

УДК 65.011.56

В.И. Маковкин, Н.В. Замятин

## Система мониторинга и обработки информации о состоянии резервуарного парка

Предложена программно-аппаратная система сбора, обработки и представления данных о состоянии резервуарного парка и объеме имеющихся в резервуарах веществ. Разработана архитектура аппаратной части системы для сбора и передачи информации проводным и беспроводным способами. Описаны архитектура и процедуры функционирования программной части приложения.

**Ключевые слова:** резервуар, уровнемер, система, объем, беспроводная технология.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2016-19-4-89-95-100

На множестве предприятий производятся или используются различные сырье и продукты в виде жидких и сыпучих материалов [1]. К таким предприятиям относятся:

- нефтеперерабатывающие предприятия, использующие и производящие нефть, бензин, керосин, мазут, сжиженный газ и пр.;
- домостроительные комбинаты, использующие и производящие стройматериалы, такие как цемент, глина, силикатные смеси и пр.;
- сельскохозяйственные компании: зерно, удобрения и пр.;
- химическая промышленность: продукция из углеводородного, минерального и другого сырья, а также большая часть конечной продукции;
- и др. [3].

Для хранения и использования материалов на предприятиях используется совокупность различных резервуаров, называемых резервуарным парком. Они могут быть распределены по всему предприятию, иногда находясь в сотнях метров друг от друга. Резервуарные парки должны эксплуатироваться максимально эффективно при минимальных затратах, обеспечивая необходимую точность определения объема хранимых материалов.

Вместе с тем на большинстве резервуарных парков используются устаревшее измерительное оборудование (или даже ручное определение объемов веществ), примитивные методики и системы сбора и обработки данных, запись данных вручную в тетради или простые средства обработки данных, например Excel. Как следствие, на предприятиях возникают следующие проблемы:

- низкая скорость сбора, передачи и анализа данных о количестве веществ на резервуарных парках, которая особенно актуальна, если парки распределены на всем предприятии или находятся в разных городах;
- низкая точность получаемых данных о количестве веществ на резервуарных парках;
- простои из-за неверных расчетов динамики использования или производства сырья;
- низкое качество смесей из-за погрешностей при расчете процентного соотношения веществ;

– дополнительные затраты из-за сопутствующих ошибок в бухгалтерии, неверных расчетов объемов производства, динамики использования сырья и т.д.;

– низкая культура труда в резервуарных парках.

Поэтому необходимы кардинальные изменения в методике и автоматизации измерения, сбора и обработки данных в резервуарных парках [2, 6, 7].

Предлагаемое решение – это разработка автоматизированной системы мониторинга состояния резервуарного парка с применением новых методик и актуальных технологий, позволяющих не только решать описанные проблемы, но также в будущем развивать и модернизировать систему.

### Постановка задачи

Одной из важнейших частей автоматизированной информационной системы мониторинга резервуарного парка является техническое обеспечение системы. Необходимы рабочая система первичных преобразователей и отлаженная методика передачи данных, начиная от измерения уровней смесей в резервуарах и заканчивая обработкой и передачей актуальных данных непосредственно рабочему персоналу. Система должна выполнять следующие задачи:

- 1) измерение уровней веществ в резервуарах;
- 2) считывание данных и передача на сервер;
- 3) получение и обработка данных;
- 4) вычисление объема веществ;
- 5) представление полученных результатов, визуализация.

Многообразие способов измерения уровня и видов измерительных устройств, которые применяются на резервуарных парках, обусловлено рабочими условиями, стоимостью приборов, сложностью их установки, точностью получаемых данных и т.п. [4].

Большое значение имеют условия, в которых должны выполняться измерения при минимальной погрешности:

- запыленность в резервуарах;
- узкие резервуары и резервуары с узкими отверстиями;
- наличие сильных электрических полей;

– условия, требующие бесконтактных измерений;

- наличие в резервуарах взрывных паров;
- высокие температуры и наличие испарений;
- радиационное воздействие.

