная и вытяжная противодымная вентиляция	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
	Огнепреграждающее устройство	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
	Автономные установки пожаротушения	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)

Тип исполнительного устройства	Функция	Возможные состояния	Команды управления
	Устройства пожаротушения	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Охранная	Сигнализация и оповещение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
	Препграждающие устройства (замки, ворота и т.п.)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
Освещения	Включение / выключение	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)	1 (Вкл, ON) 0 (Выкл, OFF)
	Установка требуемого состояния / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение регулятора 0 (Выкл, OFF)
	Установка требуемой освещенности / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение освещенности 0 (Выкл, OFF)
	Установка требуемого цвета / выключение	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить значение требуемого цвета 0 (Выкл, OFF)
	Установка требуемого режима работы	Заданное положение 0 (Выкл, OFF)	Установить указанный режим

Приложение В

Перечень передаваемых команд, параметров, данных и их идентификаторы

Перечень параметров, необходимых для обеспечения функционирования информационной системы интеллектуального здания, которые могут передаваться всеми типами устройств и их идентификаторы приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Параметры, передаваемые от всех типов устройств

Наименование параметра	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Заводской номер устройства		factory_number	Число
Учетный номер устройства		serial_number	Число
Тип устройства		device_type	Строка
Дата выпуска устройства		date_created	Дата
Версия программного обеспечения		soft_version	Строка
Сетевой адрес устройства		network_address	Строка
Время формирования сообщения		time	Число
Общее время работы устройства	ч	work_hours	Число
Время нормальной работы устройства	ч	norm_work_hours	Число
Время работы устройства с ошибками	ч	err_work_hours	Число
Заводской номер радиомодуля		radio_number	Число
Уровень заряда батареи	%	charge	Число
Низкий уровень заряда батареи	%	charge_errors	Число
Продолжительность работы радиомодуля от батареи	ч	radio_hours	Число
Отсутствие внешнего электроснабжения		no_toque	Логическое значение
Код нештатной ситуации		unusual_code	Строка
Код ошибки		errors	Число
Слово состояния устройства		state	Строка
Хищение устройства		stealing	Логическое значение
Вскрытие корпуса устройства		opening	Логическое значение
Изменение состава устройства		disassembly	Логическое значение
Суточный архив		day_ar	Массив
Часовой архив		hour_ar	Массив
Месячный архив		month_ar	Массив
Дата и (или) время последнего сброса		reset_date	Дата
Дата и (или) время события		event_date	Дата

Наименование параметра	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Время возникновения неисправности		err_hours	Дата
Системное время		sys_time	Число
Системная дата		sys_date	Дата
Астрономическое время последнего изменения (перепрограммирования) указанного внутреннего параметра		change_date	Дата
Дата перепрограммирования устройства		reprogramming_date	Дата
Дата поверки измерительного устройства		verification_date	Дата
Место установки		install_place	Строка
Номер места установки		install_number	Число
Блокировка устройства по паролю		password_lock	Логическое значение
Единица измерения указанного параметра		measure	Строка
Диапазон измерений		range	Массив
Архив событий состояния устройства		meter_state_ar	Массив
Дополнительная информация		additional_info	Строка

Перечень данных (результатов измерения физического параметра), выраженных в шкале отношений и необходимых для обеспечения функционирования информационной системы интеллектуального здания, которые могут передаваться измерительными сенсорами и их идентификаторы приведены в таблице В.2. Передаваемое значение (число) должно содержать не менее двух цифр.

Таблица В.2 – Данные, передаваемые от измерительных сенсоров

Наименование	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Электромагнитные			
Напряжение	В	voltage	Число
Ток	А	toque	Число
Мощность активная	Вт	power_active	Число
Мощность полная	ВА	power	Число
Частота сети	Гц	freaquency	Число
Напряжённость электрического поля	В/м	electric_field_strength	Число
Электростатический потенциал	кВ	electrostatic_potential	Число
Индукция магнитного поля	мкТл	magnetic_induction	Число
Напряженность магнитного поля	А/м	magnetic_strength	Число
Мощность рентгеновского излучения	Гр/с	X-ray_power	Число

