

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ¹

Н. А. Денисенко, А. В. Лавров, К. А. Муравьев, А. И. Чебова

Рассмотрены особенности разработки программно-аппаратного комплекса экспериментальных исследований сенсорной сети датчиков давления с применением стека протоколов ZigBee для передачи данных. Проведен анализ и выбор модулей и микросхем для реализации беспроводной сенсорной сети. Рассмотрен экспериментальный лабораторно-демонстрационный стенд и методика экспериментальных исследований сенсорной сети датчиков давления. Даны рекомендации по применению сенсорных систем датчиков давления на основе протокола ZigBee.

Ключевые слова: сенсорные сети, датчики давления.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) — это беспроводная система, представляющая собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказам отдельных элементов сеть миниатюрных вычислительных устройств с автономным источником питания. Узлы такой системы транслируют сообщения друг через друга, обеспечивая значительную площадь покрытия сетью при малой мощности передатчика (табл. 1) [1, 2].

Первоначально предназначенные для использования в военных целях, сенсорные сети стали активно применяться и для гражданских нужд. На сегодняшний день рынок беспроводных датчиков активно развивается, создан ZigBee альянс для промышленной поддержки новой технологии, в который входят более 100 компаний [3].

Обмен информацией между узлами системы происходит по беспроводным каналам связи по протоколу ZigBee [4]. Данный протокол предоставляет возможности реализации беспроводной связи с низким энергопотреблением для множества приложений, которые осуществляют функции наблюдения и/или управления.

Протокол ZigBee — это международный открытый стандарт, контролируемый объединением ZigBee Alliance, который был создан на основе стандарта IEEE802.15.4 для пакетной беспроводной передачи данных [4]. Он обеспечивает гибкие, расширяемые сетевые топологии, содержит встроенные функции для организации сетей и маршрутизации передаваемых данных, обеспечивает простую установку и высокую устойчивость к сбоям, полноценные меры по безопасности, преодолевает традиционные ограничения маломощных беспроводных сетевых решений, такие как малая дальность и ограниченное покрытие, а также уязвимость к сбоям в узле и в радиолинии.

¹ Работа выполнена в рамках НИОКР по государственному заданию 7.6161.2011 “Гибридные чувствительные элементы интеллектуальных сенсоров распределенных управляющих систем”.

Сравнение характеристик стандартов БСС

| Технология | Стандарт | Использование | Скорость передачи, Mbps | Радиус действия, м | Частоты, ГГц |
|---------------|-----------|---------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| Wi-Fi | 802.11 a | WLAN | 54 | 300 | 5 |
| Wi-Fi | 802.11 b | WLAN | 11 | 300 | 2,4 |
| Wi-Fi | 802.11 g | WLAN | 54 | 300 | 2,4 |
| Wi-Fi | 802.11 n | WLAN | 450 | 300 | 2,4 и 5 |
| WiMax | 802.16 d | WMAN | 75 | $(25...80) \cdot 10^3$ | 1,5...11 |
| WiMax | 802.16 e | WMAN, mobile | 40 | $(1...5) \cdot 10^3$ | 2,3...13,6 |
| WiMax 2 | 802.16 m | WMAN | 1000 | $(120...150) \cdot 10^3$ | — |
| Bluetooth 1.1 | 802.15. 1 | WPAN | 1 | 10 | 2,4 |
| Bluetooth 2.0 | 802.15. 3 | WPAN | 2,1 | 100 | 2,4 |
| Bluetooth 3.0 | 802.11 | WPAN | 3—24 | 100 | 2,4 |
| ZigBee | 802.15.4 | WPAN | 240 | 1...100 | 2,4 |

Наиболее популярными прикладными областями для технологии БСС являются мониторинг объектов, процессов и систем (например, охранной мониторинг), супервизорный контроль и управление (климат-контроль, системы промышленной автоматики и управления), удаленная идентификация и локализация объектов (трекинг) [1—5].

СТРУКТУРА И СОСТАВ МОДЕЛЬНОГО СТЕНДА СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

При внедрении распределенных сенсорных ZigBee систем актуальной задачей является проведение предварительного натурного моделиро-

вания топологии и архитектуры проектируемой сети. Для оперативного решения данной задачи предлагается использовать экспериментальный стенд, который состоит из трех подсистем: подсистемы задания измеряемого давления, подсистемы сбора и передачи информации и подсистемы обработки и отображения информации (рис. 1).

