



## Подход к построению систем логического управления технологическим оборудованием для реализации концепции «Индустрия 4.0»<sup>1</sup>

Р.А. Нежметдинов, П.А. Никищечкин, И.А. Ковалев,  
Н.Ю. Червоннова (ФГБОУ ВО «МГУ «СТАНКИН»)

*Исследованы актуальные тенденции развития современных промышленных предприятий, проведен анализ соответствия имеющихся принципов построения систем логического управления концепции «Индустрия 4.0». Описаны принципы построения системы логического управления и предложена ее архитектурная модель с возможностью ее интеграции в цифровые машиностроительные производства. Приведен пример решения задачи синхронизации работы станочного и робототехнического оборудования с применением описанного подхода к построению логической системы управления, а также возможности передачи диагностической информации на более высокие уровни управления.*

*Ключевые слова:* логическое управление, контроллер, ЧПУ, ПЛК, технологический процесс, Индустрия 4.0, «умное» производство.

### Введение

Сегодняшний этап развития общества относят к постиндустриальному, основу которого составляет информация как средство и объект производства. В этих условиях изменились средства сбора, обработки и передачи информации: все большее число людей для работы с информационными ресурсами используют мобильные устройства, а для доступа к большим объемам данных применяют глобальную сеть и облачные технологии [1]. Эти изменения отразились и на промышленных технологиях, в которых произошел переход от концепции, направленной на автоматизацию отдельных машин и процессов к концепции «Индустрия 4.0», которая предусматривает цифровое представление всех физических активов с последующей интеграцией в цифровую глобальную систему,

выстроенную совместно с партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости. В основе новой концепции лежит многоуровневая, сложная, глобальная технологическая и организационная система, которая подразумевает интеграцию в единое информационное пространство физических операций и сопровождающих их процессов.

Концепция «Индустрия 4.0» включает шесть аспектов, каждый из которых оказывает влияние на технологическую систему в целом: управление жизненным циклом изделия, работа с большими объемами данных, организация «умного производства», организация кибер-физических систем, Internet вещей, функциональная совместимость элементов системы [2, 3].

На сегодняшний день наиболее распространенными при автоматизации машиностроительных производств

Таблица. Анализ соответствия систем логического управления концепции Индустрия 4.0.

	ПЛК	РАС	Soft PLC	Контроллер в концепции «Индустрия 4.0»
Управление жизненным циклом изделия	Связь с PLM системами с использованием промежуточного программно-аппаратного звена сбора и обработки информации			Связь с PLM системами напрямую
Работа с большими данными	–	Зависит от конкретной программной реализации		Есть ресурсы для работы с большими объемами данных
«Умное производство»	Поддержано отдельными флагманскими моделями	Зависит от конкретной программно-аппаратной реализации		Реализуют концепцию умного производства
Кибер-физические системы	Способны работать в едином сетевом пространстве предприятия, если оно реализовано с поддержкой стандартов конкретного производителя оборудования			Работают в едином сетевом пространстве предприятия
Internet вещей	Поддержан отдельными флагманскими моделями	Имеют возможность выхода в глобальную сеть	Зависит от аппаратной платформы	Имеют возможность выхода в глобальную сеть
Возможность увязывания в единую систему оборудования различных производителей	Только на уровне аппаратных сигналов			Реализует полноценную синхронизацию, на основе мульти-протокольности
Функциональная совместимость	Поддержка определенного стандарта и протокола связи (в зависимости от конкретного производителя)			Поддержка всех наиболее распространенных стандартов

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (№ 2.1237.2017/ПЧ).





Рис. 1. Структура цифрового машиностроительного производства с выделением системы логического управления

являются системы логического управления, основанные на ПЛК. В то же время все большую популярность приобретают современные средства автоматизации, такие как программно-реализованные логические контроллеры (SoftPLC) и контроллеры автоматизации (PAC — programmable automation controller), но ни одно из этих средств в полной мере не соответствует всем аспектам концепции Индустрия 4.0 (таблица).

