

Рис. 3. Изменение температуры и скорости шпинделя после включения станка

1. Необходимо медленно прогреть подшипники и разогнать смазку по механизмам шпиндельного узла до того, как шпиндельный узел станет работать под нагрузкой.

2. Если шпиндельный узел не достиг номинальной температуры, то возможны изменения его геометрических параметров, которые приведут к снижению точности изготавливаемых деталей.

Например, в документации на шпиндельный узел указано, что при простое станка свыше 4 ч, но менее 8 дней необходимо запустить цикл прогрева по следующей схеме.

1. Запустить шпиндель с числом оборотов 25% от максимального значения, проработать 2 мин.

2. Установить число оборотов 50% от максимального, проработать 2 мин.

3. Установить число оборотов 75% от максимального, проработать 2 мин.

4. Шпиндель готов к эксплуатации.

Информация с датчиков температуры шпиндельного узла и скорости шпинделя поступает на сервер системы сбора. В дальнейшем она может быть получена, проанализирована и использована в любых других целях. Например, можно проконтролировать, выполняются ли оператором предписанные инструкции по прогреву шпиндельного узла, или при обосновании отказа гарантийного ремонта за несоблюдение регламента эксплуатации.

Одним из преимуществ использования подобного подхода и технологии является возможность представления данных о состоянии технологического оборудования в Web-интерфейсе [9,10].

### Выводы

Предложенный подход по организации программного обеспечения сбора данных позволяет осуществлять сбор данных с разного технологического оборудования. Для работы с различными типами оборудования, в том числе по разным протоколам передачи данных используются разные модули сбора данных. Информация со всех модулей поступает в единую базу

данных, где накапливается и может быть в дальнейшем обработана и использована. Пользователю в большинстве случаев нужна не вся информация, хранящаяся в базе данных о состоянии всех элементов технологического оборудования предприятия, а только какая-то ее часть, например, информация о температуре шпиндельного узла на нескольких станках, или о загруженности оборудования конкретного участка, или информация с датчиков одного конкретного станка. Выбрать данные и представить их в удобной для пользователя форме позволяет REST-сервер с функцией конфигурации данных.

### Список литературы

1. Третьяков И. Мониторинг оборудования с ЧПУ: сбор и обработка машинных данных // Промышленные страницы Сибири. 2017. №12. с.28-31.
2. Мартинов Г.М., Пушков Р.Л., Евстафиева С.В. Основы построения однокомпьютерной системы ЧПУ с программно реализованным ядром и открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2008. №4. С. 82-93.
3. Никисечкин П.А., Ковалев И.А., Григорьев А.С., Никич А.Н. Построение кроссплатформенной системы для сбора и обработки диагностической информации о работе технологического оборудования на промышленных предприятиях // Автоматизированные технологии и производства. 2016. №4(14). с.51-56.
4. Никисечкин П.А., Ковалев И.А., Григорьев А.С., Никич А.Н. Кроссплатформенная система сбора и обработки диагностической информации о работе технологического оборудования // Вестник МГТУ Станкин. 2017. № 1 (40). С. 94-98.
5. Nikishechkin P. A., Kovalev I.A., Nikich A.N. An approach to building a cross-platform system for the collection and processing of diagnostic information about working technological equipment for industrial enterprises. // MATEC Web Conf. Vol.129, 2017 (International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)).
6. Martinov G.M., Sokolov S.V., Martinova L.L., Grigoryev A.S., Nikishechkin P.A. Approach to the Diagnosis and Configuration of Servo Drives in Heterogeneous Machine Control Systems // 8th International Conference, ICSI 2017 Fukuoka, Japan. 2017. Part II. pp.586-594.
7. Martinova L.L., Grigoryev A.S., Nikishechkin P.A. Tools for Monitoring and Parameter Visualization in Computer Control Systems of Industrial Robots // Advances in Swarm and Computational Intelligence. 6th International Conference, ICSI 2015. Beijing. 2015. Part II. p.200-207.
8. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М., Соколов С.В., Козак Н.В. Разработка и применение специализированного инструментария диагностики и настройки следящих приводов в гетерогенных системах управления промышленным оборудованием // Автоматизация в промышленности. 2017. №5. с.29-33.
9. Пушков Р.Л., Евстафиева С.В., Соколов С.В. и др. Практические аспекты построения многотерминального человеко-машинного интерфейса на примере системы ЧПУ "АксиО-МА Контроль" // Автоматизация в промышленности. 2013. №5. С.37-41.
10. Nikishechkin P., Chervonnova N., Nikich A. Approach to the construction of specialized portable terminals for monitoring and controlling technological equipment. In: MATEC Web Conf. Vol. 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia. 2018. pp.1-9.

