



## **Актуальность внедрения концепции «индустрия 4.0» в современное машиностроительное производство**

*Раскрыто содержание концепции «индустрия 4.0». Выполнен обзор современных программных и программно-аппаратных средств повышения эффективности управления машиностроительным производством. Охарактеризованы целевые направления и критерии оценки эффективности внедрения киберфизических систем для реализации концепции «индустрия 4.0» в машиностроительном производстве.*

**Ключевые слова:** «индустрия 4.0»; киберфизические системы; машиностроение; производственный процесс; эффективность производства.

**A.R. Ingemansson**, Can.Eng.  
(“CDB “Titan” Co., Lenin Avenue, Volgograd, 400071Russia)

## **Urgency of “industry 4.0” concept introduction in modern mechanical engineering**

*The contents of the “Industry 4.0” concept are revealed. The basic principles of “Industry 4.0” concepts, “Internet things” and the contents of the so-called the “Fourth industrial revolution” are described. The promising trend in mechanical engineering due to the creation and integration of cyber-physical systems including technological, control, transport and other equipment is characterized. The review of current software and hardware tools for efficiency increase in mechanical engineering management of – MES-, APS-, SCADA-, MDC- systems. The purposeful trends and criteria of efficiency estimate in the introduction of cyber-physical systems for the realization of the “Industry 4.0” concept in mechanical engineering are characterized.*

**Keywords:** “Industry 4.0”; cyber-physical systems; mechanical engineering; production process; production efficiency.

Уровень развития информационных технологий, достигнутый на сегодняшний день, способствует формированию новых возможностей в области обмена информацией и принятия решений на ее основе. Традиционно основной объем информации, производившейся датчиками, сенсорами и другими чувствительными и регистрирующими элементами технических систем, предназначался для человека, анализирующего полученную информацию и принимающего решение. На сегодняшний день открываются новые возможности обмена информацией между техническими системами и принятия решений технической системой, в т. ч. без участия человека. Данный аспект формирует содержание, т. наз., «четвертой промышленной революции» или

«интернета вещей» или «индустрии 4.0».

Исторически принято выделять три промышленных революции. Первая – связана с изобретением парового двигателя и соответствующим повышением эффективности техники и технологий в конце 18 века. Вторая промышленная революция связана с появлением конвейерного производства в начале 20 века. Третья – с внедрением промышленной электроники в производство в 70-х гг. 20 века. Настоящее время связано с формированием четвертой промышленной революции.

Рассмотрим основной принцип четвертой промышленной революции. На сегодняшний день уровень развития техники позволяет оснащать технические системы различными чувствительными элементами, способными

формировать массив данных о состоянии технической системы и внешнем воздействии на нее. Технические системы посредством каналов связи способны самостоятельно обмениваться данными и принимать решения по запрограммированному алгоритму. При этом объем данных, которые необходимо анализировать человеку для принятия окончательных решений, существенно уменьшается.

Приведем некоторые примеры указанного взаимодействия технических систем без участия человека. Так, один из ведущих мировых специалистов в области искусственного интеллекта – профессор В. Вальстер (Германия), приводит пример реализации данной концепции в логистике [1]. Продукт с заданной температурой хранения может во время транспортировки в холодильной камере контролировать температуру в камере с помощью киберфизических систем, установленных в упаковке. При превышении заданной температуры хранения упаковка генерирует сигнал и посылает его в систему грузового автомобиля-рефрижератора. Получив сигнал, система реагирует и понижает температуру в камере. Таким образом, непосредственное участие человека исключается. Описанная технология уже применяется при транспортировке пакетов с плазмой крови.

Необходимо указать отличие понятий «интернет вещей» и «индустрия 4.0».

Концепция и понятие «интернет вещей» («internet of things», «IoT») были сформулированы основателем исследовательской группы Auto-ID при Массачусетском технологическом институте Кевином Эштоном в 1999 г. Данный термин относится к реализации обмена информацией и принятия решений между техническими системами во всех сферах деятельности человека (промышленность, транспорт, среда существования, коммуникации и др.). Составной частью данной концепции являются технологии, обеспечивающие коммуникацию между устройствами – «межмашинное взаимодействие» («machine-to-machine», «M2M»).

