

Перспективы развития систем промышленной автоматизации в контексте индустрии 4.0

Е.Г. Ротанов, А.В. Шаховской, И.В. Соколов

Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)

Аннотация: В работе приведены перспективы развития систем автоматизации производственных процессов в период четвертой промышленной революции согласно концепции промышленности 4.0. В концепции Индустрии 4.0 предусмотрена цифровая трансформация производства с использованием современных технологий автоматизированного производства и информационных технологий. Такая трансформация ускоряет темпы производственной и управленческой интеграции производства и уменьшает затраты на обслуживание систем управления и оборудования. Автоматизированное производственное оборудование современных предприятий должно управляться с помощью информационно-коммуникационных технологий. Базовая технология, которая обеспечивает обмен информацией между устройствами и способствует принятию решений в сети является интернетом вещей. Искусственный интеллект, киберфизические системы, ориентация на сервисы, системы скоростной связи и удаленного доступа – это технологии, позволяющие организовать гармоничное интеллектуальное производство. Благодаря этому производство будет иметь максимальный уровень автоматизации процессов и полный их контроль, обратная связь между производственными звеньями и свойствами продукции, уменьшение затрат на единицу продукции и повышение его качества. Проанализированы современные системы автоматизации и указано, что для создания гибких интеллектуальных производственных сред необходимо применять эффективные модели компонентно-базовых систем промышленной автоматизации с высокой надежностью. Представлены пути повышения эффективности компонентно-базовых систем на базе современных технологий: искусственного интеллекта, машинного обучения, быстродействующих беспроводных сетей, систем прогнозирования, мониторинга и обработки данных в режиме реального времени. Создание эффективных компонентно-базовых систем промышленной автоматизации снизит время и затраты на единицу продукции, повысит ее качество и надежность производственных систем.

Ключевые слова: автоматизация, индустрия 4.0, эффективность, цифровизация, компонентно базовые системы,

Введение. Современный мир очень быстро развивается, и, в первую очередь, это касается промышленного производства. Основным условием развития современного производства является его полная автоматизация с широким использованием информационных технологий, работ технических систем, внедрением гибких технологий, позволяющих быстро и эффективно перестраивать технологические процессы на усовершенствование

существующих или изготовление новых изделий. Одним из основных путей повышения эффективности современного производства и качества продукции является автоматизация проектирования технологии производства, сборки и управления производственными процессами с обеспечением высокой надежности оборудования и систем управления.

Анализ последних источников. Мы живем в период четвертой промышленной революции, в которой действует концепция Индустрии 4.0, определяющая новый этап развития промышленного производства, характеризующийся высокой степенью автоматизации, объединением цифровых технологий и глобальных промышленных сетей. Значительное преимущество концепции – это повышение конкурентоспособности предприятий и непрерывное их развитие за счет индивидуальной настройки производства, повышение эффективности использования ресурсов, уменьшение затрат [1] и производств) [2]. Цифровая трансформация предприятий формирует ускорение темпов горизонтально-вертикальной интеграции производства и уменьшение затрат на обслуживание оборудования и систем управления.

Кроме того, переход в Индустрию 4.0 требует модернизации существующих производств с помощью инновационных технологий [3]. Одним из признаков промышленной революции Индустрии 4.0 является наличие сетей обмена информацией между устройствами и, соответственно, принятие решений в сети. Базовой информационной технологией, которая при этом используется, является Интернет вещей (IoT). IoT использует различные технологии, такие, как датчики сигналов, связь по сети, облачные вычисления и анализ данных. Интернет вещей стремительно растет: с начала 2018 г. к нему подключается 127 новых устройств каждую секунду, а 60% объема интернет-трафика генерируют мобильные устройства [2]. По данным

аналитических исследований [4] к 2030 году в интернет будет подключено около 500 млрд устройств.