Пушков Роман Львович – ст. преподаватель, Саламатин Евгений Валерьевич – инженер, Евстафиева Светлана Владимировна – ст. преподаватель кафедры компьютерных систем управления ФГБОУ ВО МГТУ "СТАНКИН".

Контактный телефон +7 (499) 972-94-40.  
E-mail: pushkov@ncsystems.ru

## АГРЕГИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О РАБОТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS

И.А. Ковалев, Р.А. Нежметдинов, Д.Ю. Квашнин, В.В. Чекрыжов (МГТУ «СТАНКИН»)

*Рассматривается подход к сбору и агрегирования данных с датчиков, расположенных на разнородном технологическом оборудовании с использованием принципов Industrial Internet of Things. Рассмотрены основные аналитические платформы обработки данных. Представлен практический пример сбора параметров со строгально-фрезерного станка с последующей их аналитической обработкой в Microsoft Azure<sup>1</sup>.*

*Ключевые слова: Industrial Internet of Things, сбор данных ЧПУ, базы данных, облачные вычисления.*

### Введение

В условиях развития современного общества изменились средства сбора, обработки и передачи информации: все чаще для работы с информационными ресурсами используются мобильные устройства, а для доступа к большим объемам данных применяются глобальная сеть и облачные технологии. Изменения коснулись и промышленности, где произошел переход от автоматизации отдельных узлов и оборудования к концепции «умных» производств, отличительной особенностью которых является объединение производства в единую цифровую экосистему [1, 2].

Развитие промышленных систем управления позволяет объединять отдельные станки, модули, цеха и системы управления в общую сеть Intranet внутри предприятия [3]. Это открывает широкие возможности анализа, обработки, а также агрегации данных, накапливаемых на всех этапах работы технологического оборудования. Хранение полученного объема неструктурированных данных и предоставление необходимой инфраструктуры для их обработки на производственной площадке — недоступная с финансовой точки зрения задача для большинства предприятий. Указанные возможности предоставляют: облачные сервисы и платформы на их основе, а также бессерверные вычисления. Указанные сервисы позволяют построить масштабируемую, гибкую и экономически оправданную архитектуру вычислительных решений.

Для объединения сетей предприятия с подключенными к ним промышленными объектами, встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обработки данных с облачными платформами используется концепция Industrial Internet of Things (IIoT). Внедрение на предприятиях технологии IIoT создает условия для проведения в реальном времени мониторинга основных производственных показателей состояния отдельных узлов оборудования с целью определения наступивших или прогнозирования возможных нерегулярных ситуаций и принятий мер по их предотвращению.

### Аналитические платформы для сбора, агрегирования и хранения данных

Облачные платформы можно поделить по нескольким признакам: финансовый — платные и свободно

используемые; по размеру компании разработчика — крупные, средние и небольшие; по наличию аналитических инструментов — имеющие аналитические инструменты или предоставляющие только узел сети для хранения данных.

Из крупных игроков на рынке выделим: AWS IoT (Amazon), Azure IoT (Microsoft), Google Cloud IoT (Alphabet). При этом по данным Eclipse Foundation в рамках исследования Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) в 2018 г. за: AWS было отдано 51,8% IoT голосов разработчиков (31,8% в 2017 г.), Microsoft Azure проголосовало 31,2% разработчиков (14,2% в 2017 г.), проприетарные облака получили 19,39% голосов, Google Cloud IoT — 18,8% (10,8% в 2017 г.) (<https://creativecommons.org>). Существует также большое число открытых IoT платформ (OpenRemote, Home Assistant, OpenIoT и др.), но их популярность с каждым годом снижается. Это связано с тем, что гиганты облачных вычислений могут предложить налаженные сервисы для сбора данных, хранения и аналитики с разнообразными тарифными планами.

