

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ INDUSTRY 4.0

П.А. Никищечкин, Н.Ю. Червоннова, А.Н. Никич (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

*Представлены теоретические аспекты разработки системы непрерывного контроля и мониторинга технологических процессов на промышленных предприятиях. Сформулированы требования к разрабатываемой системе, ее функциональные возможности и базовые принципы построения. Систематизированы основные блоки данных, которые необходимо получать и своевременно контролировать в ходе технологического процесса, а также способы их получения<sup>1</sup>.*

*Ключевые слова: технологический процесс, мониторинг, Industry 4.0, сбор информации, управление, автоматизация, ЧПУ.*

### Введение

Основным фактором, влияющим на конкурентоспособность машиностроительных предприятий, является качество изготавливаемой продукции. При этом качество продукции зависит от множества факторов на всех этапах технологического цикла производства, включая: качество проектных работ, исходного сырья и материалов, технологии и организации производства, техническое состояние оборудования, квалификацию производственного и управленческого персонала, качество управления процессом обработки, а также проведение контроля уже изготовленного продукта. Реализация непрерывного мониторинга технологического процесса на всех его этапах позволяет организовать обратную связь, формирующую информацию о реальном состоянии производства, в частности, технологических процессов изготовления деталей машиностроения, а также принять решение о необходимых корректировках.

В то же время, на современных предприятиях происходит переход от концепции, направленной на автоматизацию отдельных машин и процессов к концепции Industry 4.0, в основе которой лежит многоуровневая, сложная, глобальная технологическая и организационная система, которая подразумевает интеграцию в единое информационное пространство физических операций и сопровождающих их процессов. Иерархическая структура построения современного цифрового машиностроительного производства состоит из нескольких уровней, на каждом из которых располагаются автоматизированные информационно-управляющие системы, решающие различные задачи (управление технологическим процессом, системы мониторинга, подготовки производства, финансовые, кадровые системы, системы управления верхнего уровня), взаимодействующие

между собой и позволяющие реализовать эффективное функционирование предприятия в целом.

При этом на отечественных предприятиях зачастую наблюдается проблема объединения всего оборудования и систем управления в единую систему, заключающаяся в том, что совокупность гетерогенного технологического оборудования от различных производителей, имеющего различные протоколы взаимодействия, усложняет процессы мониторинга их функционирования и делает сложно реализуемым процесс агрегирования всей информации и ее передачу на более высокие уровни производства. При использовании разнородного технологического оборудования различия в стандартах и протоколах обмена данными значительно затрудняют полноценную синхронизацию совместной работы оборудования, а иногда и вовсе делают ее невозможной. Это значительно усложняет решение задачи построения гибких производственных систем, состоящих из разнородного технологического оборудования. Имеющиеся на рынке системы мониторинга за технологическими процессами также не способны полноценно решить данную задачу, поскольку в большинстве своем представляют закрытые решения, функционирующие с ограниченным числом промышленных протоколов и предназначенные в основном для мониторинга работы оборудования от единого производителя, то есть работы с комплектными решениями.

Таким образом, для обеспечения качества продукции и эффективности производства на предприятиях необходимо внедрение дополнительных систем автоматизированного контроля качества, одним из важнейших элементов которых являются системы мониторинга технологического процесса и оборудования, выполняющие функции обратной связи. Для этого необходимо реализовать промежуточную синхронизацию

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения Госзадания (№ 2.1237.2017/4.6) и проводилось с использованием оборудования, предоставленного центром коллективного пользования МГТУ «СТАНКИН».

