

## **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Ю.Н.Смирнов**

Представлены материалы по цифровой трансформации деятельности промышленных предприятий и созданию цифрового предприятия (цифрового двойника предприятия). Приведены схемы проектирования и создания цифровых предприятий.

**Цифровые технологии, цифровые платформы предприятий, имитационная информационно-математическая модель, информационная система управления, проектирование, цифровое предприятие, поток создания стоимости, бизнес-процессы.**

### **Введение и основные понятия**

Цифровизация деятельности предприятий всех секторов экономики, является новой технологической платформой эффективного развития экономики[1,2]. Успехи так называемой цифровой экономики в значительной степени зависят от темпов, платформ, методов цифровизации.

Перспективы развития цифровой экономики и использования цифровых технологий обсуждаются во многих работах [3,4]. В последующем тема цифровизации стала охватывать все сегменты деятельности и отрасли экономики, а также разные предметные области – образование, торговля, «умные продукты», интернет вещей, киберфизические системы[5-8].

Ключевым понятием в цифровизации деятельности предприятия становится понятие цифрового предприятия. Это понятие возникло относительно недавно и используется с разным содержанием, чаще оно отождествляется с интегрированной информационной системой управления предприятием [9]. Однако, такая трактовка некорректна, так как, информационная система управления предприятием, какой бы развитой она не была, не включает в себя:

1. Всю архитектуру предприятия, прежде всего производственную инфраструктуру, определяющую все характеристики производства продукции и экономические результаты деятельности предприятия.

2. Полноценную систему управления потоком создания стоимости[10,11], построенного на реинжиниринге бизнес-процессов предприятия и включающего всю совокупность решаемых аналитических, организационных, технологических и учетных задач[12,13].

3. Имитационную систему, основанную на информационно-математической модели оптимизации потока создания стоимости и позволяющую строить различные сценарий развития предприятий[14-17].

**Цифровое предприятие** – это программное обеспечение цифрового двойника предприятия с поддержкой цифровых моделей объектов инфраструктуры, продуктов, технологий, процессов и их связей.

**Цифровое предприятие** – система, построенная на когнитивных технологиях по схеме «*сущности и их связи*» и обладает всеми свойствами «умного» предприятия.

В соответствии с приведенным определением проект цифрового предприятия, цифрового двойника компании должен обладать следующими ключевыми целевыми показателями:

- Интегрировать в себя всю архитектуру предприятия для возможного ее исследования и оптимизации.

- В качестве основ управления должен использовать управление потоком создания стоимости для повышения его эффективности [10,11], должен поддерживать весь жизненный цикл проектирования, создания, реализации и возможно утилизации продукции, жизненные циклы бизнес-процессов предприятия, должен использоваться как эффективная система планирования и управления, в том числе календарного[14-17].

- Должен включать в себя имитационную систему построения всевозможных сценариев развития предприятия[18].

- Должен позволять оценить эффективность инвестиций на любую модернизацию и развитие предприятий[19].
- Должен включать в себя развитую аналитику с когнитивными и предиктивными технологиями.

Реализация именно этих перечисленных целевых показателей в проекте цифрового предприятия дает преимущества от реализации стратегии создания и использования цифрового предприятия.

### Цифровая трансформация деятельности предприятий и цифровые технологии

Цифровая трансформация деятельности предприятий происходит, как правило, в разрезе жизненного цикла продукции: проектирования, подготовки производства, производства, продажи и обслуживания как это представлено на Рисунке 1. В конечном счете, в результате цифровой трансформации появляются: цифровой двойник продукции, цифровой двойник технологий производства, цифровой двойник производства со своей системой управления, а также цифровой маркетинг и сбыт. На разных этапах жизненного цикла цифрового продукта могут использоваться различные цифровые технологий: бионический дизайн, «умные продукты», когнитивные технологий, система распределенного реестра, облачные технологий, анализ больших данных, дополненная реальность, инжиниринг и реинжиниринг[12,13], квантовые технологий, аддитивные технологий, промышленный интернет, киберфизические системы[8], 3D – технологий[20], геоинформационные системы, информационно-математическое моделирование[15,16] и другие. Эти технологий интенсивно развиваются, появляются новые, и все они предназначены для создания цифрового двойника предприятия в целом.