Система логического управления, реализованная с поддержкой концепции «Индустрия 4.0», должна:

- иметь канал взаимодействия с системами управления жизненным циклом изделия, что позволит оперативно передавать информацию о состоянии материально-технической базы отдельных производственных узлов и участков;

- поддерживать работу с большими объемами данных (в том числе посредством облачных технологий), сбор которых осуществляется непосредственно с объектов управления;

- иметь возможность работы в структуре цифрового машиностроительного производства, в том числе в рамках виртуальных производственных корпораций;

- осуществлять поддержку основных промышленных и сетевых протоколов для возможности взаимодействия в рамках сетевого пространства предприятия;

- иметь выход в Internet с поддержкой передачи команд управления и специфицированной информации о состоянии работы объекта управления.

### Подход к построению системы логического управления для интеграции в цифровые машиностроительные производства

На рис. 1 представлена иерархическая структура цифрового машиностроительного производства с выделенной на ней системой логического управления. На нижнем уровне указанной структуры располагаются датчики и исполнительные устройства, к которым относятся приводы подачи и главного движения, модули аппаратного ввода/вывода, измерительные устройства и др.

Системы управления технологическим оборудованием (ЧПУ, RobotControl, ПЛК и др.), располагающиеся на уровень выше, объединяют датчики и исполнительные устройства на основе специализированных промышленных протоколов взаимодействия. На уровне систем управления работают также SCADA-системы, которые получают данные о работе технологического оборудования и представляют их операторам в виде, удобном для анализа [4, 5].

Совокупность большого объема технологического оборудования различных производителей затрудняет процессы мониторинга их функциони-



