

УДК 004; 377; 65.011

*А. П. Подлевских*

ГБОУ ВО Московской области Университет «Дубна», Дубна,  
e-mail: APodlevskikh7@yandex.ru

*А. Л. Фролов*

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва;  
Институт гостиничного бизнеса и туризма РУДН, Москва,  
e-mail: alexandrf88@mail.ru

## АРХИТЕКТУРА ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, архитектура предприятия, архитектура производства, архитектура цифрового производства свойства цифрового производства, гибкие производственные модули, технологические процессы, моделирование.

В статье рассматриваются и обосновываются решения по архитектуре производства в рамках концепции «Индустрия 4.0». Представлено общее видение развития концепции, дано определение архитектуре цифрового производства. Анализ имеющихся публикаций позволил определить и дополнить свойства архитектуры цифрового производства, что позволяет представить общую картину с учетом основных признаков и свойств цифрового производства. В качестве примера рассмотрена архитектура предприятия с общими функциональными областями, которые сгруппированы в области центров по специализациям. Дополнение классического подхода к построению архитектуры предприятия и производства с учетом перспективных наработок в области цифрового производства позволяет расширить функционал и обеспечить перспективу для дальнейшего исследования и изучения. Несмотря на трудности реализации подобных проектов сегодня, авторы предлагают учитывать современный уровень производства и использовать его для научно-технических наработок и подготовки высококвалифицированных кадров. Предполагается, что в обозримом будущем в связи с нехваткой специалистов и высокоэффективных мощностей: производство, управленческий аппарат, потребители и научные центры – будут укрупняться и концентрироваться с целью оптимизации затрат и повышения качества продукции. По мнению авторов наиболее эффективным инструментом при изучении и реализации цифрового производства является моделирование технологических и управленческих решений с учетом максимальной загрузки автоматизированного гибкого и модульного производства. Внедрение элементов на начальном этапе перехода к цифровому производству подразумевает разработку перспективных образцов на несколько поколений вперед, что позволяет обеспечить конкурентное преимущество на начальном этапе и с последующим удержанием лидирующих позиций на рынке. Экономический эффект от подготовки кадров на перспективу с учетом концепции «Индустрия 4.0» и проработкой вопроса разработки перспективных образцов для первоначального этапа трансформации под цифровое производство может обеспечить повышение эффективности производства на 10–25%.

*А. P. Podlevskikh*

Moscow region University “Dubna”, Dubna, e-mail: APodlevskikh7@yandex.ru

*А. L. Frolov*

MIREA – Russian Technological University, Moscow;  
Institute of hotel business and tourism RUDN, Moscow, e-mail: alexandrf88@mail.ru

## ARCHITECTURE OF DIGITAL PRODUCTION

**Keywords:** Industry 4.0, enterprise architecture, production architecture, digital production architecture, digital production properties, flexible production modules, technological processes, modeling.

The article discusses and justifies decisions on the production architecture within the framework of the “Industry 4.0” concept. The general vision of the development of the concept is presented, the definition of the architecture of digital production is given. The analysis of the available publications allowed us to define and supplement the properties of the digital production architecture, which allows us to present the overall picture, taking into account the main features and properties of digital production. As an example, we consider the architecture of an enterprise with common functional areas, which are grouped into the areas of centers by specialization. The addition of the classical approach to building the architecture of the enterprise and production, taking into account the promising developments in the field of digital production, allows you to expand the functionality and provide a perspective for further research and study. Despite the difficulties of implementing such projects today, the authors propose to take into account the current level

of production and use it for scientific and technical developments and training of highly qualified personnel. It is assumed that in the foreseeable future, due to the lack of specialists and highly efficient capacities: production, management, consumers and research centers – will be enlarged and concentrated in order to optimize costs and improve product quality. According to the authors, the most effective tool in the study and implementation of digital production is the modeling of technological and management solutions, taking into account the maximum load of automated flexible and modular production. The introduction of elements at the initial stage of the transition to digital production implies the development of promising samples for several generations to come, which allows us to provide a competitive advantage at the initial stage and then maintain a leading position in the market. The economic effect of training personnel for the future, taking into account the concept of “Industry 4.0” and working out the issue of developing promising models for the initial stage of transformation for digital production, can provide an increase in production efficiency by 10-25%.