Термин «индустрия 4.0» («industrie 4.0») был сформулирован в Германии в 2011 г. инициативной группой, объединившей крупных промышленников, экономистов и экспертов в области технологий и искусственного интеллекта. Концепция была определена как средство повышения эффективности обрабатывающей промышленности через интеграцию киберфизических систем [9] («cyber physical systems», «CPS») в заводские и фабричные процессы. Таким образом, термин «индустрия 4.0» концентрируется в сфере промышленного производства, в то время как «интернет вещей» является всеобъемлющим понятием.

Реализация концепции «индустрия 4.0» в промышленности означает внедрение киберфизических систем, в которых технологическое оборудование и оснащение, материалы и продукты, являются активными системными компонентами, самостоятельно управляющими своими технологическими и логистическими процессами. Киберфизические системы отличаются от традиционных мехатронных возможностью взаимодействия с окружающей средой, адаптации, самокорректировки и самооптимизации. Формирование массива информации осуществляется чувствительными датчиками (перемещений, давления, температуры, крутящего момента и др.). Передача информации между техническими системами может осуществляться [3] проводным (Ethernet) и беспроводным способом (WLAN). На основе полученной информации компоненты киберфизической системы выполняют определенные действия по запрограммированному алгоритму. Технологическое, контрольное, транспортное и другое оборудование находится в постоянном взаимодействии (обмен информацией) для поддержания непрерывного процесса изготовления продукции заданного количества и качества. Таким образом, внедрение концепции «индустрия 4.0» в промышленности обеспечивает резервы значительного повышения гибкости, надежности, экологичности и экономичности производственных процессов.

Необходимо рассмотреть текущее состояние вопроса реализации концепции «индустрия 4.0» в машиностроении.

На сегодняшний день накоплен опыт в области создания программных средств повышения эффективности планирования и диспетчеризации производственных процессов. Укрупненное планирование работ и формирование производственных расписаний [5] выполняется в системах класса расширенного планирования и формирования расписаний – APS (Advanced Planning & Scheduling Systems). Диспетчеризация и оперативно-календарное планирование с детализацией для конкретного подразделения предприятия (цеха, производственного участка) выполняется в системах класса MES (Manufacturing Execution Systems) – исполнительных системах производства.

Данные системы позволяют оперативно перестраивать графики для конкретного производственного подразделения предприятия в связи с изменением обстоятельств, например, поломка оборудования. Системы также имеют функции управления документами, сбора и хранения данных, управления персоналом и управления качеством продукции [4, 7].

Отечественные разработки представлены

системами «Фобос», «СПРУТ-ОКП», «YSB.Enterprise.Mes», «PolyPlan», «1C:MES», «Галактика» и др. Зарубежные разработки представлены системами «Preactor» (Англия), «Diames» (Швейцария), «JobDISPO MES», «SAP ME» (Германия) и др. MES-системы взаимодействуют со SCADA-системами (Supervisory Control And Data Acquisition) – программно-аппаратными комплексами сбора данных и диспетчерского контроля.

Данные системы предназначены для мониторинга и диспетчерского контроля удаленных объектов, сбора и архивирования сопутствующей информации. В системах SCADA обязательно наличие человека (оператора, диспетчера).

В качестве примера применения MES в области металлообработки можно рассматривать систему «Celos», выполняющую описанные выше функции для комплекса обрабатывающих центров. Система «Celos» реализована станкостроительной компанией «DMG Mori» (Германия – Япония).

Таким образом, MES-системы являются эффективными инструментами диспетчеризации работ, управления персоналом и качеством продукции и др. Применение MES-систем является неотъемлемой частью процесса эффективного управления машиностроительным производством. При этом указанные системы зависимы от объема, качества и оперативности обеспечения требуемой информацией от подразделений предприятия (цехов, производственных участков).