Таблица. Данные, используемые при мониторинге технологического процесса

Блок данных	Функции, реализуемые в разрабатываемой системе
Информация о технологическом маршруте изделия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• диспетчеризация прохождения детали по технологическому маршруту с применением технологий QR-кодов;</li> <li>• анализ времени выполнения технологических этапов и возможности их оптимизации.</li> </ul>
Производительность работы оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подсчет времени активной работы оборудования (работы не в холостом режиме);</li> <li>• подсчет времени простоя оборудования;</li> <li>• анализ общей загрузки оборудования в ходе реализации технологического процесса;</li> <li>• анализ возможностей оптимизации работы оборудования.</li> </ul>
Общее состояние работы оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сбор данных о текущих режимах и состоянии работы систем управления технологическим оборудованием;</li> <li>• определение корректности выполнения запланированных задач на технологическом оборудовании;</li> <li>• визуальное представление картины работы отдельной машины, цеха, и/или целого производства с помощью построения собственных терминалов управления и контроля;</li> <li>• мониторинг окружающей среды оборудования (температура, влажность, пыльность и т.п.).</li> </ul>
Работа и действия оператора	<ul style="list-style-type: none"> <li>• фиксирование работы конкретного оператора с конкретным оборудованием;</li> <li>• анализ производительности работы оператора;</li> <li>• анализ ошибочных действий оператора.</li> </ul>
Диагностика сложных и ответственных узлов работы оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• диагностика состояния режущего инструмента и прогнозирование его остаточной стойкости;</li> <li>• возможность установки дополнительных сенсоров и датчиков для мониторинга работы отдельных узлов станка;</li> <li>• определение состояния работы технологического оборудования, оснащенного закрытыми системами управления;</li> <li>• определение состояния работы основных узлов оборудования ручным управлением – универсальных станков и других машин;</li> <li>• определение показателей, превышающих допустимые нормы для определения внештатной ситуации в работе оборудования.</li> </ul>
Качество изготовленных изделий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сохранение данных о метрологических измерениях;</li> <li>• анализ повторяемости найденных отклонений при изготовлении однотипных изделий;</li> <li>• анализ влияния изменений в технологический процесс на качество готовых изделий.</li> </ul>

цию и диспетчеризацию потоков данных от различных систем управления технологическим оборудованием, работающих на базе разнородных промышленных протоколов связи, и создание промежуточной системы, реализующей сбор информации с разнородного технологического оборудования и ее передачу на более высокие уровни управления предприятием.

**Подход к построению системы мониторинга технологических процессов**

В ходе исследования были систематизированы основные блоки данных, которые необходимо получать и своевременно контролировать для реализации полноценного мониторинга технологического процесса и повышения его эффективности (таблица).

Как видно из таблицы, большинство параметров, которые необходимо контролировать в ходе реализа-

ции технологического процесса, представляют собой информацию, которую можно получить через систему управления технологическим оборудованием, или напрямую, путем внедрения дополнительных аппаратных средств.

В качестве решения поставленной задачи предлагается разработка программно-аппаратного комплекса, осуществляющего систематизированный сбор и обработку информации с производственных участков путем взаимодействия с системами управления, приводным оборудованием и/или датчиками, установленными на узлы гетерогенного технологического оборудования, и реализовывать ее передачу на более высокие уровни управления предприятием.

Комплекс будет полностью отвечать концепции Индустрия 4.0 и позволит решить следующие задачи:

- объединение разнородного оборудования в единое информационное пространство;
- мониторинг состояния работы оборудования;
- сбор информации о производительности оборудования и оператора;
- передача информации о работе производства на более высокие уровни предприятия;
- информационная поддержка компенсации изменения условий обработки (например, температурных);
- оперативное реагирование на внештатные ситуации;
- прогнозирование возможных аварийных ситуаций;
- минимизация времени простоя оборудования.

На рис. 2 представлены варианты взаимодействия системы сбора данных с разнородным технологическим оборудованием в рамках производственного участка или цеха.

Как видно из рисунка, комплекс может осуществлять сбор данных с технологического оборудования тремя способами:

- с использованием стандарта OPC UA, если таковой поддерживается системой ЧПУ или другой системой управления;
- путем подключения системы сбора данных в промышленную сеть, используемую оборудованием по одному из нескольких промышленных протоколов (EtherCAT, SERCOS, CAN);
- с использованием дополнительного аппаратного модуля сбора данных, который принимает информацию с датчиков, которыми необходимо оснастить оборудование для мониторинга состояния его работы. Подобный вариант применяется в том случае, если для управления оборудованием используется закрытая система управления или не используется вообще (универсальные станки);

При этом комплекс имеет некоторое ограничение на объем передаваемых и обрабатываемых данных, поэтому число подобных решений для сбора данных с производственного участка может варьироваться, в зависимости от сложности оборудования. Можно отметить основные преимущества разрабатываемого решения перед имеющимися на рынке аналогами:

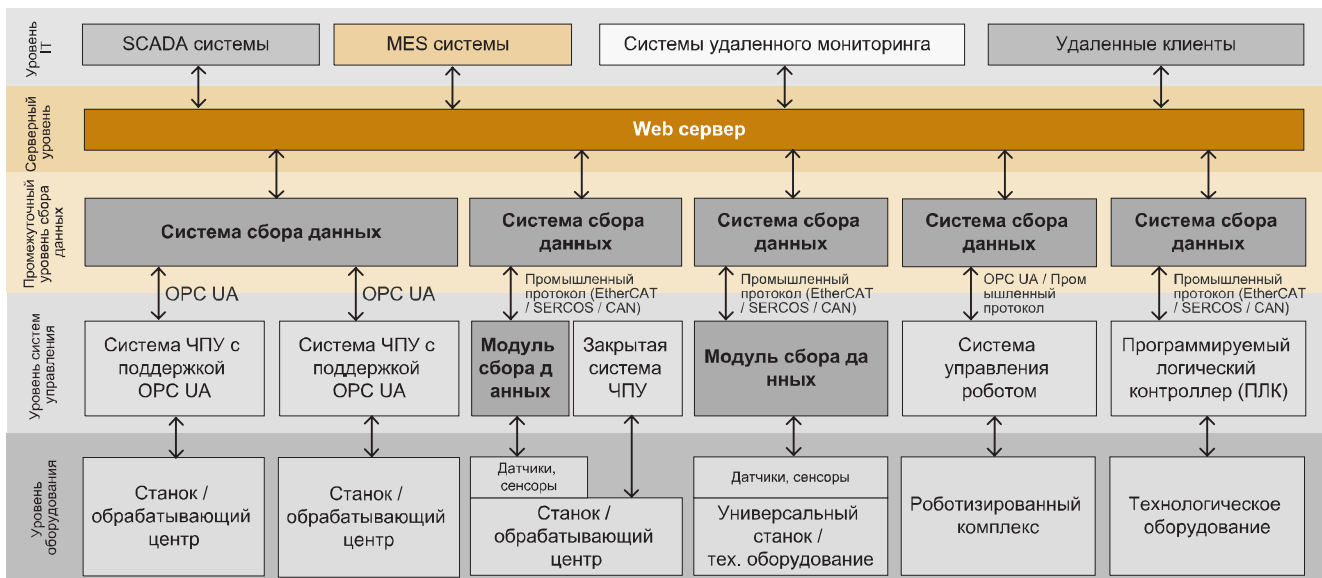


Рис. 1. Варианты взаимодействия системы сбора данных с разнородным технологическим оборудованием в рамках производственного участка

- простой обмен данными между уровнем производства и уровнем ИТ, включающим MES, приложения для анализа и работы с базой данных и облачные приложения;
- универсальность применения, практически независимо от типа имеющегося оборудования и систем управления;
- отсутствие вмешательства в программу работы оборудования благодаря параллельному запуску функции сбора данных и машинного управления;
- возможности построения собственных терминалов управления.

**Практическая реализация и тестирование базовой версии системы мониторинга**

Основная часть разрабатываемого комплекса будет представлять программно-вычислительный модуль, позволяющий осуществлять взаимодействие с оборудованием различных типов, используя промышленные протоколы связи EtherCAT, SERCOS, CAN, OPC UA, а также возможность считывания данных с дополнительных дат-

чиков, установленных на технологическое оборудование. Затем информация агрегируется в централизованном хранилище на сервере, откуда может передаваться на более высокие уровни управления производством (SCADA, MES, ERP) или предоставляться по запросу удаленным клиентам. Архитектура решения позволяет также обрабатывать и формировать по запросу операторов, наладчиков и т.д. именно тот набор данных, который является наиболее важным и необходимым в данный момент времени.

В качестве примера применения базовой версии разрабатываемого решения было выбрано два учебно-демонстрационных стенда, имитирующих работу разнородного технологического оборудования. Стенд оборудован системой ЧПУ «АксиОМА Контроль» и имитирует процесс управления фрезерным станком. При этом была поставлена задача сбора и визуализации основной информации о работе технологического оборудования, а именно: информация о типе оборудования, операторе, статусе работы, а также базовых технологических параметрах.