### Введение

Современные рыночные условия диктуют свои требования к промышленности и производству. Рынок труда требует новых высококвалифицированных специалистов, которые могут использовать в своей трудовой деятельности современные инструменты ИТ-технологий. Таким образом, рынок и производство участвуют в оптимизации структуры и состава взаимоотношений в направлении развития промышленности, системы образования, и в подготовке кадров. Информационный рынок выступает в качестве платформы выстраивания рыночных отношений. Общее информационное пространство обеспечивает прозрачность сделок и позволяет сформировать стратегию развития различных направлений в промышленности. Для того чтобы продукция, поставляемая на рынок, имела статус «конкурентоспособная» каждое предприятие стремится обеспечить свое преимущество за счет внедрения современных информационных и цифровых технологий, которые способны оперативно перенастроить производство под требования новых отечественных и международных стандартов (ГОСТ, ISO, ИЕК и др.) [1].

Для обладания конкурентными преимуществами необходимо иметь задел перспективных разработок на несколько поколений вперед относительно действующих стандартов. Чаще всего речь идет о повышении качества продукции и снижении затрат на производство. Такой подход разработок на перспективу обеспечивает, за счет проектных решений, снижение затрат и повышение эффективности уже имеющегося производства на 5-10%. Эффект повышения качества продукции и снижения затрат на производство за счет включения в технологию элементов перспективных разработок позволяет естественным путем реализовать цифровую трансформа-

цию в экономике и промышленности. Для плановой реализации перехода к цифровой трансформации рассмотрим два основных показателя: высококвалифицированный персонал и цифровое производство. Основная концепция «Индустрия 4.0» заключается в объединении предприятий в сетевую структуру и организация работ по единым стандартам с учетом принятой эталонной архитектурой предприятия. Необходимо отметить, что предполагаемая трансформация к цифровому производству позволит расширить номенклатуру и повысить загрузку предприятия. Предполагается, что цифровое производство за счет автоматизации и гибких модульных производств позволит выпускать продукцию характерную как для единичного, так и для массового производства. Такой показатель универсальности производства возможен только при наличии мощных вычислительных центров и высоких скоростях: выполнения технологических операций, и переналадке производства. Для разработки и внедрения цифровых технологий предлагается рассмотреть производство и систему подготовки кадров, как два основных элемента взаимосвязанной системы [2,3,4].

**Цель исследования:** в рамках научного изыскания и учебного процесса раскрыть содержание и дать определение архитектуре цифрового производства в перспективе развития промышленности «Индустрия 4.0» и внедрения новых стандартов качества. Наглядно рассмотреть и выявить все преимущества и сложности в реализации цифрового производства, а также наметить оптимальные пути его реализации.

### Материалы и методы исследования

За период более чем три десятилетия понятие «Архитектура предприятия» (АП) менялось и расширялось с учетом развития технологии и в своем определении от-

ражает управленческие и технологические стандарты и комплексы информационных систем, что позволяет представить общую архитектуру совместного использования общих ресурсов для достижения целей и задач предприятия [5,6].

Предмет анализа архитектура цифрового производства в целом, которая по мнению К. Шваб, будет трансформироваться из иерархической структуры к моделям, в большей степени, определяемой сетевым распределением по различным признакам [7]. Кроме того, отмечено, что сетевая структура распределения команд, сотрудников и производства будут концентрироваться около соответствующих центров, при этом поддерживая непрерывный обмен данными между собой [7,8,9].

Архитектура предприятия (АП) обозначает, как некоторый объект управления, обеспечивающий в бизнесе общий взгляд и взаимосвязку частей в единое целое, так и дисциплину, возникшую на основе этого объекта [5]

Цифровое производство предполагает организацию производственного процесса на основе автоматизации всех операций, использования станков с числовым программным управлением и роботизированного оборудования [8].

Цифровой организацией предлагается называть такую организацию, у которой наиболее изменчивым комплементарным активом организации являются активы компьютерного капитала [10].