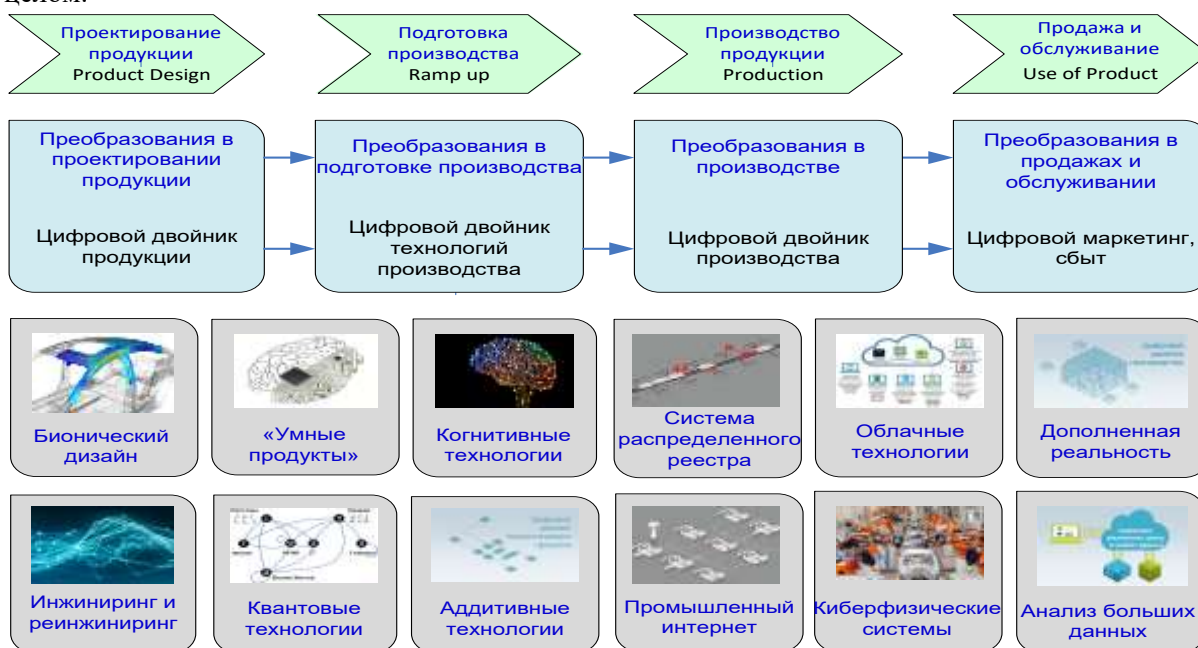


Рисунок 1. Схема цифровой трансформации деятельности предприятия

### Уровни создания цифровых платформ

Различные составляющие цифровых платформ предприятия развиваются по своим законам и вносят свой вклад в развитие предприятия.

1. Уровень автоматизации, роботизации производственных процессов, решения технологических бизнес-задач[14,24]. Потенциал повышения эффективности технологических процессов средствами автоматизации огромный, абсолютное большинство промышленных предприятий уделяют этому значительное внимание.

2. Промышленный интернет, как средство интеграции всего технологического оборудования в единую сеть, формирования больших данных мониторинга оборудования в облаке и последующее использование этих данных в когнитивных и предиктивных анализах.

3. Интегрированная информационная система как средство поддержки управления бизнес-процессами и реализации учетной политики предприятия[21]. Эта система объединяет реализацию предыдущих двух цифровых платформ[22,23], как это показано на Рисунке 2.

