

СИНТЕЗ СИСТЕМ УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА РАБОТЫ СТАНКОВ С ЧПУ С ПРИМЕНЕНИЕМ WEB-КОМПОНЕНТОВ

И.А. Ковалев, Р.А. Нежметдинов, Н.Ю. Червоннова,
Р.Р. Абдулов (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

Представлена методика синтеза систем мониторинга для станков с ЧПУ. Описаны основные Web-компоненты и библиотеки, используемые для сбора технологических данных и отображения их для различных пользователей станков с ЧПУ. Показан практический пример синтеза системы мониторинга для ЧПУ «АксиОМА Контрол» с возможностью выбора отображаемых на Web-странице параметров для оператора и наладчика станка ЧПУ.

Ключевые слова: сбор технологических данных, Web-технологии, система ЧПУ, Industry 4.0, визуализация данных, мониторинг работы станка.

Введение

Текущий этап развития промышленности предприятия ориентирован на их развитие в соответствии с концепцией Industry 4.0, что предполагает реализацию цифровых производств с высокой степенью взаимосвязей между всеми уровнями предприятия. Гетерогенное технологического оборудования различных производителей, использующее различные протоколы обмена данными затрудняет процессы отслеживания их функционирования и усложняет процесс передачи технологической информации на более высокие уровни управления предприятием [1].

Важной и необходимой задачей для современного высокотехнологичного производства является оперативность доступа к необходимой технологической информации по запросу пользователей. С помощью агрегируемой с технологического оборудования информации можно отслеживать не только разнообразные данные, необходимые для диагностики (ошибки и предупреждения систем ЧПУ, информация об отказах, температуре, вибрации в зоне резания, износе инструмента и т.д.), но и сведения о производительности оборудования и работе его оператора (например, время работы станка, время выполнения технологической операции, сигнал о завершении выполнения операции). Своевременное получение обработанных данных о работе технологического оборудования напрямую связано с экономическими показателями как отдельно взятого участка, цеха, так и всего предприятия в целом, поскольку позволяет не только повышать производительность работы путем оптимизации технологических процессов, но и оперативно реагировать на нестандартные ситуации.

Большинство современных систем мониторинга технологического оборудования ориентированы на сбор информации о технических показателях станка, на основе которой составляются графики планово-предупредительных ремонтов. Многие текущие негативные факторы и их причины остаются без внимания, при этом актуальная информация со станка не доступна сервисным службам. В статье в качестве одного из возможных решений рассматривается приме-

нение singlepage-приложения¹, синтезируемого под конкретную задачу на основе набора разработанных Web-компонентов и модулей сбора технологических данных.

Требования к системам сбора и удаленного предоставления информации о работе систем ЧПУ

На современных производствах зачастую один оператор может обслуживать несколько станков с ЧПУ, на которых ему необходимо следить за технологическим процессом, причем эти станки могут находиться на значительных расстояниях друг от друга [1, 2]. Применение современных Web-технологий при создании программного обеспечения систем управления позволяет организовать для пользователей удаленный мониторинг за состоянием оборудования, при этом оператор может получать информацию о работе станков с ЧПУ на переносное мобильное устройство. Отметим, что указанный подход имеет ряд преимуществ перед нативными десктопными приложениями² и специализированным программным обеспечением, среди которых: возможность работы из любого браузера (адаптация под конкретный браузер в разы проще разработки приложения под новую операционную систему (ОС), в том числе мобильную) и минимальная зависимость от характеристик терминального устройства, нет необходимости поддерживать несколько ОС.

Удаленный доступ к технологическому оборудованию на производстве дает ряд преимуществ, таких как: возможность одновременного контроля состояния нескольких автоматизированных ячеек, повышение эффективности использования персонала для управления распределенными объектами, уменьшение времени и снижение расходов на выявление причин простоя и т.д.

В тоже время возникает проблема удобства предоставления информации в рамках пользовательского интерфейса. Зачастую многие экраны систем ЧПУ не стандартизованы и перегружены вспомогательной информацией, при этом у каждого производителя есть свои причины выводить ту или иную

¹ Одностраничное приложение (single page application, SPA) — это Web-приложение или Web-сайт, использующий единственный HTML-документ как оболочку для всех Web-страниц и организующий взаимодействие с пользователем через динамически подгружаемые HTML, CSS, JavaScript.

² Нативные приложения — это прикладные программы, которые были разработаны для использования на определённой платформе или на определённом устройстве.