Подсистема сбора и передачи информации решает задачи опроса датчиков давления и передачи их показаний на вход подсистемы обработки и вывода информации, которая в свою очередь преобразует полученные данные в удобочитаемый вид и производит их графическое и текстовое отображение. Состав подсистем и включенные в них узлы представлены в табл. 2.

Стенд (рис. 2) состоит из датчиков давления, освещенности и температуры, к каждому датчику подключен модуль ZigBee, питание каждого осуществляется от аккумуляторов, что позволяет модулям работать автономно. Еще один модуль ZigBee подключен к одноплатному компьютеру по интерфейсу RS-232, его питание может осуществляться как от аккумуляторов, так и от источника питания +9...+30 В.

Также к одноплатному компьютеру подключен сенсорный дисплей по интерфейсу HDMI с обратной связью по USB. Управление одноплатным компьютером может осуществляться напрямую при помощи подключенных к нему клавиатуры и мыши или удаленно, используя протокол удаленного доступа SSH.

ПОДСИСТЕМА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ С ДАТЧИКОВ

Подсистема ввода информации с датчиков, например датчиков давления, предполагает сбор данных и их передачу в вычислительную систему. Сбор данных использует комбинацию модульного оборудования, прикладного ПО (в том числе программирование датчиков) и вычислительного