Наименование	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Мощность гамма излучения	Гр/с	gamma-ray_power	Число
Энергетическая освещённость ультрафиолетового излучения	мВт/м ²	ultraviolet_radiation	Число
Освещённость видимым светом	лк	illumination	Число
Цветовая температура света	К	color_temperature	Число
Коэффициент пульсаций освещения	%	ripple_lighting	Число
Тепловая облученность (инфракрасного диапазона)	Вт/м ²	thermal_irradiance	Число
Физические свойства воздушной среды			
Температура воздуха	°С	air_temperature	Число
Относительная влажность	%	humidity	Число
Скорость движения воздуха	м/с	air_velocity	Число
Уровень атмосферного давления	кПа	air_pressure	Число
Перепад давления воздуха	кПа	air_pressure_drop	Число
Концентрация аэроионов в воздухе	шт/м ³	air_aeroions	Число
Концентрация пыли в воздухе	мг/м ³	air_dust	Число
Механические			
Инфразвуковой шум			
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 2 Гц	дБА	sound_pressure_2Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 4 Гц	дБА	sound_pressure_4Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 8 Гц	дБА	sound_pressure_8Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 16 Гц	дБА	sound_pressure_16Hz	Число
Максимальный общий уровень инфразвука	дБ	infrasound_max	Число
Шум слышимого диапазона			
Эквивалентный уровень звука	дБА	sound_level	Число
Максимальные уровни звука, измеренные с временными коррекциями	дБА	max_sound_level	Число
Пиковый уровень звука	дБ	peak_sound	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 31.5 Гц	дБА	sound_pressure_31Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 63 Гц	дБА	sound_pressure_63Hz	Число

Наименование	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 125 Гц	дБА	sound_pressure_125Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 250 Гц	дБА	sound_pressure_250Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 500 Гц	дБА	sound_pressure_500Hz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 1 кГц	дБА	sound_pressure_1kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 2 кГц	дБА	sound_pressure_2kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 4 кГц	дБА	sound_pressure_4kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе 8 кГц	дБА	sound_pressure_8kHz	Число
Ультразвуковой шум			
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 12.5 кГц	дБА	sound_pressure_12kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 16 кГц	дБА	sound_pressure_16kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 20 кГц	дБА	sound_pressure_20kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 25 кГц	дБА	sound_pressure_25kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 31.5 кГц	дБА	sound_pressure_31kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 40 кГц	дБА	sound_pressure_40kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 50 кГц	дБА	sound_pressure_50kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 63 кГц	дБА	sound_pressure_63kHz	Число

Наименование	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 80 кГц	дБА	sound_pressure_80kHz	Число
Эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе 100 кГц	дБА	sound_pressure_100kHz	Число
Вибрация			
Уровень общей вибрации	дБ	general_vibration	Число
Уровень местной вибрации	дБ	local_vibration	Число
Частота вибрации	Гц	vibration_frequency	Число
Ускорение	м/с ²	acceleration	Число
Деформации			
Относительное изменение размера	мкм/м	change_size	Число
Линейное перемещение	мм	displacement	Число
Угол наклона	рад	inclination	Число
Газовый состав воздуха			
Содержание кислорода (O ₂)	%	oxygen	Число
Содержание углекислого газа (CO ₂)	%	carbon_dioxide	Число
Содержание угарного газа (CO)	мг/м ³	carbon_monoxide	Число
Содержание сернистого ангидрида (SO ₂)	мг/м ³	sulfur_dioxide	Число
Содержание окиси азота (NO)	мг/м ³	nitrogen_oxide	Число
Содержание двуокиси азота (NO ₂)	мг/м ³	nitrogen_dioxide	Число
Содержание пятиокси ванадия (V ₂ O ₅)	мг/м ³	vanadium_pentoxide	Число
Содержание сероуглерода (CS ₂)	мг/м ³	carbon_disulphide	Число
Содержание ксилола ((CH ₃) ₂ C ₆ H ₄)	мг/м ³	xylene	Число
Содержание бензола (C ₆ H ₆)	мг/м ³	benzene	Число
Содержание бензопирена (C ₂₀ H ₁₂)	мг/м ³	benzopyrene	Число
Содержание толуола (C ₆ H ₅ -CH ₃)	мг/м ³	toluene	Число
Содержание хлора (Cl)	мг/м ³	chlorine	Число
Содержание сажи	мг/м ³	soot_air	Число
Содержание озона (O ₃)	мг/м ³	ozone	Число
Содержание тетраэтилсвинца (C ₈ H ₂₀ Pb)	мг/м ³	tetraethyl_lead	Число
Содержание формальдегида (НСОН)	мг/м ³	formaldehyde	Число
Содержание фенола (C ₆ H ₅ ОН)	мг/м ³	phenol	Число
Содержание сероводорода (H ₂ S)	мг/м ³	hydrogen_sulfide	Число
Содержание метилмеркаптана (CH ₃ SH)	мг/м ³	methylmercaptan	Число