информацию для оператора станка. Также стоит отметить, что внесение изменений в настройки экрана и его адаптация под конкретного пользователя является трудновыполнимой для большинства систем с ЧПУ. Хотя в последние годы на рынке систем ЧПУ появляются частные примеры терминальных клиентов с возможностью конфигурации экранов оператора или визуализации информации, например, в режиме дополненной реальности [3].

Системы предоставления информации о работе оборудования, которые имеют возможность визуализации состояния отдельных узлов станка или даже целых производственных ячеек не являются чем-то новым (SCADA, терминалы диагностики и др.), но в большинстве своем — это отдельные дорогостоящие программные или программно-аппаратные комплексы, решающие очень большой объем задач, настройкой и обслуживанием которых обычно занимаются специализированный инженерный персонал [4].

На текущий момент необходимо иметь полную картину состояния производства, цеха, отдельного рабочего места и отдельной единицы технологического оборудования. Построение полного представления о производстве возможно лишь после сбора данных с оборудования и рабочих мест. В итоге такие системы должны обладать следующими свойствами:

- обеспечение сбора данных с различных систем ЧПУ;
- хранение и агрегирования собираемой информации;
- возможность гибкой настройки экранов предоставления информации;
- первичный анализ агрегированных данных.

При этом создание экранов человеко-машинного интерфейса (HMI) для систем управления и систем мониторинга является одной из главных задач. Современные экраны, в том числе и систем мониторинга, могут быть перегружены неструктурированной информацией. При этом для различных специалистов (наладчик станка, оператор ЧПУ, технолог и т.д.) необходимая информация для отображения может отличаться.

Качественно спроектированный HMI интерфейс позволяет получить следующие преимущества:

- повышение качества процесса управления за счет снижения числа ошибок, вызванных "человеческим фактором";
- экономия времени при включении/выключении системы и между переходными процессами;
- сокращение времени при обучении персонала для работы с системой;
- уменьшение числа ошибок и сокращение времени простоя;
- комфорт работы оператора.

Возможности применения Web-технологий в системах мониторинга

Использование в качестве программного обеспечения систем мониторинга Web-приложений (одно- или

несколько страничных экранов) предоставляет ряд преимуществ, а именно: приложение не нужно специально загружать и устанавливать на персональный компьютер или смартфон и проводить дополнительные настройки, Web-приложения не столь требовательны к аппаратным ресурсам, на которых они работают. Одним из самых больших преимуществ применения подхода в виде Web-приложений является отсутствие необходимости регулярного обновления версий и поддержки устаревших версий, что в промышленном секторе существенно экономит ресурсы разработчиков.

Конечно, у Web-приложений есть и свои недостатки. Во-первых, это необходимость наличия сети (Internet или корпоративной), так как все данные хранятся не на самом устройстве, а на сервере. При использовании указанного подхода на промышленных предприятиях с повышенным контролем безопасности возникают дополнительные трудности, которые можно решить за счет использования корпоративных сетей, с запретом обмена информацией с устройствами вне предприятия. Низкие требования к аппаратным ресурсам устройств, как один из плюсов Web-приложений, может являться и минусом, например, если необходимо в реальном времени проверять через Web-страницу коллизии от столкновений узлов станка в режиме полноценной 3D визуализации или отслеживать актуальную 3D модель обрабатываемой детали.

Машинные данные, получаемые в процессе производства непосредственно с технологического оборудования, являются объективными показателями технологического процесса изготовления продукции. Системы мониторинга нового класса (MDC, Machine Data Collection) необходимы для обеспечения получения информации об объекте (технологическое оборудование) в требуемом объеме и качестве для контроля технического состояния объекта. При этом MDC системы не вытесняют понятие SCADA, но решают иной класс задач [5]. Создание системы мониторинга станков с ЧПУ с визуализацией большого числа параметров работы объекта в удобной для конечного пользователя форме, будь то оператор станка, работники сервисной службы, технологи, главный механик или менеджеры предприятия, является важным этапом для решения таких задач, как обеспечение качественного выполнения технологического процесса и снижения времени наладки оборудования, ввода его в промышленную эксплуатацию, предупреждения выхода его из строя. Подход с использованием Web-технологий, а именно, подготовленных программных компонентов, позволит ускорить процесс создания экранов отображения данных. При этом такой подход нуждается в формализации шагов и описании применения компонентной технологии построения пользовательского интерфейса.