Из широкой номенклатуры первичных преобразователей с учетом описанных выше условий в качестве измерителя уровня вещества в резервуаре выбран лазерный дальномер (измерение расстояния с помощью расчета времени достижения светового импульса до измеряемого объекта или измерение разности фаз между отправкой и приемом волны). Причины, повлиявшие на выбор данного типа уровнемеров:

- измерение уровня в сложных условиях (пыль, камни, большой угол откоса сыпучего материала и т.п.);
- измерение в длинных и высоких емкостях с внутренними конструкциями;
- возможность установки на расстоянии от измеряемой поверхности;
- измерение через падающие камни и пыль;
- безопасность для глаз;
- минимальный риск ложных отраженных сигналов;
- максимальная дальность 30 м;
- точность  $\pm 1$  мм.

Сильными сторонами лазера являются: узкий луч, отсутствие расхождения луча и ложных отраженных сигналов [5]. Отмеченные свойства лазерного луча позволяют проводить измерения там, где невозможно использовать ультразвуковые и радарные уровнемеры, которые, например, не позволяют надежно измерять уровень в длинных и узких танках вследствие возникновения ложного отражения от стенок. Уникальные свойства лазера позволяют его использовать для измерения сыпучих веществ, имеющих большой угол откоса (конусность). При использовании обычных радарных или ультразвуковых уровнемеров наличие конусности вызывает возникновение ложных отраженных сигналов, с которыми они плохо справляются. Для лазера таких проблем не существует.

К числу недостатков оптического уровнемера следует отнести его более высокую чувствительность к пыли и возможное частичное поглощение сигнала смесью. Для борьбы с пылью могут применяться пылегазые трубы – для создания статической зоны вблизи оптической системы, но в данном случае планируется разработка специальных алгоритмов, позволяющих отсекалать ложные сигналы от пыли, падающих камней и т.д. Для борьбы с другими возможными нежелательными эффектами в дальнейшем будут проведены дополнительные исследования и разработаны необходимые алгоритмы.

При анализе технических средств для передачи данных возможен выбор между проводным и беспроводным видами передачи данных.

Резервуарные парки могут находиться в одном месте (площади занимаемого места могут варьиро-

ваться в зависимости от количества и типов резервуаров) или распределены по всему предприятию. Рабочие станции, на которые поступает информация, находятся удаленно от самих резервуаров, в помещениях или офисах. Установка проводных сетей различного типа может быть ограничена из-за необходимости пересекать пути, по которым должен перемещаться грузовой транспорт, сильного климатического влияния и необходимости быстрой установки и модернизации сетей без длительной остановки производства. В то же время беспроводные технологии предоставляют возможность быстрой установки необходимого оборудования непосредственно на резервуары и вблизи рабочей станции, без негативного вмешательства в инфраструктуру предприятия, с возможностью передачи данных на оптимальной скорости.

Для беспроводной передачи данных выбраны два варианта технической реализации системы:

- 1) с использованием технологии GSM через GSM/GPRS модемы;
- 2) с использованием технологии Wi-Fi через адаптеры на Wi-Fi-роутер.

Основными преимуществами подобных сетей являются:

- возможность развернуть сеть без прокладки кабеля, что уменьшает стоимость развертывания и/или расширения сети;
- автономная работа устройств, возможность удаленной настройки с помощью специальных команд;
- широкая распространенность на рынке и доступная стоимость;
- единый стандарт, гарантирующий совместимость оборудования.

Выбор этих технологий определяется типом резервуарного парка, его размером и распределенностью на предприятии. Wi-Fi-сети подойдут для небольших резервуарных парков с рабочей станцией, находящейся в зоне действия сети. GSM лучше подходит для больших резервуарных парков, так как дальность его действия ограничена лишь зоной действия мобильной сети. Также возможна реализация совмещенных систем для объединения различных зон мониторинга в единую сеть.

В данной системе используется передача информации по технологии GSM, спроектирована аппаратная архитектура системы (рис. 1).

Используемые в системе устройства:

- уровнемер SICK DT-50;
- модуль сбора данных (МСД) МСД-200 или оцифратор;
- GSM/GPRS модем ПМ01;
- сервер/рабочая станция.

Методика сбора и передачи данных условно делится на следующие этапы:

- 1) получение и оцифровка получаемого аналогового сигнала «CurrentLoop» с помощью МСД или иного устройства;
- 2) передача данных с МСД на GSM-модем по интерфейсу RS-232;

3) получение данных с резервуаров на главный модем по сети GSM;

4) передача данных на рабочую станцию (персональный компьютер) по интерфейсу RS-232.