Учитывая современные знания в области цифрового производства и АП [5,10,11], предлагается архитектуру цифрового производства (архитектура ЦП) представить в качестве некоторых объектов управления, увязывающие в единое целое все управленческие и технологические системы с различной структурой и высокой степенью автоматизации и/или роботизацией.

Свойства и требования к архитектуре цифрового производства [3,8,12] авторами предлагается дополнить и представить таблицей 1.

**Таблица 1**

Свойства и требования к архитектуре цифрового производства

№	Свойство/требование	Описание
1	Моделирование	Возможность разработки подробной виртуальной модели ЦП и систем управления;
2	Проектирование под целевые функции	Возможность проектирования архитектуры ЦП для обеспечения нескольких целей;
3	Единое цифровое пространство	Обеспечение коммуникаций со всеми участниками производства;
4	Стандартизация	Соответствие архитектуры ЦП требованиям принятых стандартов с возможностью трансформации под новые условия;
5	Загрузка и синхронизация мощностей	Максимальная загрузка и синхронизация имеющихся мощностей за счет применения гибких модульных производств, автоматизации и роботизации;
6	Онтологический инжиниринг	Возможность моделировать и реализовывать новые характеристики и свойства архитектуры ЦП;
7	Реализация общих архитектурных принципов в т.ч. и многоуровневость	Построение архитектуры ЦП с применением общих принципов построения всех систем производства;
8	Ориентация на потребителя	Обеспечение качества продукции/услуги с оптимизацией издержек на производство и логистику;
9	Многофункциональность	Возможность работать с широкой номенклатурой общего и специального ПО в зависимости от целей производства;
10	Энергоэффективности	Обеспечение снижения энергозависимости;
11	Экологичность	Обеспечение безотходного производства.
12	Универсальность	Возможность выпуска широкой номенклатуры продукции с учетом различных типов производств

Перспектива с точки зрения функциональных областей

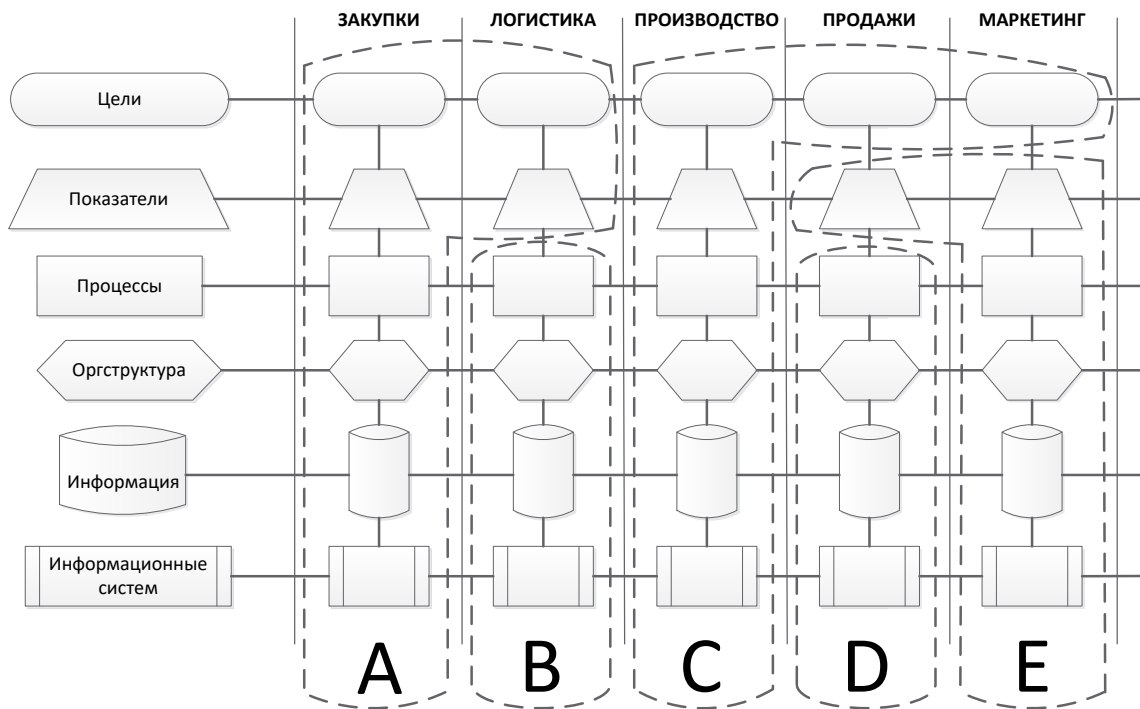


Рис. 1. Функциональные области архитектуры предприятия с центрами развития компетенций (A, B, C, D, E)