Разработка методики синтеза систем мониторинга технологического оборудования с ЧПУ

Представленная методика состоит из отдельных шагов, результат выполнения каждого из которых

подается в виде входных данных на следующий шаг (рис.1).

На первом шаге методики производится анализ систем управления технологическим оборудованием, под которым понимается процесс исследования системы управления, основанный на ее декомпозиции с последующим определением статических и динамических характеристик составляющих элементов. На этом этапе происходит определение самого объекта анализа, определение функциональных особенностей системы управления (в частности систем ЧПУ). На данном этапе необходимо выявить особенности передачи информации от системы ЧПУ в другие системы: протоколы и интерфейсы передачи данных, структура и формат пакетов данных, полнота передаваемых данных. Результатом работы этого шага является набор возможных опрашиваемых параметров от системы ЧПУ, внешних датчиков и перечень необходимых к поддержке протоколов передачи данных.

Далее идет определение набора параметров для мониторинга отдельных станков ЧПУ или групп станков. Стоит учитывать, что набор параметров зависит от поставленной задачи или от конкретной роли оператора (главный механик, технолог и т.д.), поэтому верным шагом будет собирать как можно большее число параметров, а на серверной части агрегировать их под конкретные роли, так как современные способы организации СУБД предоставляют широкие возможности для этого [6].

Выбор методов и разработка алгоритмов получения технических диагнозов состояния оборудования в настоящее время является практически обязательным шагом, позволяющим разделить анализируемые данные на определенные группы как для текущей

визуализации, так и для последующего глубокого анализа [7]. На этом шаге определяются предельно допустимые значения параметров, выстраивается взаимосвязи параметров между собой с возможностью ручной корректировки параметров.

На этапе выявления необходимых технологий и библиотек для подключения к системе управления (ЧПУ) выбираются модули как для связи с самой ЧПУ и датчиками, так и для передачи информации на сервер агрегирования (или от сервера) данных и в систему визуализации. Различные системы ЧПУ и датчики могут работать на основе разнообразных протоколов, при этом постоянная поддержка в синтезируемой системе всех решений будет иметь определенные сложности. Например, в системе мониторинга нет необходимости поддержки API Focas, если в группу целевых станков с ЧПУ не входят системы Fanuc, или, наоборот, необходимо поддержать протокол OPC UA, если этот стандарт поддерживает сразу несколько станков из целевой группы. Также стоит учесть возможности наличия готовых инструментариев как для сбора, так и для отображения данных (Node-Red).

Следующий этап - конфигурирование базового модуля является достаточно важным, он позволяет выделить минимально необходимый набор функций – сбор данных (без хранения) и отображения в виде числовых или графических значений без возможности настройки расположения элементов. На этом шаге создается файл конфигурации для опроса параметров.

Далее происходит выбор модулей в зависимости от поставленной задачи. Например, для визуализации исторических данных необходимо использование хранилище данных. В данном варианте предпочтительнее применение простых SQL систем, в то время как для глубокого анализа данных лучше подходят NoSQL базы данных. Такой вариант имеет смысл использовать при одновременной работе синтезируемой системы мониторинга с уже существующими MDC системами. Также на этом этапе происходит выбор поддерживаемого типа клиентского приложения – это могут быть только Web-клиенты настольных ПК или адаптация под мобильные решения, или только конфигуратор для настройки параметров (в случае синтеза системы для роли типа «root»).

На предпоследнем шаге происходит синтез системы мониторинга с выстраиванием основных взаимосвязей между всеми модулями с использованием специального конфигурационного файла. В файле происходит автоматическая генерация