Рассматривая Industrial Internet of Things применительно к области автоматизации технологических процессов обратим внимание на тип и объем передаваемых данных с различных датчиков (физических и виртуальных), которые установлены на разнородном оборудовании. Большой объем неструктурированной информации нуждается в специальных алгоритмах фильтрации и интерпретации. Зачастую, указанная задача является наиболее приоритетной даже в сравнении с задачей сбора данных с гетерогенного оборудования.

Помимо предоставления вычислительных возможностей одним из важных направлений развития концепции Industry 4.0, являются сервисы обработки и анализа неструктурированных данных большого объема [4]. Целью указанных видов обработки является предоставление конечному пользователю в удобном для рассмотрения виде аналитических данных полученных с информационных потоков. Для решения этих задач на рынке представлены аналитические платформы, например, QlikView, Klipfolio, Power BI, Tableau. Каждая из этих платформ имеет отличительные особенности и способна проводить анализ дан-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках соглашения №31-1/03-С18 от 01.08.2018 между ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» и ФГАОУ ВО «СПб НИУ информационных технологий, механики и оптики», проводилась с использованием оборудования, предоставленного центром коллективного пользования ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН».

ных о состоянии технологических процессов в реальном времени, обрабатывая гигабайты информации, представляя ее в удобном для восприятия виде, например, в виде: диаграмм, графиков. Наиболее передовые системы этого класса также поддерживают отчеты предиктивной аналитики.

**Разработка схемы взаимодействия основных компонентов предлагаемого решения**

Исследования, представленные в статье, проводились с применением платформы Microsoft Azure IoT, которая представляет набор готовых облачных сервисов, что упрощает взаимодействие между устройствами и облаком на начальных этапах разработки. Azure позволяет подключить к облачному сервису практически любые устройства, провести аутентификацию с использованием специализированных ключей (sas токены), предоставляет локальное хранилище для каждого IoT устройства, а также поддерживает популярные протоколы передачи данных (MQTT, HTTPS, AMQP и др.). Microsoft Azure IoT предоставляет во временное пользование вычислительные мощности по требованию (lambda-функции Amazon, «Функции» в Azure), что является экономически более выгодным для небольших задач, по сравнению с закупкой локальных вычислительных систем.

Датчики (температуры, вибрации, влажности) и данные с системы управления (виртуальные датчики: данные с приводов, ПЛК) можно рассматривать как элементы концепции Industrial Internet of Things. Важной особенностью передаваемых с объекта управления данных является не только возможность накапливать их в облаке, но и отображать в «реальном

времени». Для этого данные должны поступать синхронно, что отличает указанные системы от корпоративных приложений, в которых принято работать с данными в асинхронном формате [5].

Организация синхронной передачи данных накладывает ограничения на применяемые вычислительные мощности. В этом случае система должна иметь существенный запас вычислительных ресурсов, позволяющий не терять данные из-за возникающих перегрузок серверов, блокировок на уровне баз данных, подключения новых устройств и других нерегулярных ситуаций. Возможности синхронной (on-line-синхронизация) организации передачи данных и записи в базы данных предоставляет масштабируемая архитектура облака Azure. В рамках создания отдельного экземпляра вычислительного модуля можно указать размер и объемы расширения при пиковых нагрузках, а также существенно увеличить вычислительные мощности при необходимости, уведомляя владельца, например, по электронной почте и получая его одобрение.

На рис. 1 представлена структурная схема предлагаемого решения. Слева показаны целевые платформы для подключения датчиков. Это могут быть как одноплатные компьютеры Raspberry Pi3, Orange Pi или Omega2, так и более дешевые решения, например, модули с ESP8266 для передачи информации в сеть, также рассматривается передача информации и непосредственно из системы ЧПУ (виртуальные датчики).