Вопросам автоматизации процессов промышленного производства посвящено значительное количество научных разработок ведущих ученых мира [5]. Например, количество статей, посвященных автоматизации процессов в технологии машиностроения по наукометрической базе данных Scopus за период с 2017 по 2022 год составляет 8658 [6]. Умное производство ускоряет интеграцию информационных технологий и традиционных производственных отраслей. К примеру, существенно повысить интенсивность производства может массовое внедрение промышленных роботов, сфера применения которых продолжает расширяться, а завершенная работа становится все более сложной. Кроме того, что роботы могут заменить работников на изнурительных и сложных работах, таких, как сборка, шлифовка, сварка и упаковка, они все чаще используются преимущественно в серийном и массовом производстве (автомобильном, металлообработке, пластмассовой промышленности, электронной, электрической и химической промышленности) [7]. Однако, для того чтобы современное производство стало более гибким, эффективным, безопасным, надежным и конкурентоспособным целесообразно применять эффективные модели компонентно-базовых систем промышленной автоматизации, основанные на использовании отдельных компонентов (датчиков, контролеров, роботов, сетей), которые могут быть самостоятельными, но могут эффективно взаимодействовать между собой с помощью современных сетевых технологий.

Целью работы является: определение основных направлений развития систем промышленной автоматизации в соответствии с концепцией Индустрии 4.0 и путей повышения эффективности компонентно-базовых

систем автоматизации для обеспечения высокой надежности оборудования и качества продукции.

Результаты их обсуждения. До 2011 года действовала Индустрия 3.0, где применялось определенное количество современных прогрессивных технологий в управлении и на производстве. Эти технологии обеспечивали достаточно высокий уровень автоматизации производственных систем, которые были ориентированы на выпуск определенных видов товаров, отличавшихся технологиями изготовления, однако не делали предприятия «умными» [1].

Технологии индустрии 4.0, такие, как искусственный интеллект, киберфизические системы, виртуализация, децентрализация, ориентация на сервисы и модульность позволяют организовать гармоничное производство с максимальным уровнем автоматизации процессов и полным их контролем с любого мобильного устройства, обеспечить обратную связь между конкретными производственными звеньями и свойствами продукции, минимизировать затраты на единицу продукции и постоянно повышать ее качество.

Цифровизация является основополагающей для построения разумных (SMART) производств, где автоматизированное оборудование управляется с помощью информационно-коммуникационных технологий. Это способствует минимизации труда человека, так как практически все действия выполняются автономно под контролем киберфизических систем [3]. В этой связи можно выделить основные перспективы развития систем автоматизации согласно Концепции Индустрии 4.0:

1. Повышенная эффективность промышленного производства: использование разумных технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение и аналитика данных, позволяет оптимизировать

процессы производства и снизить время и затраты на выпуск единицы продукции.

2. Увеличение количества роботизированных процессов: применение роботов и автономных производственных систем для выполнения рутинных и опасных задач повысит интенсивность производства, улучшит безопасность и уровень качества продукции.

3. Расширение концепции «умных предприятий»: сочетание различных систем, инновационных технологий автоматизации и производственных процессов в одну гибкую экосистему сделает производство более интеллектуальным.

4. Цифровые двойники производства: создание цифровых моделей производства – цифровых двойников, позволяет производителям в режиме реального времени наблюдать за процессами, прогнозировать их развитие и предусматривать возможные риски.

5. Развитие «индустрии на заказ»: благодаря повышению эффективности автоматизации в сочетании с цифровыми технологиями, производство может быть более гибким и адаптированным под индивидуальные потребности клиентов и заказчиков.

6. Повышение уровня кибербезопасности: с ростом уровня автоматизации увеличивается риск киберугроз, требующий развивать и внедрять эффективные стратегии кибербезопасности для защиты систем и данных.

В контексте Индустрии 4.0 используются современные системы и средства автоматизации (таблица 1), способствующие повышению эффективности, безопасности и надежности промышленного производства, а также улучшению его управления.