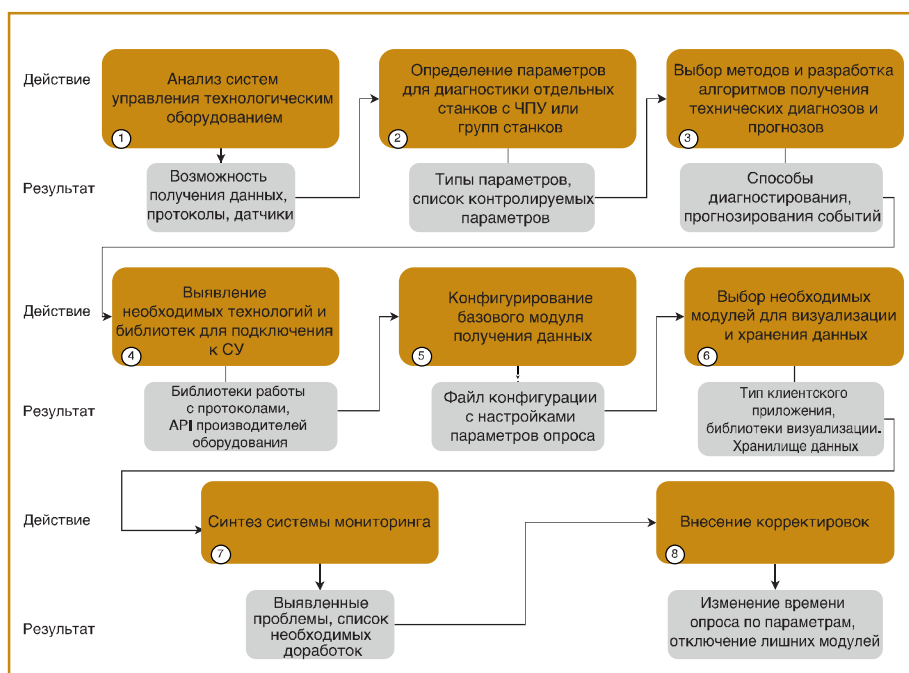


Рис. 1. Предлагаемая методика синтеза систем мониторинга станков с ЧПУ на основе Web-технологий

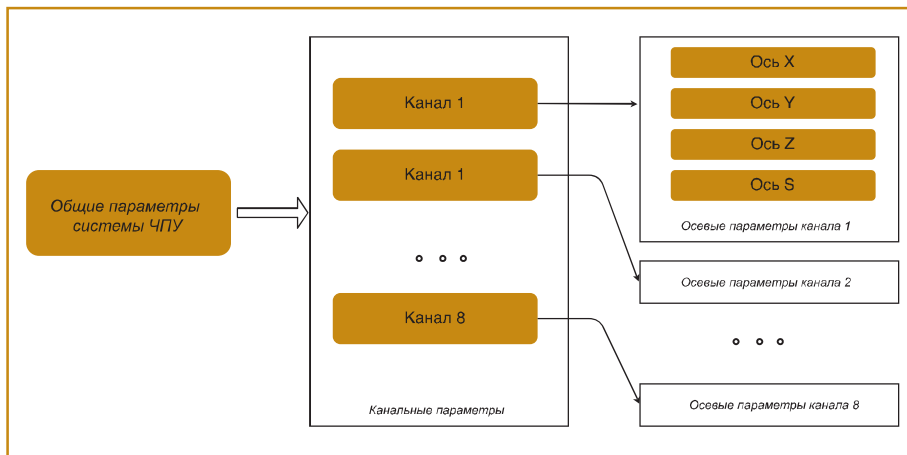


Рис. 2. Параметры, получаемые с OPC UA сервере системы ЧПУ «АксиОМА Контроль»

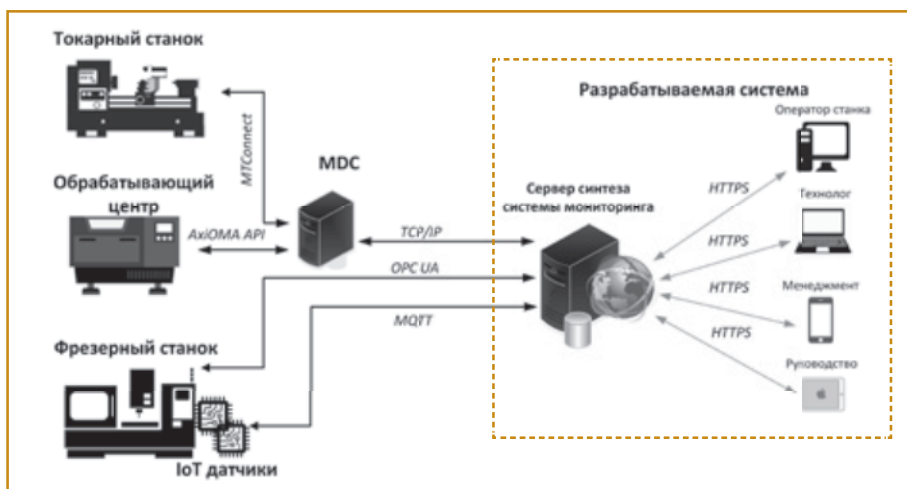


Рис. 3. Структурная схема взаимодействия модулей

на отдельных единицах оборудования, будем рассматривать параметры отдельно взятого оборудования, без выделения параметров для групп и технологического процесса в целом.