Конфигурирование устройств, подключаемых к облаку, и настройка политик безопасности происходит в Azure IoT Hub Center, что позволяет разработчикам сосредоточиться на организации сбора данных с локальных устройств. На целевых платформах запу-

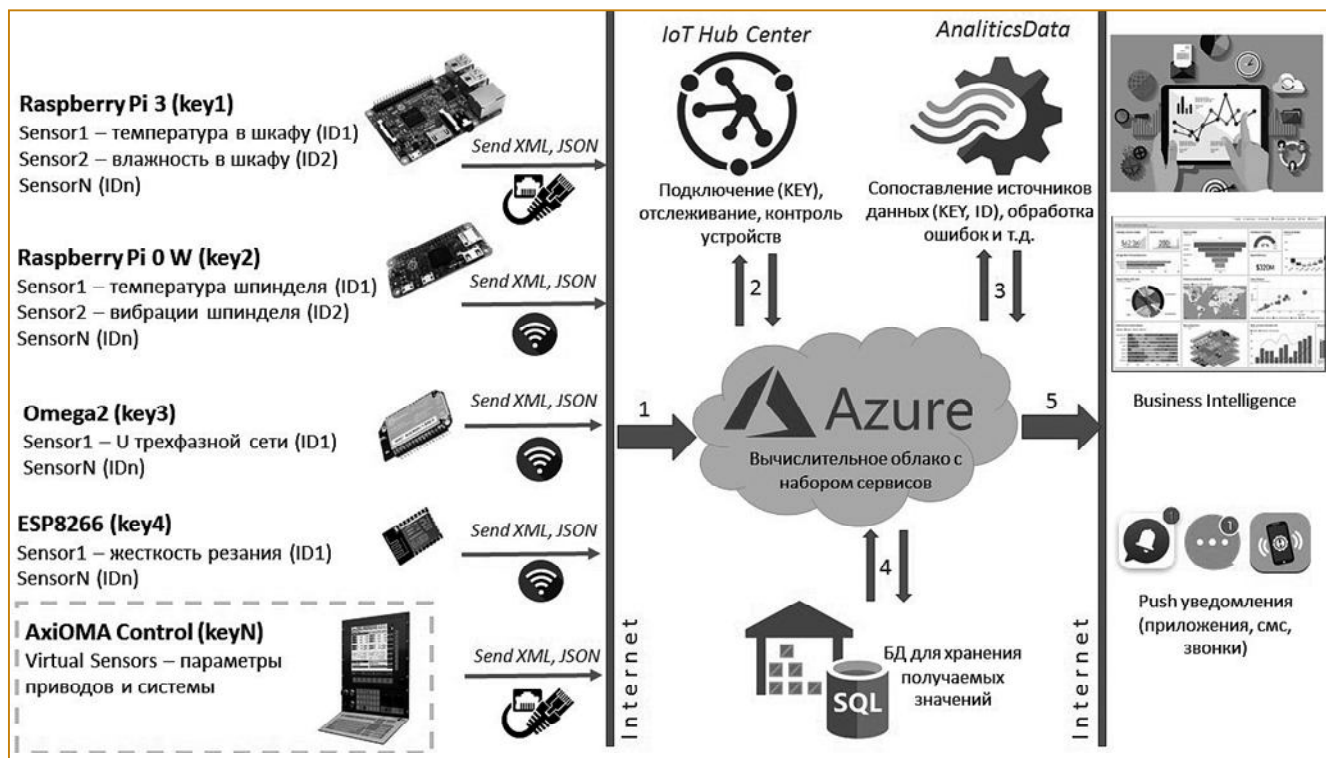


Рис. 1. Структурная схема облачного решения

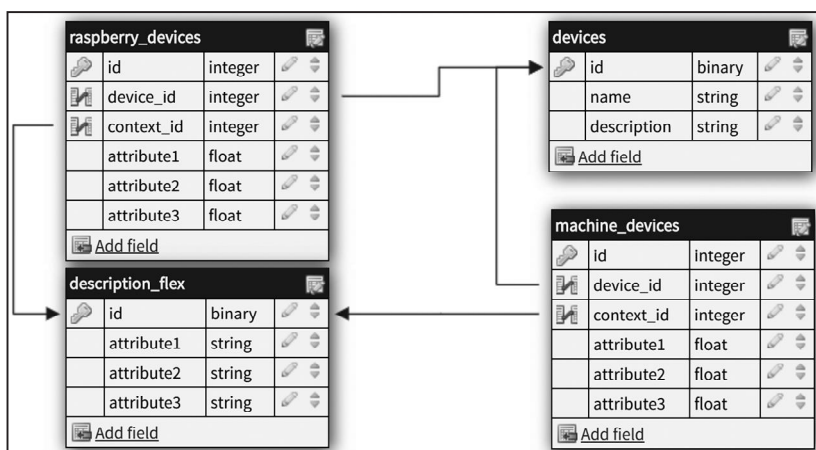


Рис. 2. Структура БД

скается специальный скрипт, содержащий ключи для генерации sas токена и связи устройства с IoT Hub Center в облаке, фиксируются идентификационные номера (ID) устройства, политики доступа к БД.

**Практическая реализация концепции IIoT на примере получения данных со строгально-фрезерного станка**

Для проведения испытаний на работающем оборудовании были выбраны три устройства: одноплатные компьютеры RaspberryPi3, Raspberry Pi0 и Omega2. Указанные устройства находятся в разном ценовом диапазоне и различаются объемом вычислительных ресурсов. При этом объем вычислительных ресурсов является важным фактором, влияющим на возможность применения разрабатываемого решения в промышленных проектах. К устройствам подключены различающиеся типы датчиков для определения параметров окружающей среды (температуры и влажности), которые были установлены в нескольких целевых зонах: в электрошкафу — зона ПЛК и приводов; в шпиндельном узле и возле рабочей зоны станка. На каждом из устройств запущен скрипт на языке Python, который реализует связь с IoT Hub Center, откуда данные поступают в базу данных и сервис Analytics Data, который позволяет верифициро-

вать большие потоки данных. Analytics Data позволяет извлекать информацию из потоков данных по определенным шаблонам, предназначенным: для хранения источника данных в базе, создания отчетов в Azure Analytics после начала передачи данных от устройств в IoT Hub Azure.