Таблица № 1

Современные системы автоматизации, применяемые в Индустрии 4.0

Название системы или средства автоматизации	Преимущества в применении
Системы надзора и сбора данных (SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition)	<ul style="list-style-type: none">- визуализация всех аспектов технологических процессов;- мониторинг и контроль параметров процессов в режиме реального времени;- автоматический сбор и анализ данных с датчиков и устройств;- интегрированная с другими системами автоматизации для автоматического управления оборудованием и процессами;- удаленный доступ, мониторинг и управление;- повышение надежности и уменьшение затрат.
Распределенные системы управления (DCS - Distributed Control System)	<ul style="list-style-type: none">- распределенная архитектура;- высокий уровень обработки данных и быстрое принятие решений;- гибкость и расширяемость для эффективной адаптации к изменениям в производственных процессах;- высокая надежность, доступность и безопасность;- интеграция с другими системами (SCADA, MES, ERP);- централизованное управление производственным процессом.
Программируемые логические контроллеры (PLC - Programmable Logic Controller)	<ul style="list-style-type: none">- позволяют программировать логику управления оборудованием, контролировать датчики и выполнять разнообразные функции для обеспечения оптимальной эффективности производства.
Системы управления производством (MES – Manufacturing Execution System)	<ul style="list-style-type: none">- отслеживание и контроль производственных процессов в режиме реального времени;
Системы планирования ресурсов предприятия (ERP – Enterprise Resource Planning)	<ul style="list-style-type: none">- интеграция различных аспектов деятельности предприятия, включая финансы, управление запасами материалов и энергоресурсов, и заказами для более точного планирования и прогнозирования развития производства.
Роботизированные и автоматизированные производственные системы (Robotics and Automated Manufacturing Systems)	<ul style="list-style-type: none">- повышение производительности производства и качества продукции;- уменьшение затрат труда;- снижение времени на выполнение цикла производства;- гибкость и легкость перенастройки;- способность работать в опасных для людей условиях.

Современные компании, осуществляющие деятельность в области промышленного производства, начинают интенсивно внедрять промышленный интернет вещей (IIoT - Industrial IoT). Он открывает дорогу к созданию полностью автоматизированных производств. На ключевые компоненты оборудования устанавливаются всевозможные датчики,

исполнительные механизмы и контроллеры; собранные данные обрабатываются и направляются в соответствующие службы предприятия, что позволяет персоналу оперативно принимать необходимые решения. Но главная задача ПоТ состоит в достижении такого уровня автоматизации предприятия, при котором на всех участках, где это возможно, механизмы будут работать без участия людей. Роль персонала при этом сводится к контролю работы механизмов и реагированию только на экстренные события. Позволяет создавать производства, которые будут более бережливыми, гибкими и эффективными чем существующие. Беспроводные устройства, такие как смартфоны и планшеты уже активно используются на производстве для мониторинга его процессов. Имеющиеся проводные сети в ближайшее время будут дополнены беспроводными сетями, благодаря чему на предприятиях расширятся зоны применения систем мониторинга и управления [8]. Для улучшения качества связи между различными устройствами и системами производства перспективно применение технологий 5G, имеющих высокую пропускную способность и низкое время задержки сигналов.

С целью быстрого и детального анализа данных о состоянии оборудования, характеристиках, качестве и количестве продукции, прогнозировании производственных проблем и оптимизации процессов промышленного производства в последнее время начали интенсивно использоваться технологии искусственного интеллекта (AI - Artificial Intelligence). Возможности быстрой обработки данных без использования языков программирования и сложных математических моделей позволяют упростить и повысить эффективность решения задач промышленной автоматизации, а также создать полностью автономные промышленные системы автоматического управления. Технологии искусственного интеллекта позволяют без применения математических методов достичь

одновременной максимальной работоспособности, надежности и живучести систем управления технологическими процессами [9].