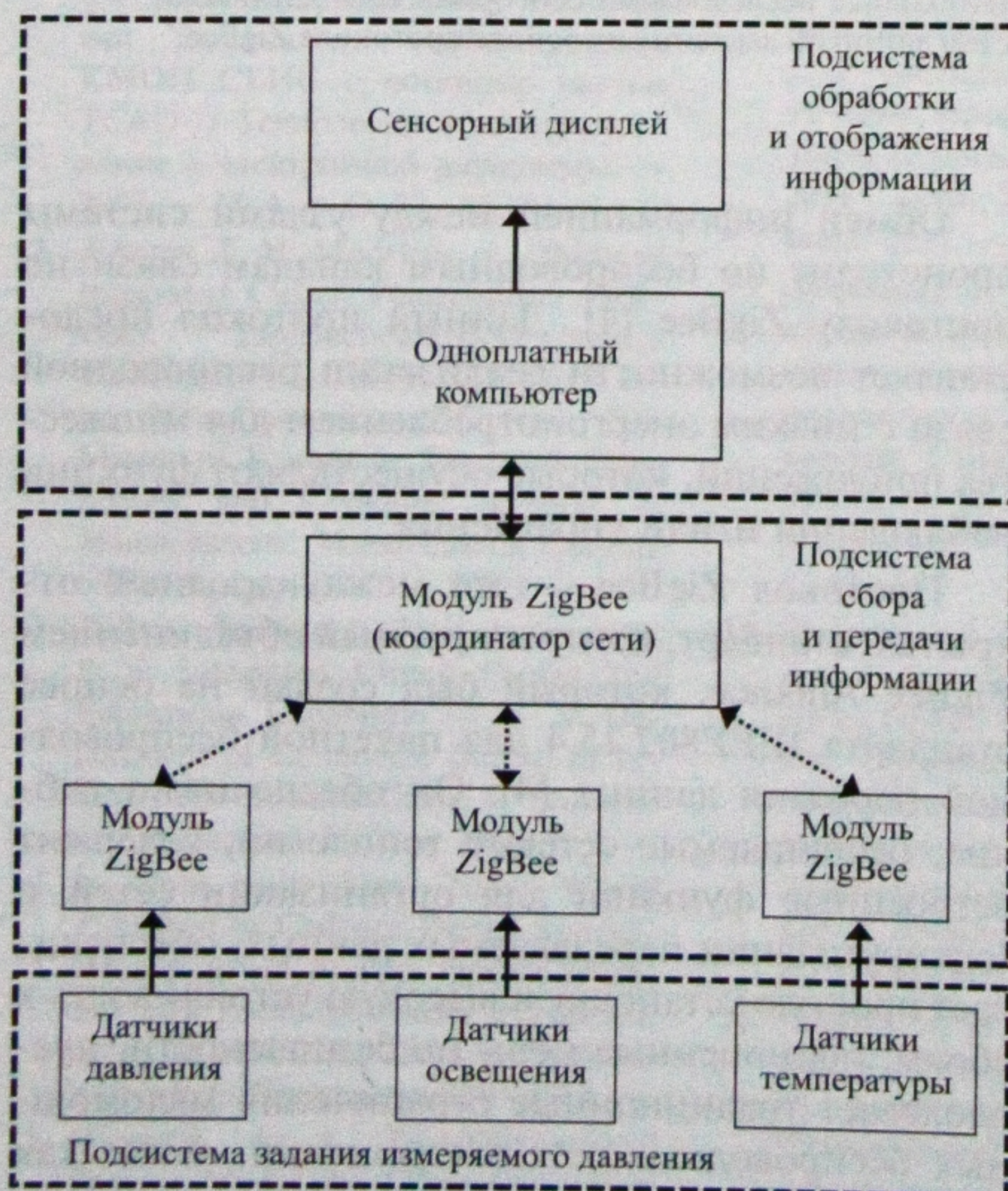


Рис. 1. Структурная схема модельного стенда сенсорной сети

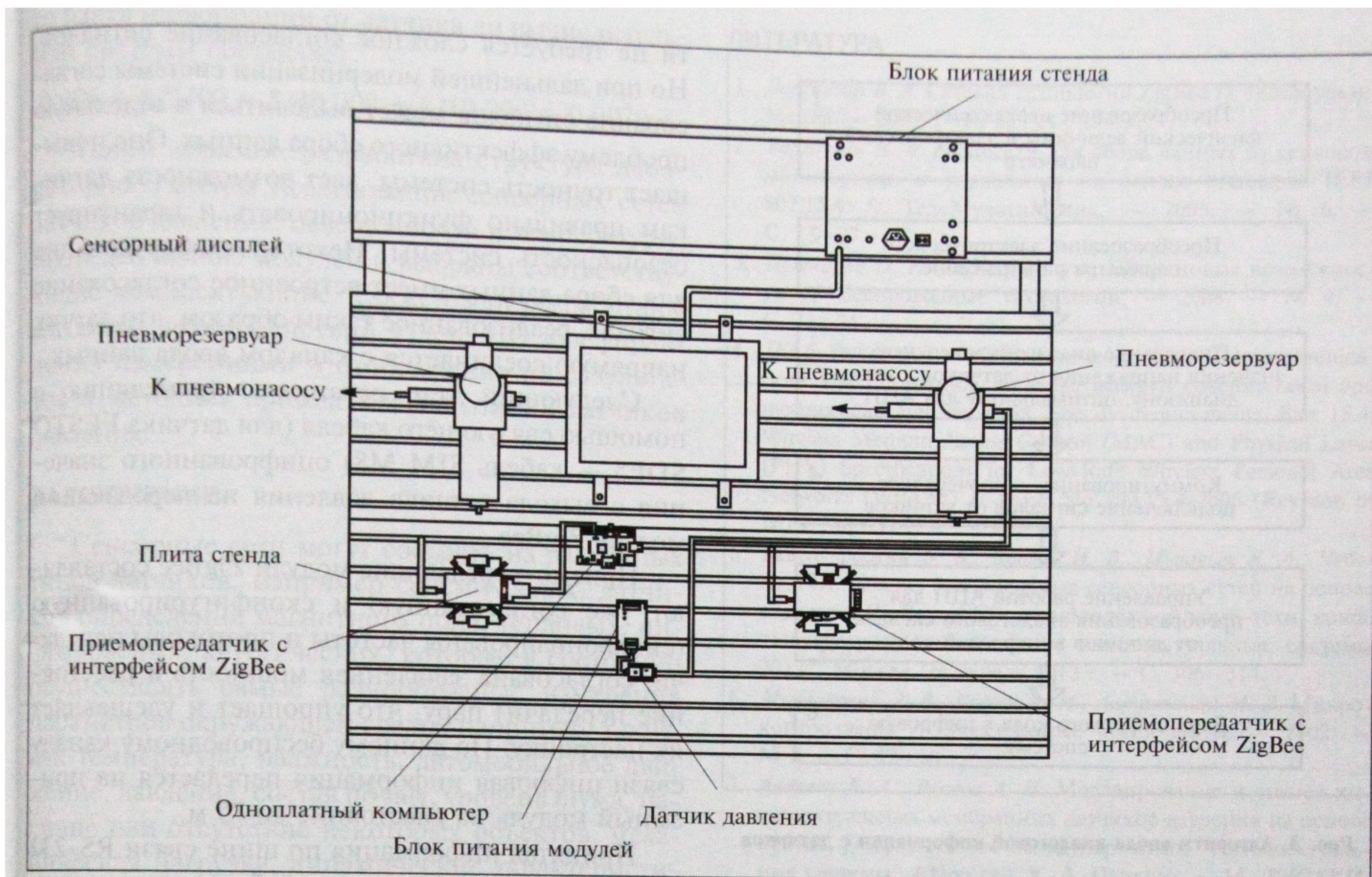


Рис. 2. Схема лабораторного модельного стенда сенсорной сети

блока для проведения измерений. Оборудование для сбора данных действует как интерфейс между компьютером и внешним миром. Алгоритм ввода аналоговой информации в цифровую систему представлен на рис. 3 [5–8].

Первая операция осуществляется с помощью первичного измерительного преобразователя — датчика; вторая — специальной электрической схемой (неуравновешенный мост постоянного тока, электронный потенциометр и др.); третья опе-

Таблица 2

Состав подсистем модельного стенда сенсорной сети

| Подсистема | Узел | Описание |
|---|---|--|
| Подсистема задания измеряемого давления | Датчики давления | Реле давления типа SDE5, диапазон давления 0...10 бар, встроенный микропроцессор, светодиодная индикация состояния |
| | Пневмоблок типа П-ФРК [5, 6, 8] | Предназначен для автоматического поддержания величины давления на заданном уровне |
| Подсистема сбора и передачи информации | Модули передачи данных по протоколу беспроводной связи ZigBee | XA-Z14-CS2PH-W [5, 6, 8] — Xbee-Pro адаптер, имеющий внешнюю антенну для усиления мощности сигнала, а также интерфейс RS-232, используемый для подключения к одноплатному компьютеру посредством протокола UART |
| | | XA-Z14-CS5PH-W [5, 6, 8] — Xbee-Pro адаптер, имеющий внешнюю антенну для усиления мощности сигнала, а также 6 аналоговых линий ввода-вывода, используемых для подключения к датчику давления и принятия информации от него |
| Подсистема обработки и отображения информации | Одноплатный компьютер Raspberry PI [5, 6, 8] | Одноплатный компьютер на базе процессора ARM11 [5, 6, 8] с тактовой частотой 700 МГц и 512 Мбайт оперативной памяти |
| | LCD дисплей | Chalkboard Electronics 10" LCD [5, 6, 8] дисплей с разрешением 1280 × 800 пикселей с интегрированным конденсаторным сенсорным экраном |