Модуль аналитики выполняет поиск нужного шаблона, описанного на SQL-подобном языке, например, данные передаваемые в формате JSON сопоставляются с атрибутами, созданными в реляционной базе данных. Также однозначно сопоставляются входные атрибуты и поля базы данных. Каждому устройству выдается ключ подключения (политика), который указывается во входном источнике данных и по которому происходит определение способа доступа к базе данных. Политики устройств удобно объединять по типу устройств (физические или виртуальные датчики), возложив уникальную идентификацию на передающее устройство (передавать уникальный ID).

В рассматриваемом примере разработаны два шаблона. Первый для датчиков, подключенных к Raspberry Pi2 и Pi0 со своими атрибутами (attribute1, attribute2), а также временем поступления данных и уникальным ID оборудования. Второй шаблон описывает получение данных от датчиков, подключенных к Omega2.

В проекте использована база данных MSSQL, структура которой не имеет привязки к конкретному оборудованию (рис. 2). Такая структура удобна при интеграции данных, передаваемых с локальных объектов в хранилище Azure, и использовании возможностей модуля Analytics Data.

Структура базы данных оптимизирована с расчетом на ожидаемые информационные потоки от подключаемых устройств: raspberry\_devices, machine\_devices. Атрибуты в таблицах, имеют связи через contex\_id с таблицей description\_flex, в которой хранится точное определение принимаемого параметра для конкретного устройства с определенным контекстом. Таблица devices хранит описание параметров устройств. Организация хранения данных в такой структуре позволяет создавать новые таблицы для заранее неизвестных источников данных.