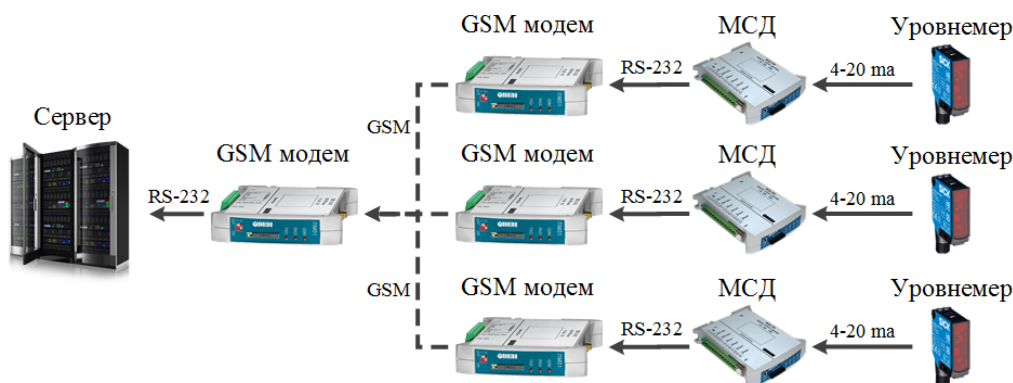


Рис. 1. Архитектура аппаратной части системы

Наличие МСД или оцифратора необходимо для данных устройств, так как уровнемер передает аналоговый сигнал, а данная модель модема может получать только цифровые сигналы. Если тип данных на выходе уровнемера и входе модема совпадает, то можно обойтись без преобразователя сигнала между ними.

Так как на серверной части располагается только один модем, то он последовательно получает данные с каждого резервуара, что может негативно сказаться на скорости получения данных. Возможна модернизация данной архитектуры, если к серверной части добавить МСД и подключить к нему количество модемов, равное количеству тех, которые используются на резервуарном парке, и настроить каждый на получение информации с соответствующего модема. Этот вариант позволит одновременно контролировать все резервуары в реальном времени.

Выбор между параллельным и последовательным получением данных осуществляется за счет двух критериев: количество резервуаров и финансовые ресурсы. Таким образом, при небольшом количестве резервуаров достаточно опрашивать каждый отдельно, однако чем больше становится парк, при наличии ресурсов, предпочтительно переходить на параллельный сбор данных. Основным преимуществом такой методики является возможность перехода между этими способами сбора данных в кратчайшие сроки с минимальными изменениями в системе. Для этого достаточно приобрести необходимое количество приборов и настроить каждый из них.

Разработанная архитектура предусматривает возможность получения данных как рабочей станцией, так и сервером. Использование сервера вместо рабочей станции дает следующие преимущества при эксплуатации:

- 1) разделение приложения на модули, которое позволяет увеличить его гибкость и простоту развертывания;
- 2) выделение пользовательского интерфейса от основной логики работы приложения, при этом отсутствует необходимость переустановки и обнов-

ления приложений пользователей, если изменения их не касаются (например, правки в системе на сервере, добавление поддержки новой вариации считывания данных, добавление возможностей производить более точные либо дополнительные вычисления);

3) добавление API-модуля для взаимодействия с клиентскими приложениями, таким образом, возможно вынесение вычислений на сервер, а пользователю отправляется только конечный результат, что существенно снижает нагрузку на рабочих станциях.

Таким образом, повышается гибкость системы и облегчается модернизация приложения без вмешательства в непосредственно работу предприятия.

Архитектура программной части системы представлена на рис. 2.