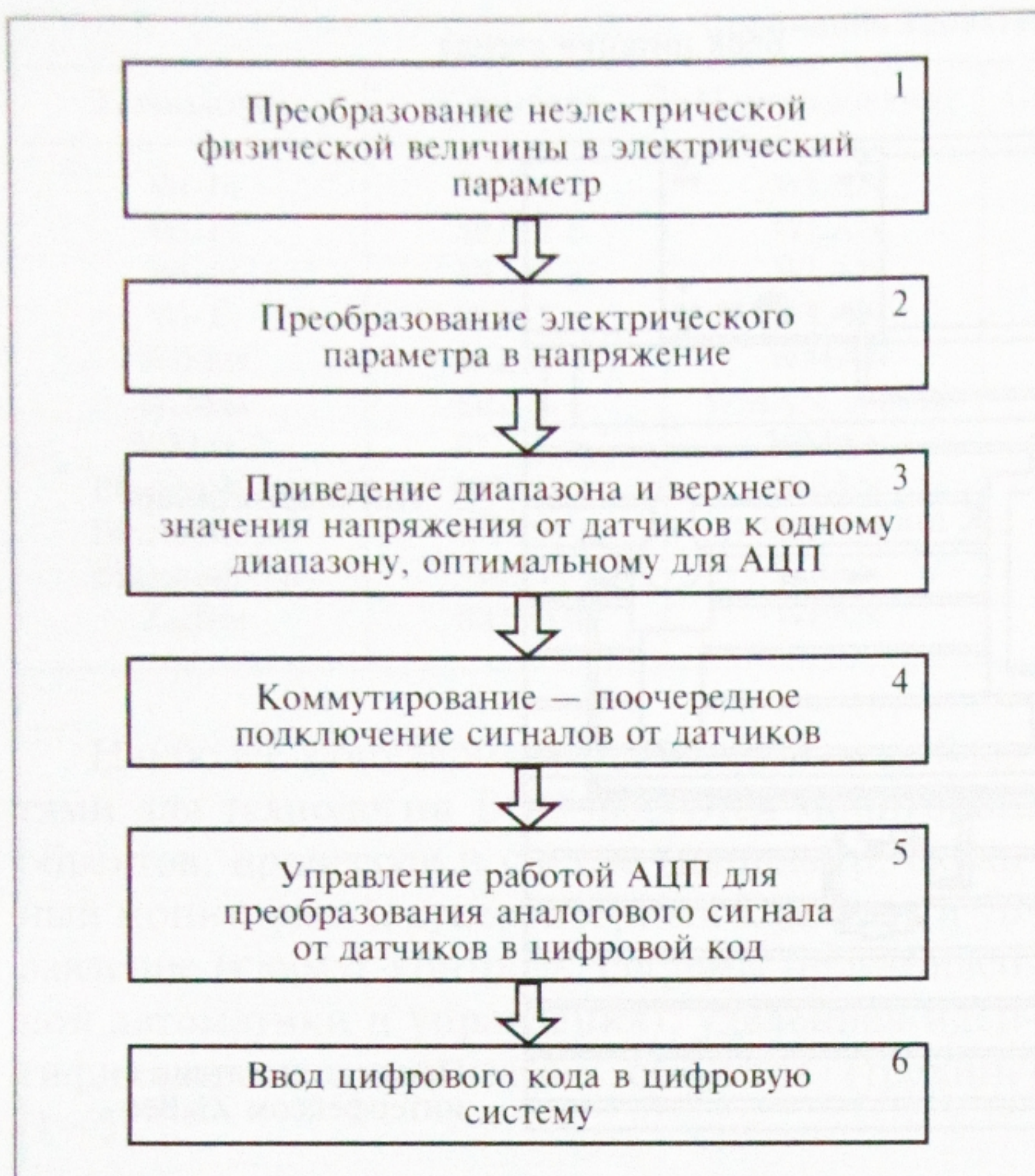


Рис. 3. Алгоритм ввода аналоговой информации с датчиков

рация выполняется с помощью масштабных усилителей на операционных усилителях; четвертая операция осуществляется аналоговым коммутатором или мультиплексором, управление ими возможно разрядами порта программируемого параллельного интерфейса; пятая операция может осуществляться портом ПК программируемого параллельного интерфейса; шестая операция может осуществляться портами интерфейса, ввод может быть осуществлен побайтно через порты.

Адаптированная для стенда тестирования сенсорной ZigBee сети система ввода информации с датчиков давления в вычислительную систему осуществляется в несколько этапов (рис. 4) [8]. Сбор данных начинается с физического явления, которое надо измерить. Таким физическим явлением является давление внутри пневморезервуара. Преобразователь (или датчик) — это прибор, который конвертирует физическое явление в измеримый электрический сигнал, такой как напряжение или сила тока. На первом этапе датчик непрерывно измеряет давление, подаваемое на его вход.

После определенной временной задержки, необходимой для оцифровки сигнала встроенным в датчик АЦП (для выбранного датчика давления FESTO SDE5 — 4 мс), сигнал передается на его выход. Для реализации подсистемы ввода информации стенда тестирования сенсорной ZigBee се-

ти не требуется сложное согласование сигналов. Но при дальнейшей модернизации системы согласование сигналов может выделиться в отдельную проблему эффективного сбора данных. Оно повышает точность системы, дает возможность датчикам правильно функционировать и гарантирует безопасность системы. Некоторое оборудование для сбора данных имеет встроенное согласование сигнала, реализованное таким образом, что датчик напрямую соединяется с каналом ввода данных.

Следующий этап организует трансляцию с помощью связующего кабеля (для датчика FESTO SDE5 — кабель SIM M8) оцифрованного значения с выхода датчика давления на передающий модуль ZigBee.