Список параметров, получаемых от OPC UA сервера рассматриваемой ЧПУ, делится на общие, каналные и осевые (рис. 2). Общие параметры содержат время работы ЧПУ (текущее и за все время работы данного станка с ЧПУ), число перезапусков, состояние соединения. «АксиОМА Контроль» поддерживает до восьми каналов управления, каждый из которых может передавать информацию о своем режиме (Авто, Ручной, Jog и др.), состоянии (Готов, Работа, Ошибка и др.), имени управляющей программы, текущем проценте ее выполнения, текущем времени работы конкретного канала, активной M-функции, числе интерполируемых осей на канале и шпинделей. В свою очередь оси (их может быть до 32 ед.) содержат параметры: тип оси (линейная, круговая или шпиндель), состояние оси, командная позиция (задаваемая от ЧПУ), текущая позиция (получаемая по обратной связи), командная и текущая скорость, конечная позиция, текущий момент [9]. Каждый параметр характеризуется своим типом данных, который стоит учитывать при хранении или отображении в Web-клиенте.

структуры синтезируемой системы, после чего могут добавляться пользовательские параметры, например, такт опроса датчиков. На последнем шаге происходит этап тестирования и внесения необходимых корректировок (в случае необходимости), к которым относится изменение компонентов визуализации, перенастройка файла конфигурации, изменение времени опроса оборудования по различным параметрам.

Синтез системы мониторинга для работы с системой ЧПУ «АксиОМА Контроль»

На основе представленной методики был разработан и реализован алгоритм работы системы мониторинга. В качестве примера для реализации взаимодействия с системой мониторинга была выбрана отечественная система ЧПУ «АксиОМА Контроль». Данная ЧПУ имеет свой OPC UA сервер для передачи информации о работе оборудования [8]. В этом случае в системе мониторинга необходимо реализовать модуль связи (OPC Client), чтобы разрабатываемая система могла получать данные. «АксиОМА Контроль» может передавать все основные данные о работе оборудования. Так как указанная система ЧПУ осуществляет управление

получаемая по обратной связи), командная и текущая скорость, конечная позиция, текущий момент [9]. Каждый параметр характеризуется своим типом данных, который стоит учитывать при хранении или отображении в Web-клиенте.

При выявлении необходимых библиотек и технологий подключения к системе ЧПУ были выбраны соответственно OPC UA клиент и MQTT подписчик (для работы с внешними датчиками, которые «публикуют» информацию на внешний MQTT брокер, откуда и происходит ее сбор в виде «подписки» на соответствующую «тему»). Совокупность описанных требований обуславливалась требованиями разработки универсальных решений, способных функционировать на различных платформах, не требующих специализированного обучения специалистов для поддержки данных решений [10].

Отметим, что базовый и выбираемые блоки, которые определяются после первого шага методики реализованы с использованием языка Python 3 и дополнительных фреймворков. Для реализации модуля работы с OPC UA сервером используется библиотека Python OPC UA. API интерфейсы указанной

библиотеки предлагают как механизмы низкого уровня для отправки и получения всех структур, определенных OPC UA, так и классы высокого уровня, позволяющие написать сервер или клиент в несколько строк. Для передачи информации между системой ЧПУ, OPC сервером и сервером системы мониторинга используется протокол TCP/IP и осуществляется передача пакетов, содержащих данные в виде XML и JSON. Для реализации сервера используется aiohttp — это асинхронный Web фреймворк на asyncio Python 3.5.3+ для клиентской и серверной сторон. Сервер записывает данные в базу и предоставляет информацию для клиентской части. Сервер системы выполняет запрос о работе технологического оборудования, а также принимает данные связан-

ные с критическими состояниями оборудования (рис. 3).

При получении от сервера сбора данных информации о критических ошибках в работе объекта, отправляется сообщение разрешенному пользователю по протоколу HTTPS (расширение протокола HTTP для поддержки шифрования в целях повышения безопасности, данные в протоколе HTTPS передаются поверх криптографических протоколов SSL или TLS). При этом ведется запись указанных данных для возможности последующего их извлечения и анализа.