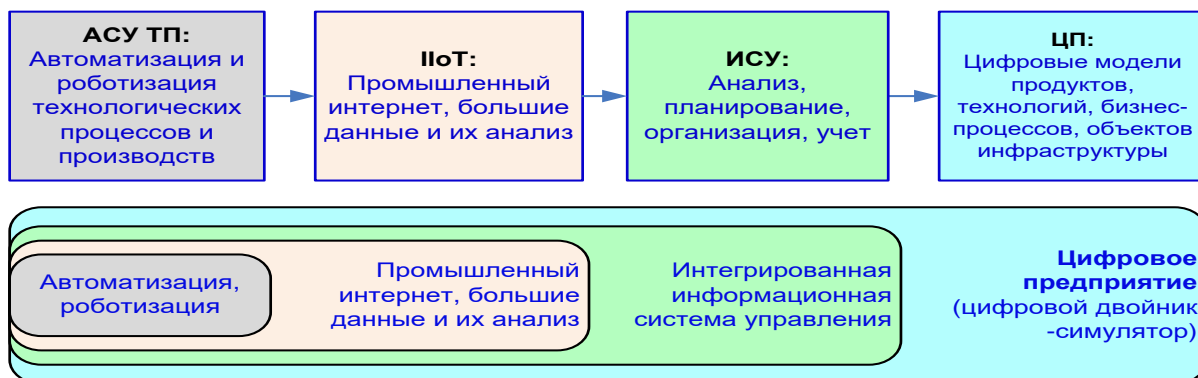


Рисунок 2. Уровни создания цифровых платформ

4. Цифровой двойник предприятия (цифровое предприятие) является конечной целью создания универсального инструмента, используемого как драйвер роста и развития бизнеса. Характерными особенностями цифрового двойника предприятия являются:

- a. Поддержка цифрового двойника продукции предприятий (конструкторской подготовки).
- b. Поддержка цифрового двойника технологий производства (технологической подготовки производства).
- c. Поддержка систем управления всеми бизнес-процессами, в том числе производственными.
- d. Поддержка моделей потока создания стоимости на предприятии.
- e. Поддержка цифровой системы продвижения и реализации продукции (маркетинга).
- f. Поддержка цифровых моделей объектов и параметров инфраструктуры предприятий, влияющих на поток создания стоимости.
- g. Поддержка когнитивных, предиктивных, облачных и других технологий, геоинформационных систем и систем информационно-математического, геометрического моделирования, интеграцию всех используемых предприятий платформ.
- h. Поддержка технологий имитационного моделирования, анализа и планирования сценариев развития предприятия и управления ими.

Последний пункт крайне важен для принятия экономически обоснованных управленческих решений, формирования реальных темпов развития бизнеса и его эффективности.

#### **Имитационная информационно-математическая модель**

Имитационную информационно-математическую модель деятельности предприятия можно построить на основе модели потока создания стоимости. Поток создания стоимости логично построить на основе реинжиниринга бизнес-процессов в виде модели управления бизнес-продуктами предприятия[10-13].

Реализация этапов реинжиниринга бизнес-процессов и создания имитационной информационно-математической модели потока создания стоимости можно схематично представить в следующем виде (Рисунок 3):