Рис. 2. Архитектурная модель системы логического управления



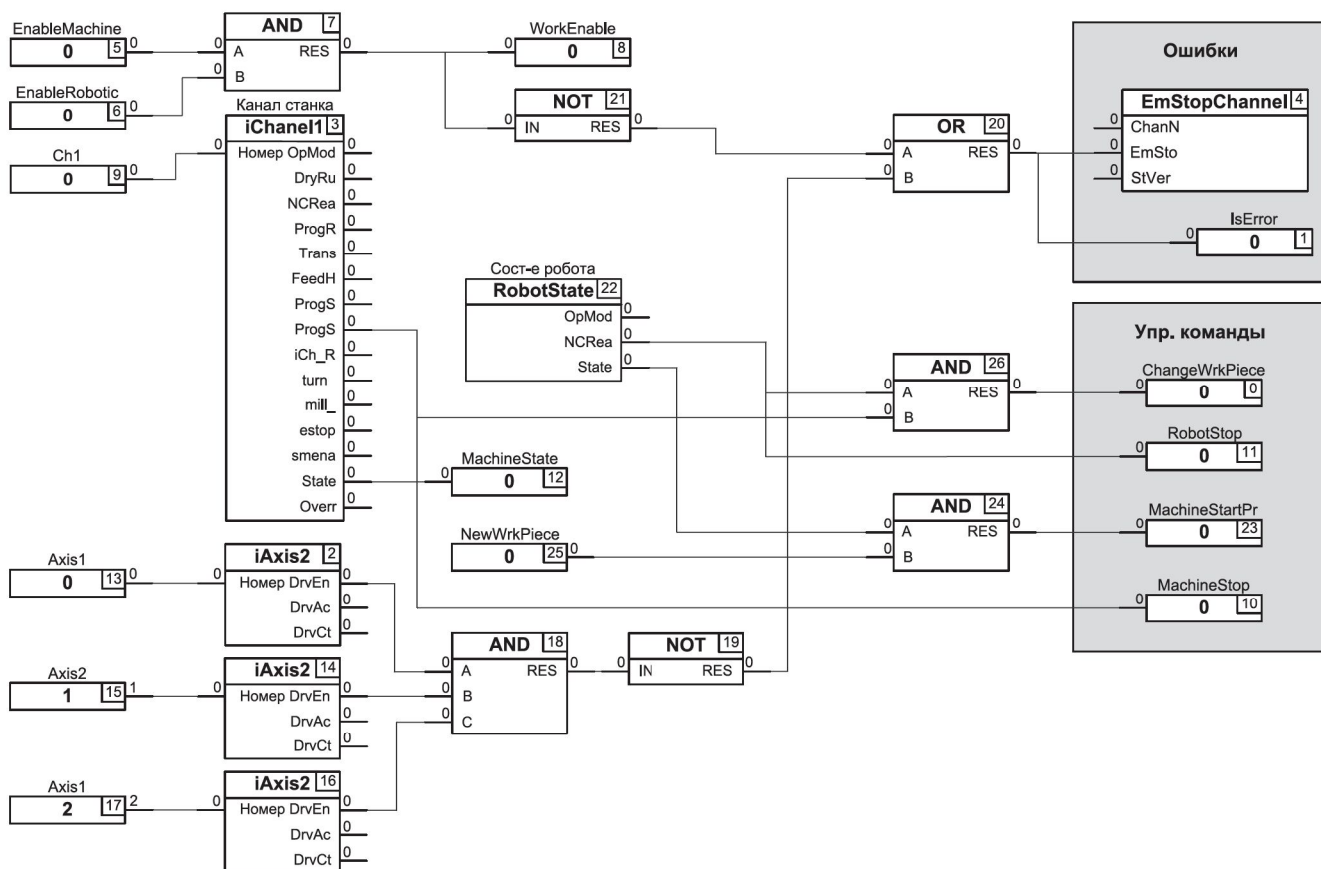


Рис. 3. Программа логического управления для реализации функций синхронизации работы станочного и робототехнического оборудования

рования и усложняет процесс передачи технологической информации на более высокие уровни производства (MES, ERP). Возникает необходимость синхронизации и диспетчирования потоков данных от систем управления технологическим оборудованием, работающих на базе разнородных промышленных протоколов связи. Имеющиеся системы мониторинга за ТП от зарубежных производителей представляют собой 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.

Для решения указанной проблемы предлагается организовать дополнительный уровень, на котором располагается специализированная система логического управления, к основным функциям которой относятся: связь с системами управления верхнего уровня и диспетчирование передачи информации между технологическим оборудованием. Это позволит объединять разнородное оборудование различных производителей в единую сеть и организовать информационный обмен между автоматизированными ячейками [6].

На рис. 2 представлена архитектурная модель системы логического управления. Важнейшей особенностью предлагаемого подхода является реализация функций кроссплатформенности как на системном, так и аппаратном уровнях. Это позволяет исполь-

зовать несколько аппаратных платформ (x86/ARM) с установленной на ней одной из поддерживаемых ОС PB (Windows RTX, Windows CE, Linux RT) [7]. Реализация аппаратной поддержки нескольких платформ предоставляет возможность строить систему логического управления как на базе ПК, так и на базе одноплатных компьютеров и создавать независимые компактные устройства автоматизации ТП с возможностью удаленного управления и доступа к данным, что является одним из важнейших принципов, лежащих в основе построения «умных» производств.

На рис. 2 отображена архитектурная модель разрабатываемой системы логического управления. На уровне ОС происходит разделение на пользовательское пространство, предназначенное для задач визуализации и взаимодействия с системами управления верхнего уровня, и пространство ядра, отвечающее за выполнение задач управления и взаимодействие с аппаратными устройствами. Передача данных между пространствами организована с применением механизма системных вызовов, посредством которых данные поступают из пространства ядра в коммуникационную прослойку пользовательского пространства. Разбор пакетов данных в коммуникационной прослойке производится в зависимости от типа сигналов: аналоговые или цифровые. Далее проводится верификация данных, которая реализуется в соответствующем модуле. Для передачи информации в системы управления верхнего





Рис. 4. Возможности удаленного управления и мониторинга ТП

уровня и удаленной диагностики и настройки используется модуль диспетчеризации. При этом возможность работы с различным оборудованием достигается за счет реализации модульного подхода, инвариантности применения различных промышленных протоколов связи. Это позволяет системе логического управления получить от системы ЧПУ данные о положении осей станка по высокоскоростному протоколу связи (например SERCOS) и передать их в систему управления промышленным роботом для синхронизации с рабочим органом. При этом система управления роботом может быть организована с применением иного промышленного протокола, чем система ЧПУ. Система логического управления имеет также OPC UA сервер, который позволяет организовать передачу информации о ходе выполнения ТП в SCADA.