Сбор информации производился с применением подходов, представленных на рис. 1. Сбор информации с системы ЧПУ производился по протоколу OPC UA: информация о статусе работы системы, время его непрерывной работы, время простоя оборудования, информация об управляющей программе и числе обработанных деталей за последнюю смену. Также в базу была записана информация об оборудовании и операторе, который с ним работает, а также присвоенный ему уникальный идентификатор. Таким образом, производится независимый сбор информации с разнородного оборудования и ее сохранение на едином сервере, с возможностью доступа к ней из других систем.

В качестве одного из решений для визуализации информации, собранной с разнородного технологического оборудования, использована технологии дополненной реальности (AR) (рис. 2).

На каждом технологическом оборудовании, задействованном в технологическом процессе, за которым



Рис. 2. Применение технологии дополненной реальности для визуализации информации, собранной с разнородного технологического оборудования

осуществляется мониторинг, закрепляется QR-код, в котором хранится уникальный идентификатор данного оборудования. В базе на сервере хранится информация о данном оборудовании, а также данные, считываемые с него с помощью разрабатываемой системы мониторинга. При этом данные, необходимые для визуализации, можно гибко настраивать. Таким образом, оператор или начальник цеха имеет возможность оперативно получать всю необходимую ему информацию о работе технологического оборудования на конкретном участке, путем считывания QR кода оборудования, и видеть с помощью очков дополненной реальности актуальную информацию о работе данного оборудования, обновляющуюся в реальном времени. Представленные возможности позволяют обеспечить возможности оперативного мониторинга и контроля за реализацией всего технологического процесса, в частности, за работой операторов и состоянием технологического оборудования, как на цеховом уровне, так и в системах управления более высокого уровня.

#### Заключение

Рассмотренная задача построения системы мониторинга за технологическими процессами, основанной на считывании основной информации о работе технологического оборудования, работе операторов, стадиях изготовления конечного продукта и других вспомогательных процессах, является актуальной для построения современных предприятий, отвечающих концепции Industry 4.0.

В работе предложен подход к считыванию и агрегированию данных с разнородного технологического оборудования, имеющего различный уровень автоматизации и управляющие системы от различных производителей. Представленный подход позволит объединить разнородное оборудование в единую сеть и передавать на более высокие уровни управления предприятием наиболее полную картину об управлении технологическом процессе.

Рассмотренный пример мониторинга за работой оборудования, управляемого системой ЧПУ является подтверждением правильности выбранного подхода и базовой реализации системы мониторинга. Помимо этого, в работе описан один из перспективных способов представления считанной технологической информации с применением технологии дополненной реальности, расширяющий возможности и повышающий удобство наблюдения за технологическим процессом на цеховом уровне.

Реализация представленных технологий и внедрение их на отечественные предприятия позволит значительно расширить возможности мониторинга за технологическими процессами, снизить процент

брака, более оперативно реагировать на аварийные ситуации, и будет способствовать успешному выстраиванию многоуровневых технологических и организационных систем управления производством.

#### Список литературы

1. *Martinov G. M., Nikishechkin P.A., Grigoriev A.S., Chervonnova N. Yu. Organizing Interaction of Basic Components in the CNC System AxiOMA Control for Integrating New Technologies and Solutions // Automation and Remote Control, 2019, Vol. 80, No. 3, pp. 584–591.*
2. *Martynova L., Martinov G. Automation of Machine-Building Production According to Industry 4.0. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp.1 - 4.*
3. *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). pp.1-9*
4. *Martinov, G., Kovalev, I., Al Khoury, A. Construction of a Specialized CNC System for Thread Grinding Machines. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE.*
5. *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.*
6. *Никишечкин П.А., Червоннова Н.Ю., Никич А.Н. Подход к построению специализированных портативных терминалов для контроля и управления технологическим оборудованием // Автоматизация в промышленности. 2018. №6. с.63-67.*
7. *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)).*
8. *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.*
9. *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 // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2017.p.1-4.*
10. *Nezhmetdinov R., Nikishechkin P. and 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.*

**Никишечкин Пётр Анатольевич** — канд. техн. наук, доцент,  
**Червоннова Надежда Юрьевна** — старший преподаватель,  
**Никич Анатолий Николаевич** — инженер кафедры  
 компьютерных систем управления ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».  
 Контактный телефон +7 (499) 972-94-40.  
 E-mail: pnikishechkin@gmail.com