Приемо-передающие модули ZigBee составляют уже согласованную и сконфигурированную (синхронизированы частоты и протоколы передачи, согласована заявленная мощность и расстояние передачи) пару, что упрощает и удешевляет их настройку. По данному беспроводному каналу связи цифровая информация передается на приемный модуль на расстояние до 75 м.

Принятая информация по шине связи RS-232 передается в вычислительный блок, где с помощью математических алгоритмов относительно опорного напряжения она преобразуется в реальное значение давления.

В разработанной подсистеме ввода информации с датчика давления время прохождения одно-

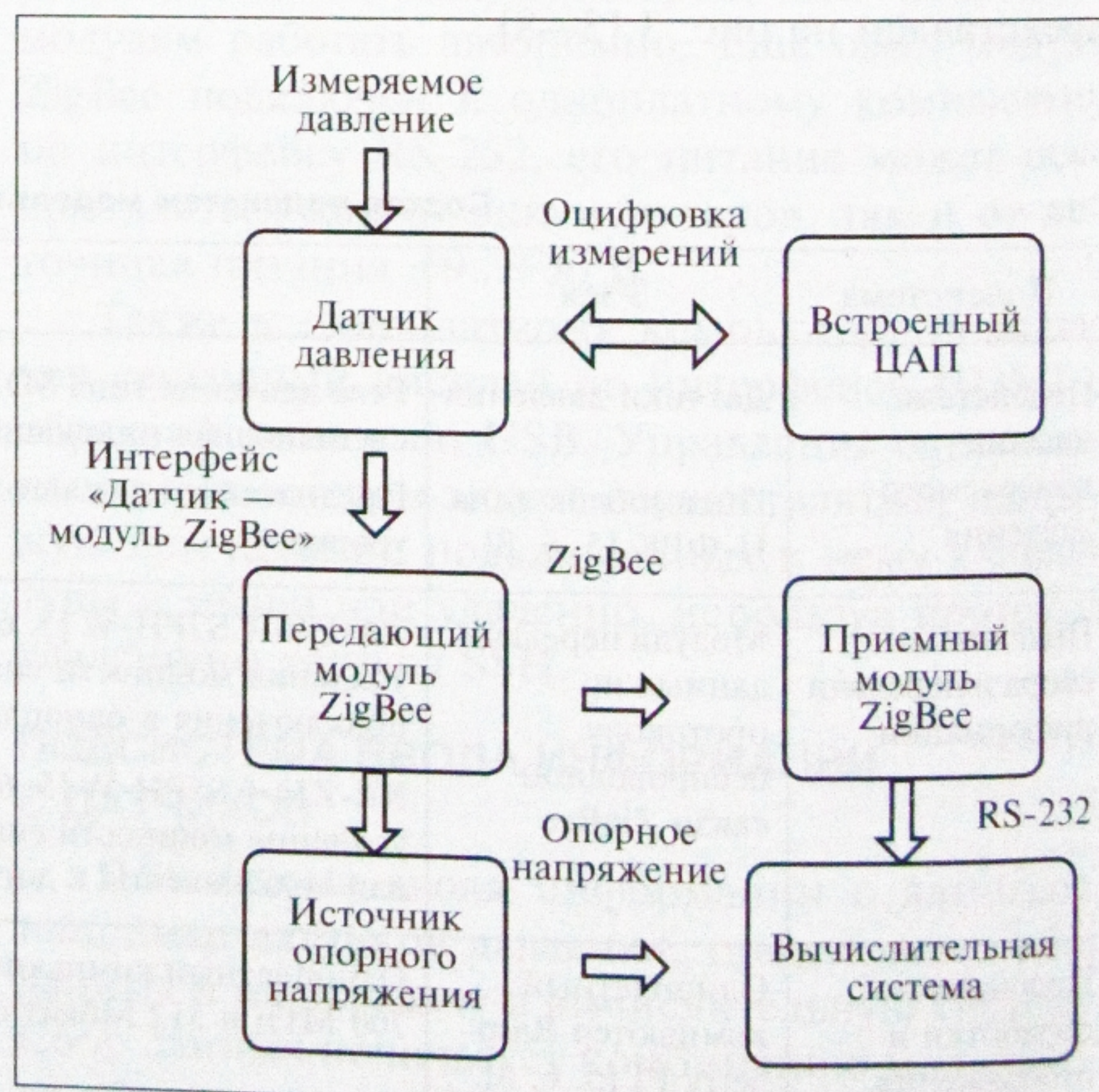


Рис. 4. Структурная схема подсистемы ввода информации с датчика давления

го байта информации от датчика до вычислительной системы составляет

$$0,004 + 8/2400 + 8/40\ 000 + 8/19\ 200 = 0,0079 \text{ с.}$$

Таким образом, разработана структура лабораторного стенда исследования сенсорных сетей датчиков давления, освещенности и температуры, проведен анализ модулей и выбраны соответствующие комплектующие. Также были разработаны алгоритм взаимодействий узлов, ПО для управления измерениями и отображения их результатов и методика проведения испытаний датчиков давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сенсорные сети могут состоять из различных типов датчиков, например сейсмических, датчиков определения магнитного поля, тепловых, инфракрасных, акустических, которые в состоянии осуществлять самые разнообразные измерения параметров окружающей среды, например, такие, как температура, влажность, автомобильное движение, давление, состав почвы, уровень шума, наличие или отсутствие некоторых объектов, механическая нагрузка, динамические характеристики, такие, как скорость, направление движения и размер объекта.

Стандарт ZigBee рассчитан на передачу сравнительно малых объемов данных, в случаях, когда не требуется высокая скорость передачи (до нескольких сотен кбит/с). В то же время, данная спецификация гарантирует высокую степень безопасности передачи данных и возможность организации практически любых современных сетевых схем: простые сети, такие как “точка-точка”, “дерево” и “звезда”, и самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся ячеистые топологии с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений.