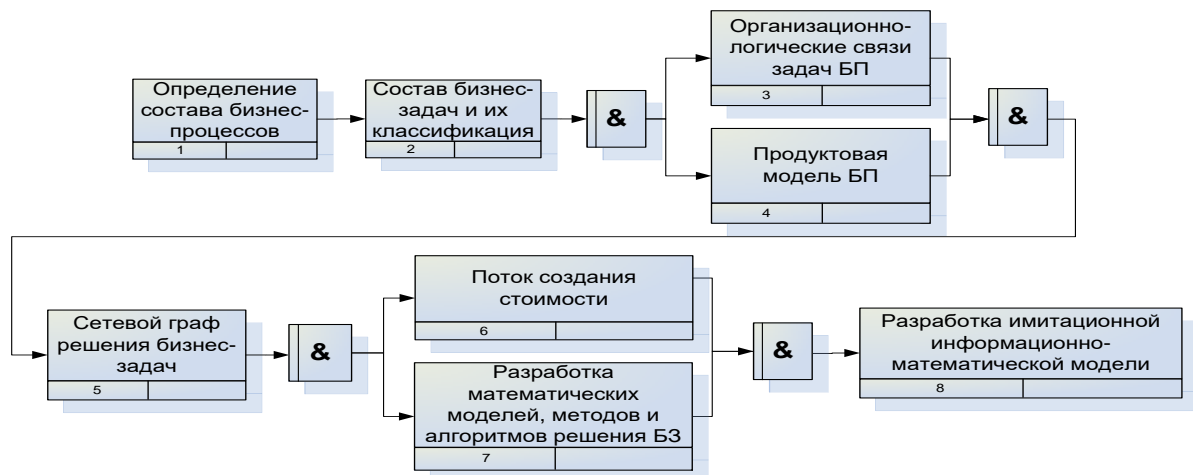


Рисунок 3. Схема создания информационно-математической модели

В этом случае, предприятие представляет собой последовательно-параллельно взаимосвязанных бизнес-процессов, а каждый бизнес-процесс – также последовательно-параллельно взаимосвязанных бизнес-задач. Решение бизнес-задач дает бизнес-продукт, поддающийся технико-экономической оценке. Поэтому, поток создания стоимости представляет собой поток решений бизнес-задач - поток бизнес-продуктов.

Все бизнес-задачи предприятия можно разделить на четыре класса задач: Аналитические, организационные, технологические и учетные [14]. Их взаимосвязь представлена на Рисунке 4.

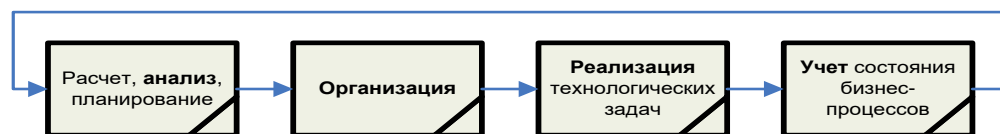


Рисунок 4. Порядок решения бизнес-задач

В большинстве случаев для решения аналитических задач на основе учетных данных используются различные математические модели и методы (оптимизационные, предиктивного анализа и др.) [14]. Таким образом, общая информационно-математическая модель бизнес-процессов представляет совокупность взаимосвязанных по потоку создания стоимости математические модели и методы решения аналитических задач [13]. Схематично это представлено на Рисунке 5.

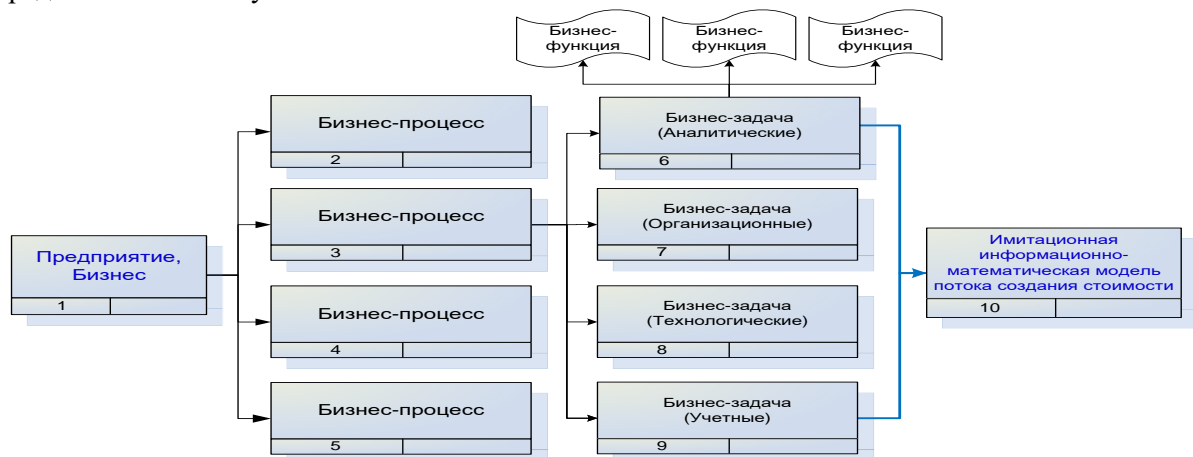


Рисунок 5. Схема проектирования и создания информационно-математической модели

### Проектирование информационной системы управления предприятием

Одним из важных аспектов создания цифровой платформы предприятия является проектирование и создание информационной системы управления. Информационная система

поддержки учетной политики и управленческих решений должна быть пригодна для решения сложных аналитических задач, что не всегда обеспечивается. Поэтому предлагается проектирование информационной системы на основе метода реинжиниринга бизнес-процессов. Тогда, структура информационной системы полностью будет соответствовать структуре бизнес-процессов (каждому бизнес-процессу может соответствовать подсистему информационной системы). Таким образом, информационная система будет ориентирована на эффективное решение аналитических, организационных и учетных бизнес-задач бизнес-процессов предприятия. Схематично это представлено на Рисунке 6.