Рабочие испытания проводились на вертикальном строгально-фрезерном станке при холостом ходе в течении часа. За это время было установлено, что температура окружающей среды поднялась на 1,19 °С; температура в зоне работы приводов поднялась на 7,82 °С, в зоне ПЛК — на 5,8 °С.

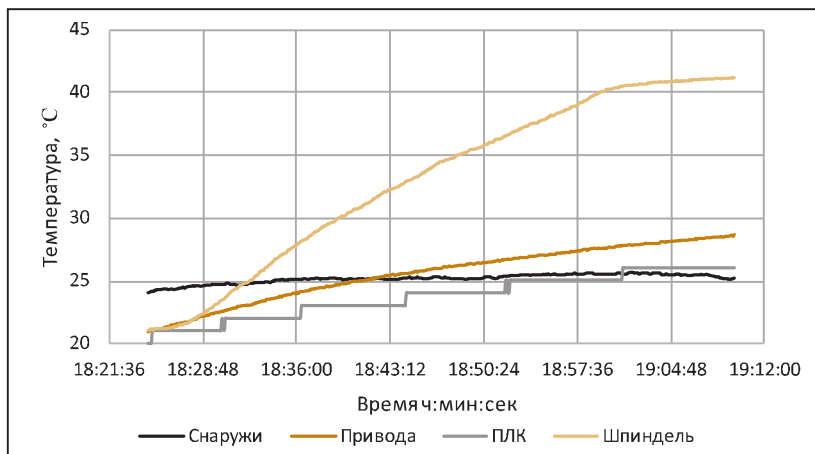


Рис. 3. Визуализация получаемых данных

В шпиндельном узле температура поднялась более чем на 20 °С, что является существенным, учитывая тот факт, что работа выполнялась на холостых оборотах (рис. 3).

На основании проведенных испытаний был сделан вывод о необходимости проверки подсистемы охлаждения шпиндельного узла, которая выявила ряд неисправностей, что привело к проведению внеочередного технического обслуживания.

#### Выводы

Внедрение на предприятиях технологии IIoT создает условия для проведения мониторинга в реальном времени основных производственных показателей состояния отдельных узлов оборудования с целью определения возникших нерегулярных ситуаций или прогнозирования их возможного проявления.

Предложенный подход по сбору и агрегированию данных в облачном сервисе Microsoft Azure IoT был применен на базе фрезерно-строгального станка и позволил определить нерегулярную ситуацию — перегрев шпиндельного узла. Указанная ошибка была исправлена за счет проведения внепланового технологического обслуживания оборудования.

#### Список литературы

1. *Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А., Ковалев И.А., Червонова Н.Ю.* Подход к построению систем логического управления технологическим оборудованием для реализации концепции Industry 4.0 // Автоматизация в промышленности. 2017. №5. с.5-9.
2. *Никишечкин П.А., Ковалев И.А., Григорьев А.С., Никич А.Н.* Кроссплатформенная система сбора и обработки диагностической информации о работе технологического оборудования // Вестник МГТУ Станкин. — 2017. № 1 (40). С. 94-98.
3. *Kovalev I.A., Nikishechkin P.A., Grigoriev A.S.* Approach to Programmable Controller Building by its Main Modules Synthesizing Based on Requirements Specification for Industrial Automation // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2017.p.1-4.
4. *Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Мартинова Л.И.* Интеграция данных систем логического управления в «умное» производство на основе концепции Industry 4.0 // Автоматизация в промышленности. 2018. №5. с.11-15.
5. *Nezhmetdinov R., Nikishechkin P., Nikich A.* Approach to the Construction of Logical Control Systems for Technological Equipment for the Implementation of Industry 4.0 Concept. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE.

*Ковалев Илья Александрович — канд. техн. наук, доцент,  
Нежметдинов Рамиль Амирович — канд. техн. наук, доцент,  
Квашнин Денис Юрьевич — магистрант,  
Чекрыжов Виктор Владимирович — магистрант  
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».  
Контактный телефон (499) 972-94-40.  
E-mail: ilkovalev@mail.ru*