#### Практическая реализация

Рассмотрим решение задачи синхронизации работы фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ и робототехнического комплекса (РТК). Контроллер логического управления выступает диспетчером между системой управления роботом и системой ЧПУ станка, за счет чего реализуется синхронизация процессов управления технологическим оборудованием, независимо от используемых протоколов.

Контроллер отслеживает статус работы обеих систем и подключен к аппаратному контуру аварийного отключения каждой технологической единицы, позволяя предотвратить ошибки и аварийные ситуации.

На рис. 3 представлена программа логического управления станком и РТК с синхронизацией их действий между собой, разработанная на языке функциональных блоков (FBD) [8].

В представленной программе имеются специальные функциональные блоки для обработки сигналов о статусе работы станка (iChannel) и робота (RobotState) как полученных с аппаратной части, так и от их цифровых систем управления. Программа логического управления определяет завершение обработки детали, блокирует работу станка и отправляет сигнал на смену заготовки, если таковые имеются.

*Тот, кто решился на какое-нибудь великое дело, этой самой решимостью преодолел первое крупное препятствие к выполнению его.*

Джорж Элиот

После этого производится подача разрешающего сигнала на обработку новой заготовки. Во время процесса обработки блокируется работа РТК для предотвращения аварийных ситуаций [9–10].

Результатом работы программы являются команды управления и сгенерированные сигналы об ошибках, которые затем отображаются оператору посредством SCADA-системы. При наличии критических ошибок производится аварийное отключение основных цепей питания.

Контроллер имеет возможность передавать информацию об управляемом процессе на верхние уровни производства: в специализированные SCADA-системы, с помощью которых на цеховом уровне оператор может отслеживать состояние работы и возникающие аварийные ситуации, а также на системы более высокого уровня (АСУПП, АСУП).

В контроллере реализованы функции удаленного управления и мониторингом за управляемыми процессами, в том числе с применением смарт-устройств (планшеты, мобильные телефоны, ноутбуки).

#### Выводы

К преимуществам предложенного в работе решения относятся: возможность управления разнородным оборудованием в соответствии с принципами мультипротокольности, обеспечение синхронизации работы этого оборудования, а также оперативная передача информации на более высокие уровни производства за счет высокого уровня сетевого взаимодействия, что является важнейшим фактором при построении современных производств, соответствующих концепции Индустрия 4.0.

#### Список литературы

1. *Lilija I. Martinova, Sergey S. Sokolov, Petr A. Nikishechkin. Tools for Monitoring and Parameter Visualization in Computer Control Systems of Industrial Robots // Advances in Swarm and Computational Intelligence. 6th International Conference, ICSI 2015 held in conjunction with the Second BRICS Congress, CCI 2015, Beijing, June 25-28, 2015, Proceedings, Part II, p.200-207.*
2. *Никишечкин 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.*
3. *Georgi M. Martinov, Anton S. Grigoryev, and Petr A. Nikishechkin. Real-Time Diagnosis and Forecasting Algorithms of the Tool Wear in the CNC Systems // Advances in Swarm and Computational Intelligence. V. 9142. 2015. pp. 115-126.*
4. *Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А., Пушков Р.Л., Евстафьева С.В. Практические аспекты применения программно-реа-*