Исследования авторов [4,13,14] подтверждают, что экономический эффект от реализации практических решений во многом зависит от использования научных знаний во всех процессах жизненного цикла проекта. Новые знания и изыскания в направлении трансформации экономики и архитектуры ЦП безусловно невозможны без подготовки высококвалифицированных специалистов. Тем не менее изучение архитектуры предприятия или архитектуры ЦП позволяют выявить и устранить разрывы между теоретическими знаниями и практическим опытом пусконаладочных работ на производстве [15].

Известно, что ученые Евросоюза предложили эталонную универсальную архитектуру модели для Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [16]. Однако при детальном рассмотрении выявлена сложность понимания и реализации стандарта в современных условиях. Кроме того, экономические издержки на переход к новым стандартам, могут превышать полученную прибыль, поскольку во многих странах уровень технологий и экономики может значительно отличаться.

По мнению экспертов в области «Индустрия 4.0» [7] Архитектура ЦП будет представлена распределенным сетевым взаимодействием всех участников производства и рынка. Поэтому на перспективу развития цифрового производства предлагается рассмотреть архитектуру предприятия с традиционными функциональными областями [5], которые будут сгруппированы вокруг центров развития компетенций (рисунок 1).

Под центрами развития компетенций будем понимать технологические или управленческие системы и т.п., цель которых является развитие и реализация специфических компетенций в перспективе развития цифрового производства отрасли или направления.

Рассматривая архитектуру ЦП с точки зрения производства можно выявить и перспективные направления развития и совершенствования бизнес-процессов. Поскольку для каждого предприятия, в настоящее время, проблематично подготовить и удержать высококвалифицированные кадры, то центры развития компетенций позволяют

обеспечить требуемый результат трансформации и организации цифрового производства за счет того, что в распределенной сетевой структуре будут взаимоувязаны эксперты и специалисты из различных направлений науки и техники [2,15]. Для формирования подобных центров компетенций необходимо обеспечить условия взаимодействия между учебными, научно-исследовательскими и производственными организациями [2,17]. Подобное взаимодействие обеспечивается за счет единого цифрового пространства и соответствующих регламентов. В качестве примера рассмотрим архитектуру цифрового производства предприятия технического сервиса по ремонту автомобилей (рисунок 2).

Принимая во внимание, что сегодня в мировой практике трансформация к цифровому производству различных промышленных кластеров выстраивается в двух основных направлениях:

1) производственно-технологические объекты с высоким уровнем автоматизации

и роботизации в различных сферах и процессах (немецкий подход);

2) глобальная цифровая экосистема промышленности, основанная на интернет-технологиях, в различных отраслях экономики (американский подход).

Кроме того, для наглядного изучения и ознакомления разрабатываемыми стандартами Консорциум промышленного интернета (The Industrial Internet Consortium, ИС из США) предоставляет доступ различным организациям (здравоохранения, промышленности, транспорта, энергетики и др.) к стендам с базовыми и перспективными наработками технологий под стандартизацию [18]. Предполагаем, что для обеспечения цифрового производства высококвалифицированным персоналом предстоит провести реинжиниринг учебно-методических материалов и баз практик образовательных учреждений, и организацию на их базе центров компетенций, которые будут участвовать в изучении и запуске перспективных разработок с учетом мировых практик [17,18].