Наименование	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Содержание нитробензола (C ₆ H ₅ NO ₂)	мг/м ³	nitrobenzene	Число
Содержание аммиака (NH ₃)	мг/м ³	ammonia	Число
Содержание сернистого газа (SO ₂)	мг/м ³	sulphur_dioxide	Число
Содержание метана (CH ₄)	мг/м ³	methane	Число
Содержание пропана (C ₃ H ₈)	мг/м ³	propane	Число
Содержание гексана (C ₆ H ₁₄)	мг/м ³	hexane	Число
Содержание летучих органических веществ (углеводороды, альдегиды, спирты, кетоны, терпеноиды и др.)	мг/м ³	epa_air	Число

Для сенсоров, выдающих данные в дихотомической шкале (логическое значение), возможные значения (On или Вкл и OFF или Выкл) представляются в виде строки. Идентификаторы аналогичны представленным в таблице В.2. Для сенсоров, фиксирующих техногенные чрезвычайные ситуации или антропогенные ситуации, перечень данных и их идентификаторов представлен в таблице В.3.

Таблица В.3 – Данные, передаваемые от сенсоров фиксации ситуаций

Наименование	Единица измерения	Идентификатор	Форма представления
Техногенные чрезвычайные ситуации			
Затопление (протечка воды)		flooding	Логическое значение
Пожар и задымление		fire_smoke	Логическое значение
Утечка природного газа		gas_leak	Логическое значение
Антропогенные ситуации			
Несанкционированное проникновение		unauthorized_entry	Логическое значение
Наличия людей в помещении		people_in_room	Логическое значение
Тревога		alarm	Логическое значение
Нарушение здоровья		health_disorder	Логическое значение

Для сенсоров, выдающих данные в интервальной шкале (допускается до 10 отрезков на интервале измерений), возможные значения представляются в виде целого числа без знака от 0 до 9. Идентификаторы аналогичны представленным в таблицах В.2 и В.3.

Перечень команд управления рабочего режима, их идентификаторы и сопровождающие данные для исполнительных устройств приведены в таблице В.4.

Таблица В.4 – Команды управления рабочего режима для исполнительных устройств

Команда	Идентификатор	Данные
Включить	enable	
Выключить	disable	
Установить значение регулятора	set_value	Число
Увеличить значение регулятора на	inc_value	Число
Уменьшить значение регулятора на	dec_value	Число
Установить значение параметра	set_идентификатор	Число
Увеличить значение параметра на	inc_идентификатор	Число
Уменьшить значение параметра на	dec_идентификатор	Число
Установить указанный режим работы	set_mode	Число или строка

В командах «установить значение ...» в качестве «идентификатора» могут быть использованы значения идентификаторов, приведенные в таблицах В.2 и В.3. Значение и тип данных для команды «Установить указанный режим работы» определяется производителем оборудования.

Перечень команд управления технологического режима, их идентификаторы и сопровождающие данные для устройств приведены в таблице В.5.