Для визуализации данных используется компонентный подход. Компоненты представляют собой автономный код (подсистему), который может быть повторно использован за счет его независимого развертывания. Компоненты имеют множество предоставляемых и требуемых интерфейсов и используются в больших сложных приложениях с десятками и сотнями классов предметной области. В сложных случаях разработки больших систем, например, при разработке корпоративной информационной системы, потребуются использование диаграммы компонентов.

В качестве компонента визуализации используется фреймворк Vue.js, который позволяет разбивать приложение на более мелкие, многократно используемые части (компоненты), которые затем можно использовать для построения более сложной структуры.

На рис. 4 показана схема взаимодействия используемых модулей и библиотек.

Первый уровень на схеме — это источник информации, который предоставляет данные посредством протоколов связи. Второй уровень — это сервер системы мониторинга,

который позволяет реализовать доставку, обработку и хранение данных получаемых от оборудования и датчиков. Третий уровень — это пользовательский интерфейс системы мониторинга, который позволяет представить информацию в виде карточек оборудования, графиков, таблиц, отчетов и других визуальных элементов.

На основе предложенной методики была синтезирована система визуализации данных, представляющая singlepage страницу с возможностью выбора отображаемых параметров для оператора станка ЧПУ и наладчика. При этом выбор

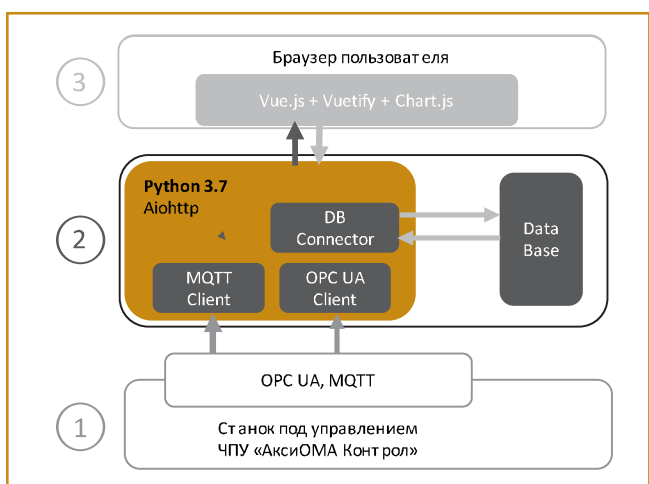


Рис. 4. Схема взаимодействия используемых модулей и библиотек

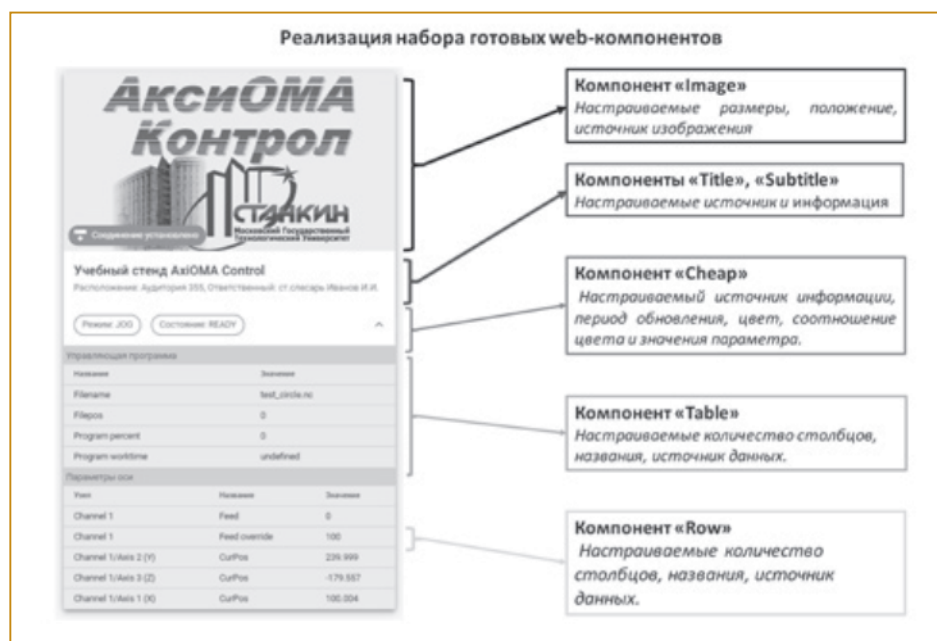


Рис. 4. Схема взаимодействия используемых модулей и библиотек

*Придет время,
когда наука опередит фантазию.*

Альберт Сент-Дьёрди

компонентов происходит на основе простого подключения выбираемых модулей и файла конфигурации без необходимости перепрограммирования всей системы мониторинга. Есть возможность самостоятельной настройки интерфейса каждым пользователем, в том числе: добавление/удаление карточек оборудования, построение планов, создание отчетов с необходимыми полями, настройка параметров отображения данных с оборудования, ведение учета времени работы сотрудников, добавление/удаление карточек сотрудников.