- лизованного контроллера для управления электроавтоматикой вертикально-фрезерных станков Quaser MV184//Автоматизация в промышленности, № 5. 2016. с. 14-17.
5. Козак Н.В., Абдуллаев Р.А., Ковалев И.А., Червоннова Н.Ю. Реализация логической задачи ЧПУ и задачи производственной безопасности на основе внешних вычислительных модулей Soft PLC // Автоматизация в промышленности, №5. 2016. с.28-30.
  6. Мартинов Г.М., Никишечкин П.А., Григорьев А.С., Червоннова Н.Ю. Организация взаимодействия основных компонентов в системе ЧПУ АксиОМА Контроль для интеграции в нее новых технологий и решений // Автоматизация в промышленности. 2015. №5. с.10-15.
  7. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Емельянов А.С. Принципы построения кроссплатформенного программно-реализованного контроллера электроавтоматики систем ЧПУ высокотехнологичными производственными комплексами//Вестник МГТУ "Станкин", № 1 (24), 2013, с. 42-51.
  8. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А. Специфика построения редактора управляющих программ электроавтоматики стандарта МЭК 61131 // Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 127-132.
  9. Martinova L.I., Kozak N.V., Nezhmetdinov R.A., Pushkov R.L., Obukhov A.I. The Russian multi-functional CNC system AxiOMA Control: practical aspects of application // Automation and Remote Control. 2015. Т. 76. № 1. С. 179-186.
  10. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А. Разработка средств визуализации и отладки управляющих программ для электроавтоматики, интегрированных в систему ЧПУ // Вестник МГТУ "Станкин". №4(23). 2012. с. 134-138.

*Нежметдинов Рамиль Амирович — канд. техн. наук, доцент,  
Никишечкин Петр Анатольевич — канд. техн. наук, доцент,  
Ковалев Илья Александрович — старший преподаватель,  
Червоннова Надежда Юрьевна — старший преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».*  
Контактный телефон (499) 972-9440  
E-mail: neramil@ncsystems.ru

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INDUSTRY 4.0 ДЛЯ СТАНКОВ И ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Г.-Й. Кориат, М. Хоффман, П. Блау (Fraunhofer IWU)

Четвертая промышленная революция Industry 4.0 базируется на применении технологий цифровой обработки больших объемов данных. На примере немецких и европейских исследовательских проектов рассмотрены инновационные подходы к проведению техобслуживания и мониторинг состояния промышленного оборудования, а также к решению задачи автоматической проверки качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова: промышленное оборудование, датчики, цифровые технологии, автоматическая проверка качества.

### Введение

Развитие информационной и коммуникационной технологий, инновационные подходы в работе с большими объемами данных и прочие научные достижения предоставляют промышленным предприятиям новые возможности для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. На наших глазах реальные промышленные предприятия объединяются с виртуальной реальностью для реализации концепции промышленного Internet вещей, возможности оказывать и принимать новые цифровые услуги, основанные на непрерывном потоке данных. Четвертая промышленная революция значительно повлияла на производителей средств и систем в области машиностроения, так как к производственной технике стали предъявляться новые требования, связанные с реализацией возможностей Industry 4.0.

### Цифровые стратегии для техобслуживания и мониторинга состояния

В первую очередь возможности Industry 4.0 находят применение при реализации стратегии техобслуживания и мониторинга состояния металлорежущих станков и кузнечнопрессового оборудования. Для реализации данной стратегии требуется обеспечить сбор, хранение и пере-

работку данных с целью мониторинга и контроля за изменениями состояния оборудования. Обычно конструктор разрабатывает эскиз металлорежущего станка или промышленного оборудования из стандартных и оригинальных деталей, которые в совокупности проверяются на прочность материала, механическую жесткость, надежность (контактов, пар трения) и долговечность (номинальную нагрузку, число циклов) с учетом влияния окружающей среды. В настоящее время техобслуживание оборудования осуществляется по сервисным планам, а в будущем станет возможным применять стратегию прогнозирования жизни устройства и его остаточного периода. Для реализации такого подхода институт IWU общества им. Фраунгофера создал виртуальную систему, моделирующую состояние оборудования в процессе обработки детали. Также потребовалась система мониторинга состояния реального оборудования, способная с необходимой точностью измерить реальные нагрузки на компоненты станка в процессе эксплуатации (рис. 1).

В настоящее время промышленное оборудование обслуживается по сервисным планам и ремонтируется в случае неисправности. Типичные отказы — это деформация, износ, трещины и коррозия, которые можно определить с помощью физического моделирования, измерений, проводимых в процессе эксплуатации или на испытательных стендах под нагрузкой. Технологическое оборудование,