Таблица В.5 – Команды управления технологического режима

Команда	Идентификатор	Данные
Выдать данные измерения	request	
Выдать состояние устройства	psw_request	
Выдать текущее значение параметра	идентификатор_request	
Присвоить внутреннему параметру значение	set_идентификатор	Число или строка
Выдать аварийное сообщение	идентификатор_request	
Выдать номер устройства	number_request	
Выдать адрес устройства	address_request	
Выдать дополнительную информацию об устройстве	info_request	
Выдать коды ошибок	err_request	
Установить регламент передачи сообщений	transfer_regulations	Массив

Команда	Идентификатор	Данные
Установить регламент приема сообщений	admission_regulations	Массив
Установить режим квитирования	confirmation	Логическое значение

В командах «Выдать текущее значение параметра» и «Присвоить внутреннему параметру значение» в качестве «идентификатора» могут быть использованы значения идентификаторов, приведенные в таблицах В.1, В.2 и В.3.

Массив регламента сообщений может содержать:

- основной регламент выдачи сообщений на год – reg_out. Возможные значения – nn.dd.hh.mm (nn – номер месяца, 1–12, X, *; dd – номер дня в месяце, 1–31, X, *; hh – час дня, 00–23, X, *; mm – минуты, 00–59, X, *);
- интервал повтора выдачи сообщения в случае отсутствия квитанции подтверждения приема – time_repeat. Возможные значения – mm.cc (mm – минуты, 00–59, X, *; cc – секунды, 00–59, X, *);
- режим подтверждения принятого сообщения (квитирование) – confirmation. Возможные значения – on/off (on – включено; off – выключено);
- основной регламент приема сообщений на год (обязателен для всех приборов с автономным питанием) – reg_in. Возможные значения – nn.dd.hh.mm (nn – номер месяца, 1–12, X, *; dd – номер дня в месяце, 1–31, X, *; hh – час дня, 00–23, X, *; mm – минуты, 00–59, X, *);
- длительность окна приема (обязательна для всех приборов с автономным питанием) – time_in. Возможные значения – mm.cc (mm – минуты, 00–59, X, *; cc – секунды, 00–59, X, *);
- дополнительные регламенты выдачи сообщений на год – reg_out2 – reg_out9. Использование параметра reg_out1 эквивалентно основному регламенту;
- дополнительный регламент выдачи данных на неделю – reg_outw. Возможные значения – dd.hh.mm (dd – номер дня недели, 1–7 (понедельник – воскресенье), X, *);
- дополнительный регламент приема сообщений на месяц (для приборов с автономным питанием) – reg_inw. Возможные значения – dd.hh.mm (dd – номер дня в месяце, 1–31, X, *; hh – час дня, 00–23, X, *; mm – минуты, 00–59, X, *).

Если в качестве одного из символов, определяющих значение даты или времени, используется символ «X» или «*» (ASCII код 2Ah), то действие регламента должно распространяться на любые значения этой позиции. Точное время выдачи должно быть случайно равномерно распределено в пределах интервала, определенного действительным младшим значением поля.

Формат сообщений должен определяться как спецификация JSON [24]. Каждое сообщение – отдельный объект. Объект должен начинаться с символа «{» (открывающая фигурная скобка) и заканчиваться символом «}» (закрывающая фигурная скобка).

Каждое имя должно сопровождаться символом «:» (двоеточием), а пары «ключ – значение» должны разделяться символом «,» (запятая). Ключ должен являться строкой, идентифицирующей передаваемое значение. Значение может быть строкой, числом, true, false, null, объектом или массивом. Эти структуры могут быть вложенными.

Строка – коллекция ноля (или более) символов Unicode, заключенная в двойные кавычки и использующая символ «\» (обратная косая черта) в качестве символа экранирования. Символ должен представляться как односимвольная строка.

Массив – упорядоченная коллекция значений. Массив должен начинаться с символа «[» (открывающая квадратная скобка) и заканчиваться символом «]» (закрывающая квадратная скобка). Значения должны быть разделены символом «,» (запятая).

Число должно представляться так же, как на языках программирования C или Java, но использоваться должна только десятичная система счисления.

Набор символов должен соответствовать ГОСТ 27463.

Минимальный состав сообщения должен включать идентификатор отправителя, время формирования сообщения (измерения значения параметра) и хотя бы один передаваемый параметр. Максимальное количество параметров, передаваемых в составе одного сообщения, должно устанавливаться при инициализации устройства (в зависимости от свойств оборудования и системы передачи данных).