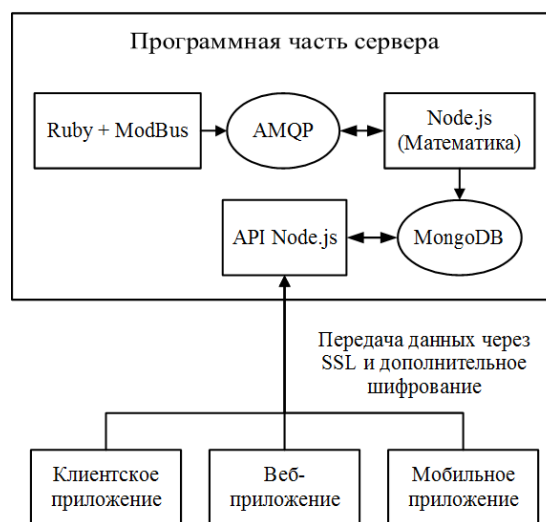


Рис. 2. Архитектура программной части системы

Сбор данных, в зависимости от выбранной архитектуры аппаратной части, осуществляется либо по протоколам сети GSMc помощью AT-команд, либо по протоколу Modbus, если происходит считывание с МСД. Данные операции выполняются в «демоне», написанном на Ruby, который предназначен для работы в фоновом режиме в течение всего времени эксплуатации системы.

Модуль, использующий протокол AMQP, необходим для формирования очереди, потока данных, направляемых на дальнейшую обработку.

Модули, написанные с использованием платформы Node.js, содержат необходимый математический аппарат, методы и функции, вычисляющие объемы веществ в резервуарах, выполняющие обработку данных, и прочие подобные операции.

Документоориентированная система управления базами данных (СУБД) MongoDB содержит в себе все необходимые данные о состоянии резервуарного парка и используется для хранения данных. Документ-ориентированные базы данных имеют много общего с реляционными, и, как утверждают ее разработчики, MongoDB может рассматриваться как прямая альтернатива реляционным базам данных (может выполнять те же задачи, какие-то лучше, какие-то – нет). Данная СУБД лучше подходит для этой предметной области благодаря ее основному рекламируемому свойству – бесструктурности. Так как при разработке модулей анализа данных необходимо хранение свойств и характеристик используемых резервуаров и веществ и эти данные могут быть очень разнообразными и хаотично организованными, в зависимости от поставленных задач, необходима гибкая СУБД, такая как MongoDB. При использовании MongoDB наиболее распространенные запросы получения этих данных выполняются гораздо быстрее, чем в реляционных базах данных, также гораздо легче выполнять изменение и добавление характеристик резервуаров и хранящихся в них веществ.

API-модуль используется для взаимодействия с клиентскими приложениями, осуществляет отправку данных и получение информации о принимаемых пользователем решениях.

В качестве технологии построения клиентского приложения используется NodeWebkit (теперь известно как NW.js, среда разработки кроссплатформенных приложений с графическим интерфейсом, с HTML в качестве представления и NodeJS для доступа к системному API). Данное решение имеет следующие преимущества:

1) портируемость – приложение может работать как на ПК, на операционных системах Linux, MacOS, Windows, так и на планшетах и других мобильных устройствах, с операционными системами Android, IOS, WindowsMobile, и даже может работать в качестве веб-приложения через браузер пользователя;

2) простота разработки – приложение разрабатывается как обычное веб-приложение и соответственно не требует постоянной перекомпиляции.

Для разработки бизнес-логики работы клиентского приложения используется фреймворк AngularJS. Данный фреймворк позволяет строить логику работы веб-приложений, используя наименьшее количество повторяемости кода, легко тестируется и обладает набором уже готовых к использованию компонентов.

Графический интерфейс пользователя (GUI) пишется на HTML5, CSS3 и Twitter Bootstrap. Интерфейс выполнен в стиле, предложенном Google и стандартизированном для разработки своих приложений Material Interface.

Структура базы данных, используемая в системе, должна наиболее полно отражать состояние резервуарного парка. Наиболее актуальные на данный момент данные – это значения объема веществ в резервуарах, динамика их использования или наполнения, состояние резервуарного парка (информация, позволяющая определить, используется ли резервуар, процент заполнения, какой процесс в нем происходит, работает ли оборудование, какие вещества хранятся и т.д.). На рис. 3 изображены основные необходимые сущности базы данных, описывающие данные свойства в виде логической модели. Рассмотрены только основные характеристики веществ и резервуаров из-за сложностей в отображении на модели бесструктурных данных, описанных ранее.