Все рассмотренные в статье модули приемо-передачи обладают низким энергопотреблением, что является важным преимуществом стандарта ZigBee. Возможность длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания (аккумуляторов) в совокупности с малыми габаритами модулей приемо-передачи позволяет использовать технологию ZigBee для создания беспроводных сенсорных сетей, автоматизации жилья (система “Умный дом”), мобильного электронного оборудования, систем промышленного управления и мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варгаузин В. А. Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. — 2005. — № 6. — С. 29—32.
2. Варгаузин В. А. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа. — 2005. — № 6. — С. 23—27.
3. Пушкарев О. И. ZigBee-модули XBee: новые возможности // Беспроводные технологии. — 2008. — № 4. — С. 22—25.
4. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) // IEEE Std 802.15.4-2006 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2003).
5. Краснобрыжий Б. В., Лавров И. В., Муравьев К. А., Чебова А. И. Анализ беспроводных сенсорных сетей на основе стандарта ZigBee // Сб. тр. молодежной науч.-техн. конф. “Научно-технические технологии и интеллектуальные системы 2013”, Москва, 24 апреля 2013 г. — С. 306—314.
6. Мысловский Э. В., Власов А. И., Акрстиний М. В. Микроконтроллеры // Электронные компоненты. — 2002. — № 5. — С. 47—50.
7. Андреев К. А., Власов А. И. Моделирование и синтез интеллектуальных мембранных датчиков давления на основе МЭМС // Тр. Десятого Междунар. симп. “Интеллектуальные системы” / Под ред. К. А. Пупкова. — М.: РУСАКИ, 2012. — С. 434—438.
8. Нестеров Ю. И., Власов А. И., Першин Б. Н. Виртуальный измерительный комплекс // Датчики и системы. — 2000. — № 4. — С. 12—22.

Никита Андреевич Денисенко — студент кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н. Э. Баумана;

☎ 8-499-263-65-53

E-mail: nanosystems@iu4.ru

Алексей Васильевич Лавров — канд. техн. наук, доцент кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н. Э. Баумана;

☎ 8-499-263-65-53

E-mail: lada_lav@list.ru

Константин Александрович Муравьев — исследователь НОЦ “Нанотехнологические системы и нанoeлектроника” кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н. Э. Баумана;

☎ 8-499-263-65-53

E-mail: nanosystems@iu4.ru

Анна Ильинична Чебова — студент кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н. Э. Баумана.

☎ 8-499-263-65-52

E-mail: nanosystems@iu4.ru