Автоматизация современного промышленного производства невозможна без применения компонентно -базовых систем (КБС), создающих интегрированные и эффективные производственные среды. В состав КБС входят следующие основные компоненты: датчики сигналов, актуаторы и приводы, контроллеры и программируемые логические матрицы, компьютеры, серверы и сетевое оборудование, содержащие базы данных и программное обеспечение управления производственными процессами, а также позволяющие организовывать человеко-машинные интерфейсы, работать с искусственным интеллектом и осуществлять удаленное управление и мониторинг.

К преимуществам КБС относятся:

- возможность использования разнообразных сетевых технологий и технологий обработки данных для оптимального достижения целей промышленного производства;

- гибкость и масштабируемость, позволяющая легко изменять и расширять функциональность системы путем добавления или замены компонентов;

- быстрая интеграция в производственную систему благодаря тому, что компоненты могут быть разработаны и испытаны отдельно, что может значительно снизить время внедрения новых технологий или изменений в системе;

- открытость и стандартизация, которая за счет применения открытых стандартов и протоколов позволяет использовать различные компоненты от различных производителей, что повышает конкуренцию и расширяет выбор технологий;

- легкость проведения ремонта и обслуживания;

- оптимизация собственной стоимости в течение ее жизненного цикла системы за счет гибкости, стандартизации и быстрой интеграции;

- поддержка инноваций, поскольку системы, построенные на основе компонентно базового подхода, могут легко интегрировать новые технологии и инновации, что способствует постоянному совершенствованию и апгрейдам.

Наряду с этим нужно помнить о надежности КБС, поскольку от этого напрямую зависит количество производственных простоев, время на выработку единицы продукции и ее качество. В работах [10, 11] рассмотрены вопросы оценки состояния и повышения надежности КБС разнообразного назначения и указана целесообразность применения комплексного подхода с использованием различных теоретических моделей для определения показателей надежности, оптимально подходящих к исследуемой КБС и правильного их расчета.

С учетом приведенного пути повышения эффективности моделей КБС промышленной автоматизации могут быть:

- применение систем прогнозирования и мониторинга, позволяющих выявлять проблемы или потенциальные отказы в компонентах КБС к их фактической поломке;

- применение алгоритмов искусственного интеллекта для проектирования КБС или их оптимизации;

- анализ и оптимизация рабочих процессов в системе для обеспечения максимальной производительности и минимизации времени простоя оборудования;

- применение алгоритмов машинного обучения и анализа данных для осуществления предполагаемого управления оборудованием и процессами, оптимизации ресурсов и принятия решений;

- использование технологий, обеспечивающих обработку данных в режиме реального времени для повышения точности и скорости решения задач;

- углубление использования стандартов и открытых протоколов для обеспечения совместимости и интеграции компонентов различных производителей;

- переход на сенсоры и связь IoT для сбора большого объема данных для обнаружения аномалии и оптимизации производственных процессов;

- создание эффективных мер безопасности для защиты системы от кибератак;

- внедрение энергоэффективных технологий для уменьшения затрат электроэнергии и оптимизации работы КБС;

Указанные пути повышения эффективности КБС промышленной автоматизации обеспечат высокую надежность оборудования и качество продукции во всех звеньях современного производства.

Выводы. Проведенный анализ требований Индустрии 4.0 по промышленному производству показал, что оно должно стать полностью автоматизированным, гибким, интеллектуальным и использовать труд человека только для мониторинга и реагирования на внештатные ситуации. Для этого нужна цифровая трансформация предприятий до уровня «умных» и внедрения инновационных технологий во все звенья производства и контроля.

Автоматизированное оборудование таких предприятий должно руководствоваться с помощью информационно-коммуникационных технологий, базовыми из которых являются интернет вещей и промышленный интернет вещей. Кроме того, предусмотрено широкое применение технологий искусственного интеллекта.