На рис. 5 показаны основные тестируемые компоненты модуля визуализации для составления Web-страницы и отображения необходимых параметров. Используемые элементы не зависят от нижнего уровня сбора данных (OPC UA, API) и могут быть применимы, в том числе к другим системам ЧПУ для составления собственных страниц и отображения параметров в зависимости от роли оператора станка [11]. Также может быть настроено визуальное отображение элементов (цветовая гамма, размер шрифта и т.д.).

Заключение

Предлагаемая методика позволяет синтезировать удаленные системы мониторинга с визуализацией данных через Web-страницы. Такое решение отличается удобством использования по сравнению с мобильными и десктопными приложениями, в которых требуется осуществить ряд дополнительных настроек и решать вопрос с поддержкой устаревших версий. Экраны могут быть сконфигурованы в зависимости от используемых ролей, применяемых в механизмах разграничения доступа (оператор станка, механик, технолог и др.). Предлагаемая методика является обобщенной и может быть применена в системах мониторинга, работающих с другими ЧПУ. Основным условием применения указанной методики является поддержка базового модуля сбора информации с целевой ЧПУ, либо использование REST архитектуры для сбора данных со стороннего сервера агрегирования данных с систем ЧПУ. В статье представлен практический пример синтеза Web-страницы для системы мониторинга, которая взаимодействует с СЧПУ «АксиОМА Контрол».

Ковалев Илья Александрович – канд. техн. наук, доцент, **Нежметдинов Рамиль Амирович** – д-р техн. наук, доцент, **Червонова Надежда Юрьевна** – ст. преподаватель, **Абдулов Рамир Ринатович** – магистрант ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

Контактный телефон (499) 972-94-40.

E-mail: i.kovalev@stankin.ru

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 «Индустрия 4.0» // Автоматизация в промышленности. 2017. №5. с.5-9
2. *Martynova, L., Sokolov, S. and Babin, M.* (2020). Organization of Process Equipment Monitoring. In: 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara: IEEE.
3. *Viktor Chekryzhov, Ilya A.Kovalev, Anton S.Grigoriev* (2018). An approach to technological equipment performance information visualization system construction using augmented reality technology. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018. pp.1447-1453.
4. *Martynov, G. M., Pushkov, R. L. and Evstafieva, S. V.* (2020). Collecting diagnostic operational data from CNC machines during operation process. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 709, No. 3, p. 033051). IOP Publishing.
5. *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.
6. *Ковалёв И.А., Нежметдинов Р. А., Квашин Д.Ю., Чекрыжов В.В.* Агрегирование информации о работе технологического оборудования с применением Industrial Internet of Things // Автоматизация в промышленности, №5. 2019. с.29-32.
7. *Martynova L.I., Kozak N.V., Kovalev I.A. and Ljubimov A.B.* Creation of CNC system's components for monitoring machine tool health. Int J Adv Manuf Technol (2021).
8. *Козак Н.В., Аль-Вади О.* Применение протокола OPC UA для расширения коммуникационных возможностей систем ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2019. №2. с.26-29.
9. *Мартинов Г.М.* Система ЧПУ "АксиОМА Контрол": перспективы развития в поле мировых трендов // Вестник МГТУ "Станкин". 2018. №1. с.106-110.
10. *Kovalev, I., Nezhmetdinov, R. and Nikishechkin, P.* (2019). Approach to Assessing the Possibility of Functioning of CNC and PAC Systems on Various Software and Hardware Platforms. In: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok: IEEE, pp.1-5.
11. *Никишечкин П.А., Аль Хури А., Исса А., Червонова Н.Ю.* Использование протокола OPC UA для мониторинга работы технологического оборудования, управляемого с помощью программно-реализованного контроллера // Автоматизация в промышленности. 2020. №5. с.37-40