Так как «сырых» данных (данные расстояния от уровнемера до вещества в резервуаре), получаемых от резервуарного парка, недостаточно, определенная информация записывается конечным пользователем или иными средствами и приборами перед эксплуатацией системы, такими как характеристики вещества, характеристики резервуарного парка, настройки устройств и пр.

Подобная информация необходима для вычисления объема вещества, динамики его использования или производства, мониторинга за состоянием парка и т.п., так как значений уровня для решения данной задачи недостаточно (более подробно данная информация описана в работе [5]). Представленная выше модель базы данных имеет только основную структуру, необходимую для решения будущих задач, представлена для ознакомления и может быть изменена под требования предприятий и других пользователей.

Представлено следующее описание используемых сущностей:

1. «Состояние резервуара» описывает состояние резервуара в определенный момент времени, содержит информацию о резервуаре, количественных характеристиках хранящейся смеси и характеристики внешней среды.

2. «Резервуар» описывает основные характеристики резервуаров, используемые на предприятии.

3. «Тип резервуара» описывает различные виды резервуаров, которые могут использоваться или уже использовались на резервуарном парке. Сущность специально разработана с возможностью создания резервуаров разного типа.

4. «Вещество» описывает содержащиеся в резервуарах вещества (под веществами подразумеваются сырье, цементные смеси, обычные вещества и пр.), содержит атрибуты [8].

5. «Тип вещества» описывает типы сырья, такие как сыпучие, жидкие, вязкие и пр.

6. «Характеристики внешней среды» описывают состояние внешней среды, необходимы для анализа пользователем влияния внешних факторов на смесь.

7. «Устройство» описывает устройства, с которых будет осуществляться передача данных на рабочую станцию, которые должны будут опрашиваться устройством.

8. «Порт» описывает используемые COM-порты рабочей станции, с которых будут осуществляться запросы к приборам на резервуарном парке.