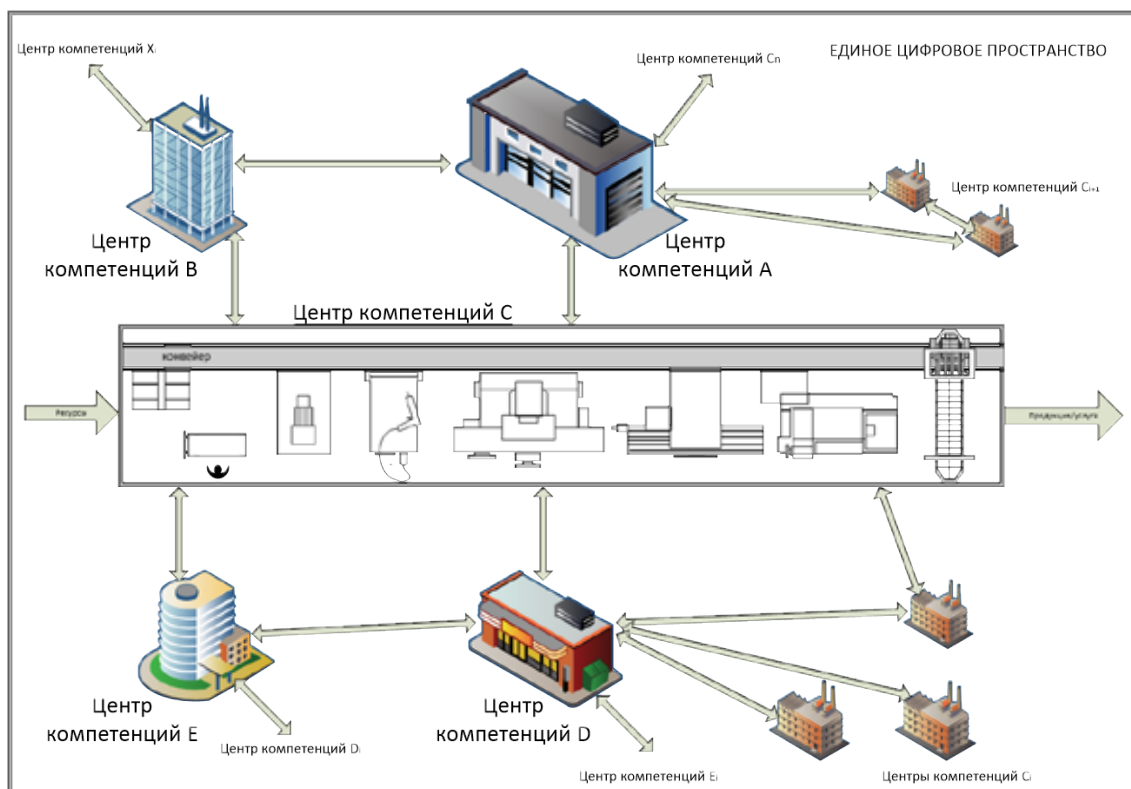


Рис. 2. Схема организации цифрового производства на предприятии технического сервиса с центрами развития компетенций (А – закупка-логистика; В – логистика; С – производство-продажа-маркетинг; D – продажи; E – продажи-маркетинг)

На наш взгляд в каждом центре компетенций необходимы собственные учебные и научно-исследовательские департаменты, основная миссия которых будет заключаться в разработке перспективных технологий и синхронизации знаний между всеми участниками цифрового производства. Понимается, что образовательные департаменты на базе центров компетенций также должны перейти на технологию 4.0. В частности, для выпускников старших курсов ВУЗов необходимо обеспечить дистанционное обучение непосредственно с производства или рабочей площадки, с автоматическим сопровождением учебного процесса для каждого слушателя индивидуально. Кроме того, необходимо обеспечить возможность асинхронного изучения курсов дисциплин, что позволит привлечь академическую аудиторию для решения нетривиальных и практических задач цифрового производства.

### Заключение

Рассматривая архитектуру цифрового производства необходимо отметить, что современные условия требуют детальной и скорейшей проработки архитектуры

цифрового производства. Цифровое производство, как новый стандарт, предъявляет требования и необходимость обеспечить высокотехнологичным оборудованием и высококвалифицированными специалистами. Причем высокая квалификация специалистов требуется для проектирования и наладки производства. Учитывая, что ЦП стремится к снижению ручного труда, безлюдному и экологичному производству, то следует учитывать этот факт при разработке архитектуры ЦП в перспективе. Общие результаты:

1. Рассмотрены общие вопросы и даны определения цифровой архитектуры производства. Представлены перспективы и сложности перехода к новым стандартам;
2. Рассмотрены свойства и требования к архитектуре цифрового производства;
3. Представлена обобщенная схема проекта архитектуры ЦП для рассмотрения переходных процессов (трансформации) к новым стандартам.
4. Определены общее направление развития учебного и научно-исследовательских департаментов в структуре центров компетенций.