Рассмотрены современные системы автоматизации промышленного производства и указано, что для их развития и создания интегрированных интеллектуальных гибких производственных сред целесообразно применять современные модели компонентно - базовых систем с высоким уровнем надежности. Представлены пути повышения эффективности компонентно - базовых систем на базе современных технологий искусственного интеллекта, машинного обучения, быстродействующих беспроводных сетей, систем прогнозирования, мониторинга и обработки данных в режиме реального времени. Создание эффективных компонентно - базовых систем промышленной автоматизации повысит надежность оборудования и качество продукции, снизит время и затраты на ее изготовление.

Литература

1. Белова, Л.Г., Вихорева О.М., Карловская С.Б. Индустрия 4.0: возможности и вызовы для мировой экономики // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2018. № 3. С. 167-183.
2. Юлдашев И.Ф., Воронина Н.Н., Маркова С.В. Инновационные подходы в развитии производственных систем: вызовы и возможности в индустрии 4.0 // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. №3-4 (90). С. 235-239.
3. Dalenogare L. S., Benitez G.B., Ayala N. F., Frank A. G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance // International Journal of production economics. 2018. V. 204. pp. 3s3-394.
4. Сакал П., Халажова М. Проект концепции применения устойчивых системных последствий четвертой промышленной революции на промышленных предприятиях Словацкой Республики // Вопросы территориального развития. 2020. Т. 8. № 1. С. 3.



5. Челенко А.В., Ковалева О.А., Соцкова Е.А. Оценка потенциала отрасли машиностроения в рамках индустрии 4.0 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. №4. С. 79-83.

6. Кутырев В.В., Дырдонова А.Н. Применение инструментов «Индустрии 4.0» и разработка мероприятий повышения экономической эффективности промышленного предприятия // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. №11-1 (93). С. 229-233.

7. Фонтана К.А., Ерзнкян Б.А. «Умная фабрика» и ключевые технологии Индустрии 4.0 (обзор) // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2022. №4. С. 53-67.

8. Барсегян Н.В., Зарипова Р.Р. Методические подходы к исследованию эффективности внедрения концепции Индустрии 4.0 // Известия Самарского научного центра РАН. 2021. №6. С. 47-51.

9. Шваб К. Четвертая промышленная революция / пер. с англ. М.: Издательство «Э», 2017. С. 16.

10. Yadav G., Kumar A., Luthra S., Garza-Reyes J. A., Kumar V., Batista L. A framework to achieve sustainability in manufacturing organisations of developing economies using industry 4.0 technologies' enablers // Computers in Industry. 2020. V. 122. P. 103280.

References

1. Belova, L.G., Vihoreva O.M., Karlovskaya S.B. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika. 2018. № 3. Pp. 167-183.

2. Yuldashev I.F., Voronina N.N., Markova S.V. Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2024. №3-4 (90). Pp. 235-239.

3. Dalenogare L. S., Benitez G.B., Ayala N. F., Frank A. G. International Journal of production economics. 2018. V. 204. pp. 353-394.

4. Sakal P., Halazhova M. Voprosy territorial'nogo razvitiya. 2020. T. 8. № 1. P. 3.



5. Chelenko A.V., Kovaleva O.A., Sockova E.A. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2024. №4. Pp. 79-83.
6. Kutyrev V.V., Dyrdonova A.N. Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2022. №11-1 (93). Pp. 229-233.
7. Fontana K.A., Erznkyan B.A. Vestnik VGU. Seriya: Ekonomika i upravlenie. 2022. №4. Pp. 53-67.
8. Barsegyan N.V., Zaripova R.R. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2021. №6. Pp. 47-51.
9. Shvab K. CHetvertaya promyshlennaya revolyuciya [The Fourth Industrial Revolution]. M.: Izdatel'stvo «E», 2017. P. 16.
10. Yadav G., Kumar A., Luthra S., Garza-Reyes J. A., Kumar V., Batista L. Computers in Industry. 2020. V. 122. P. 103280.

Дата поступления: 5.02.2025

Дата публикации: 15.03.2025