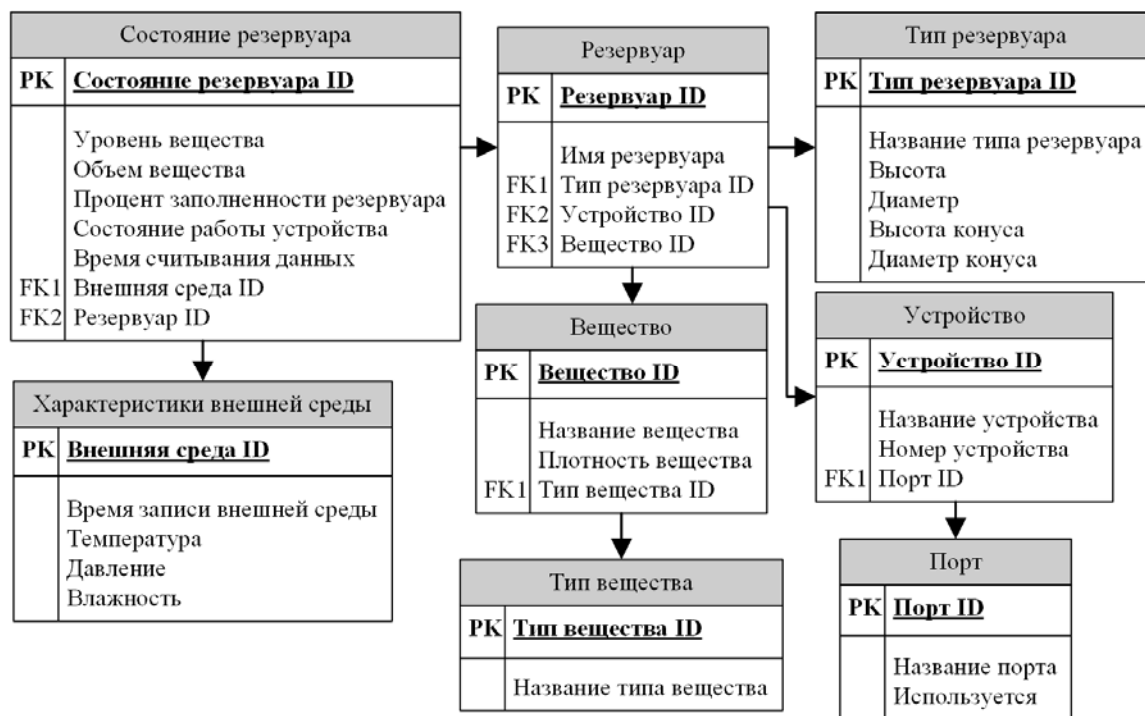


Рис. 3. Логическая модель базы данных

### Заключение

Предложенную модель и архитектуру можно применять на реальных промышленных предприятиях для мониторинга за состоянием резервуарного парка. Аппаратная часть системы обладает низкой стоимостью и простотой в установке, благодаря чему можно в краткие сроки переходить к ее эксплуатации, а также возможностью модернизации (замены частей системы), и возможностью увеличения масштабов системы.

Архитектура программной части системы позволяет разрабатывать и использовать ее как на рабочих станциях, так и на серверах, благодаря чему возможен одновременный доступ нескольких пользователей, в том числе из удаленных мест. Использование документ-ориентированной базы данных позволяет осуществлять поиск по данным резервуарного парка, в данном случае быстрее, чем при использовании реляционных баз данных. Модульный принцип разработки системы облегчает возможность ее дальнейшей модернизации. Разработка кроссплатформенного графического пользовательского приложения позволяет наблюдать за работой парка и анализировать данные с компьютеров, независимо от выбранной операционной системы (в том числе имеется возможность работать из браузера), а также с современных мобильных устройств и графических планшетов.

Описанная архитектура и методики разработки системы мониторинга резервуарного парка планируются к применению на производственных предприятиях.

### Литература

1. Колесников В.А. Средства измерения и контроля технологических процессов на предприятиях горно-металлургического комплекса / В.А. Колесников, Т.С. Намазбаев, С.Х. Есенбаев. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2012. – 107 с.
2. Сорокин П.В. Приборы контроля на основе акустических волноводов / А.И. Солдатов, В.С. Макаров, П.В. Сорокин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 121 с.
3. Якимович Е.А., Замятин Н.В. Моделирование бесконтактного видеуровнемера с использованием анализа нейронных сетей // Информационные технологии в территориальном управлении, промышленности, образовании: сб. статей. – Томск, 2002. – С. 165–170.
4. Пат. 2 279 642 РФ, МПК G01F 23/292. Способ измерения уровня сыпучих или жидких материалов и устройство для его осуществления / Е.А. Якимович, Н.В. Замятин (РФ). – № 2 002 108 822 / 28; заявл. 05.04.02; опубл. 10.07.06, Бюл. № 19. – 5 с.
5. Маковкин В.И. Интерполяция координат трехмерной поверхности сыпучих смесей с помощью искусственных нейронных сетей: матер. Всерос. науч.-техн. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2016. – Т. 3. – С. 115–118.

6. Huang Y., Chen B., Pienkowski E., Chen G., Xiao H. Simultaneous detection of liquid level and refractive index change by using long period fiber grating sensor // *Sensor and Accurator A: Physical*, Submitted. 2011.

7. James Khaliq S.W., Tatam R.P. Fiber-optic liquid-level sensor using a long-period grating // *Opt. Lett.* – 2001. – Vol. 26. – PP. 1224–1226.

8. Замятин Н.В. Нейросетевые модели химических углеводородных систем / Н.В. Замятин, Д.С. Пустовалов, Я.П. Шадрин. – Доклады ТУСУРа. – 2007. – № 2 (16). – С. 93–99.

---

**Маковкин Владимир Иванович**

Аспирант каф. автоматизации обработки информации (АОИ) ТУСУРа

Тел.: +7-923-425-25-85

Эл. почта: assorti2030@yandex.ru

**Замятин Николай Владимирович**

Д-р техн. наук, профессор, каф. АОИ ТУСУРа

Тел.: +7-913-820-64-81

Эл. почта: zamnv47@gmail.com

Маковкин V.I., Zamyatin N.V.

**System for monitoring and processing the data about the state of a tank farm**

The article contains new software and hardware models for automated systems designed to collect, process and present data. The authors explain the architecture of system hardware part meant to receive and transfer the data by wired and wireless ways. Also, the architecture and procedures of the system software part are described.

**Keywords:** tank, level gauge, system, volume, wireless technology.