Для анализа производственной ситуации и принятия решений необходима оперативная и достоверная информация, например, о причинах простоя конкретной единицы технологического оборудования. Значение имеет также способ предоставления исходной информации MES-системе – объем выполняемого предприятием заказа, состав изделия, данные о персонале и оборудовании, технологическом маршруте изготовления и др. Таким образом, вопрос реализации концепции «индустрия 4.0» в машиностроении остается проблемой, требующей решений, основанных на межмашинном взаимодействии.

Направлением повышения эффективности использования металлорежущего оборудования с ЧПУ на сегодняшний день также является применение программно-аппаратных систем мониторинга работы станков – MDC (Machine Data Collection). Среди данных систем можно отметить «Foreman MDC» (Россия), «MDC-Max» (Дания) и др.

Программно-аппаратные системы нацелены на обеспечение контроля за парком станков с ЧПУ в режиме реального времени; формирование различных графиков и отчетов о

загруженности оборудования и эффективности работы персонала; выявление причин простоя оборудования и ускорение работы цеховых служб путем автоматического оповещения об аварийных ситуациях, отсутствии на станках заготовок или управляющих программ, о необходимости технического обслуживания и др.

Аппаратная часть комплексов в виде приставки монтируется на стойке ЧПУ и связывается с реле старта цикла обработки. При запуске оператором процесса обработки сигнал отправляется в центральную базу данных на сервере. В случае простоя оборудования оператор, в системе «Foreman MDC» [2] должен нажать одну из клавиш («наладка», «техническое обслуживание», «контроль детали», «нет программы», «нет заготовок», «нет задания»), или, в системе «MDC-Max» [6] – отсканировать штрих-код типовой причины. Набор типовых причин может настраиваться для конкретного предприятия. В случае если при неработающем оборудовании оператор не отправил сообщение о причине простоя, то простой воспринимается системой как необоснованный.

MDC-системы являются эффективным инструментом мониторинга производственного процесса и повышения эффективности работы металлорежущего оборудования с ЧПУ. Однако данные системы не реализуют базового принципа концепции «индустрия 4.0» – обмена данных между техническими системами (станками, транспортно-загрузочными устройствами и др.) и принятия ими решений без участия человека.

Набор отчетов и графиков, формируемых MDC-системой, предназначается для анализа руководителем производства, технологом, механиком и др. Следует отметить необходимость своевременного и грамотного извещения оператором о причине простоя оборудования в данных программно-аппаратных комплексах, что влияет на достоверность получаемых отчетов.

Таким образом, реализация концепции «индустрия 4.0» является проблемой, актуальной для современного машиностроения. Она содержит в себе резервы значительного повышения эффективности производственных процессов. Концепция должна быть реализована путем создания киберфизических систем, в которых технологическое, контрольное, транспортное и другое оборудование являются активными участниками обмена информацией между собой, и принятия решений, в т. ч. без участия человека.

В качестве ключевого показателя эффективности (КПЭ) применения данных систем может выступать, используемый в мировой

науке и практике, коэффициент общей эффективности оборудования ОЕЕ (Overall Equipment Effectiveness). Он определяется тремя вычисляемыми параметрами для технологического оборудования: доступностью, эффективностью работы и уровнем качества.

Указанные параметры, в свою очередь, зависят от шести видов потерь, связанных с работой станочного парка. Данные потери следующие: поломки оборудования; наладка и установка инструмента; работа на холостом ходу и небольшие остановы; работа на пониженных режимах резания; нарушения в технологическом процессе изготовления; сокращенные объемы выработки [4, 5].

В связи с этим решения, направленные на реализацию концепции «индустрия 4.0», должны быть ориентированы на оперативное взаимодействие технологического оборудования, например обрабатывающего центра, с окружающей производственной средой для минимизации времени простоев на наладку и ремонт, работы на заниженных режимах резания и количества брака обработанных деталей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вальстер, В. Индустрия 4.0 / В. Вальстер // Тенденции в автоматизации. Корпоративный журнал «Festo». – 2013. – № 1. С. 8–11.
2. Ловыгин, А. Foreman MDC – система нового поколения для мониторинга станков с ЧПУ / А. Ловыгин // CAD/CAM/CAE Observer. – 2007. – № 6. – С. 71–73.
3. Лопухов, И. Коммуникационные технологии умного предприятия в рамках концепции Индустрия 4.0 и Интернета вещей / И. Лопухов // Современные технологии автоматизации. – 2015. – № 2. – С. 36–44.
4. Медведева, Г.М. Как не допустить ошибок при выборе системы управления машиностроительным производством / Г.М. Медведева, А.Б. Мусеридзе, Е.Б. Фролов // Станочный парк. – 2012. – № 8. – С. 29–35.
5. Митин, С.Г. Автоматизация оценки производственной технологичности изделий в условиях многономенклатурных производственных систем / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв, Л.Г. Бокова // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014, № 9 (39). – С. 44–48.
6. Смирнов, А. MDC-MAX 5 – система мониторинга станков / А. Смирнов // CAD/CAM/CAE Observer. – 2007. –