### Библиографический список

1. Позднеев Б.М., Сутягин М.В. и др. Новые горизонты стандартизации в эпоху цифрового обучения и производства // Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 4 (35). С. 101-108.
2. Прохончуков С.Р., Подлевских А.П., Методология написания магистерских диссертаций студентами направлений «Информатика и вычислительная техника» // В сборнике: Образовательная среда сегодня и завтра Сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции / под общей редакцией Г.Г. Бубнова, Е.В. Плужника, В.И. Солдаткина. 2014. С. 84-89.
3. Подлевских А.П., Михед А.Д., Жигалов К.Ю. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие. М.: МТИ, 2016. 180 с.
4. Суетин С.Н., Кубаев А.М. Комплекс мер по повышению уровня конкурентоспособности предприятия // Фотинские чтения. 2014. № 2 (2). С. 157-163.
5. Кудрявцев Д.В., Арзуманян М.Ю. Архитектура предприятия: переход от проектирования ИТ-инфраструктуры к трансформации бизнеса // Российский журнал менеджмента 2017. Том 15. № 2. С. 193-224.
6. Данилин А., Слюсаренко А. 2007. Архитектура предприятия. Учебный курс. ИНТУИТ: Национальный открытый университет. URL: <http://www.intuit.ru/department/itmngt/entarc/> (дата обращения: 27.04.2020).
7. Коношенко Н. Под знаменем цифровой революции: настоящее и будущее. // Цифровое производство сегодня и завтра Российской промышленности. 2017. №1. С. 16-24.
8. Туровец О.Г., Родионова В.Н., Каблашова И.В. Обеспечение качества организации производственных процессов в условиях управления цифровым производством // Организатор производства. 2018. Т.26. № 4. С. 65-76.
9. Зеленков Ю.А. Гибкая корпоративная информационная система: концептуальная модель, принципы проектирования и количественные метрики // Бизнес-информатика. 2018. № 2 (44). С. 30-44.
10. Ананьин В.И., Зимин К.В., Лугачев М.И., Гимранов Р.Д., Скрипкин К.Г. Цифровое предприятие: трансформация в новую реальность // Бизнес-информатика. 2018. № 2 (44). С. 45-54.

11. Кудрявцев Д.В., Зараменских Е.П., Арзуманян М.Ю. Разработка учебной методологии управления архитектурой предприятия // Открытое образование. 2017. Т. 21. № 4. С. 84-92.
12. Прохончуков С.Р., Подлевских А.П., Квасова Е.Н. Коммуникационный уровень распределенной системы управления гибкими производственными модулями // Современные проблемы науки и образования. 2015. №1-1. С. 260.
13. Подлевских А.П., Фролов А.Л. Экономическая оценка обоснованности выбора инновационного проекта // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-7. С. 1287-1292.
14. Shaw M. Prospects for an Engineering Discipline of Software // IEEE Software. 1990. Vol. 7(6). P. 15-24.
15. Подлевских А.П. CASE – технологии при проектировании информационных систем. Сборник научных трудов / редколл. Бубнов Г.Г., Плужник Е.В., Солдаткин В.И. / отв. ред. Солдаткин В.И. М.: МТИ «ВТУ», 2012. С. 162-164.
16. DIN SPEC 91345: Referenz Architektur Modell Industrie 4.0 (RAMI4.0), 2016. 40 p.
17. Подлевских А.П., Прохончуков С.Р., Мотиенко Т.А., Задорожный В.Е. Информационные технологии в образовательном и научно-исследовательском процессе // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 3-2. С. 223-229.
18. Туровец Ю.В., Вишневский К.О. Стандартизация цифрового производства: возможности для России и ЕАЭС // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 3. С. 78–96. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.3.78.96.