№ 5. – С. 76–78.

7. Соломенцев, Ю.М. Планирование в современных системах управления производством / Ю.М. Соломенцев, Р.Р. Загидуллин, Е. Б. Фролов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2010. – № 4. – С. 77–87.

8. Эдвардссон, Я. Производство будущего – захватить инициативу / Я. Эдвардссон // Metalworking world. – 2015. – № 2. – С. 28–30.

9. Gill, H. CPS : A View from the HCSS Agencies / Talk or presentation, 21, April, 2008; St. Louis, MO. – режим доступа: [https://chess.eecs.berkeley.edu/pubs/418/Gill\\_08\\_CPS\\_CHES\\_S\\_ViewFromHCSSAgencies.ppt](https://chess.eecs.berkeley.edu/pubs/418/Gill_08_CPS_CHES_S_ViewFromHCSSAgencies.ppt).

## REFERENCES

1. Valster, V. Industry 4.0 / V. Вальстер // *Trends in Automation. Corporate Journal "Festo"*. – 2013. – № 1. pp. 8–11.
2. Lovygin, A. Foreman MDC – System of new generation for NC machine monitoring / А. Ловыгин // *CAD/CAM/CAE Observer*. – 2007. – № 6. – pp. 71–73.
3. Lopukhov, I. Municipal techniques of intelligent enterprise within the limits of concept Industry 4.0 and Internet of things / I. Lopukhov // *Modern Automation Techniques*. – 2015. – № 2. – pp. 36–44.
4. Medvedeva, G.M. How to avoid errors at choosing systems of mechanical engineering management / G.M. Medvedeva, A.B. Museridze, E.B. Frolov // *Machinery*. – 2012. – № 8. – pp. 29–35.
5. Mitin, S.G. Automation of parts production manufacturability assessment under conditions multiproduct production systems / S.G. Mitin, P.Yu. Bochkaryov, L.G. Bokova // *Science Intensive Techniques in Mechanical Engineering*. – 2014, № 9 (39). – pp. 44–48.
6. Smirnov, A. MDC-MAX 5 – System of machine monitoring / A. Smirnov // *CAD/CAM/CAE Observer*. – 2007. – № 5. – pp. 76–78.
7. Solomentsev, Yu.M. Planning in modern systems of production management / Yu.M. Solomentsev, R.R. Zagidullin, E. B. Frolov // *Information Technologies and Computer Systems*. – 2010. – № 4. – pp. 77–87.
8. Edwardsson, Ya. Future production – to capture initiative / Ya. Edwardsson // *Metalworking world*. – 2015. – № 2. – С. 28–30.
9. Gill, H. CPS : A View from the HCSS Agencies / Talk or presentation, 21, April, 2008; St. Louis, MO. – access mode : [https://chess.eecs.berkeley.edu/pubs/418/Gill\\_08\\_CPS\\_CHES\\_S\\_ViewFromHCSSAgencies.ppt](https://chess.eecs.berkeley.edu/pubs/418/Gill_08_CPS_CHES_S_ViewFromHCSSAgencies.ppt).

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарёв

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

"Брянский государственный технический университет"

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

<http://www.ntmash.tu-bryansk.ru>

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: [naukatm@yandex.ru](mailto:naukatm@yandex.ru)

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 05.05.2016. Подписано в печать 26.06.2016.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

"Брянский государственный технический университет"

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7