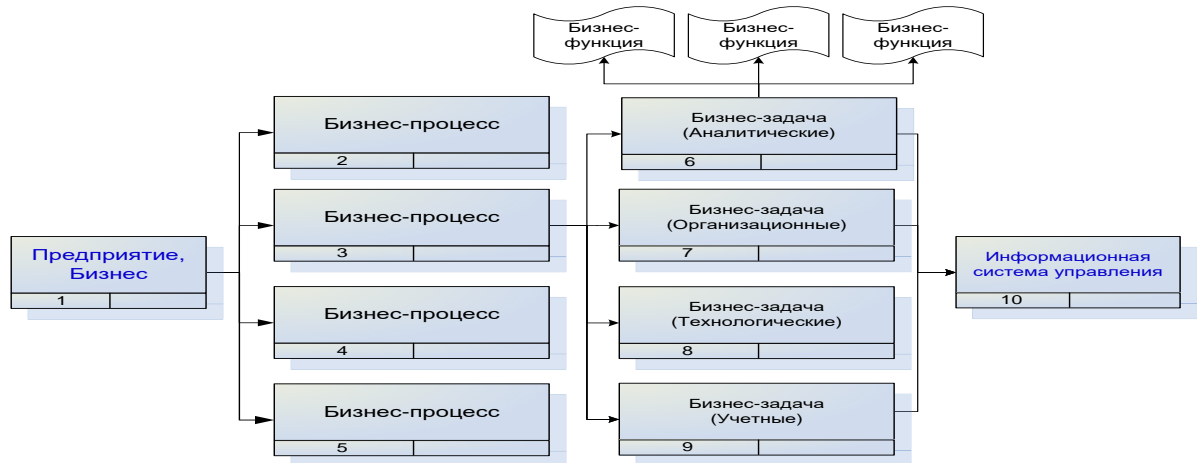


Рисунок 6. Схема проектирования и создания информационной системы управления

### Модель календарного планирования

Календарное планирование деятельности предприятия и построение сценариев развития, а также управление с учетом фактических данных бизнес-процессов осуществляется по методике, основанной на схеме, представленной на Рисунке 7 [17].

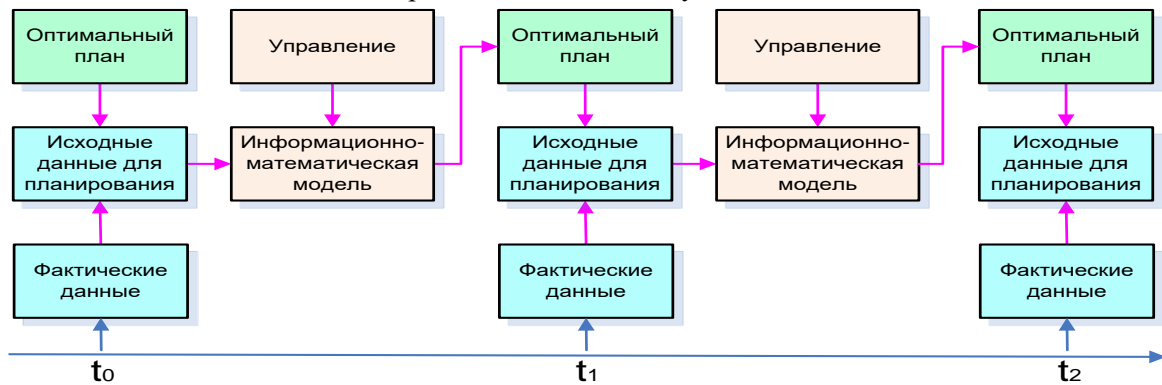


Рисунок 7. Схема календарного планирования и управления

На каждый период планирования находится оптимальный сценарий деятельности предприятия на основе информационно-математической модели и фактических данных (из информационной системы управления) состояния бизнес-процессов. Планирование на среднесрочном периоде можно осуществлять на основе методов динамического программирования (оптимальный сценарий развития предприятия) с возможным управлением (корректировкой) в любой момент времени на основе достигнутых результатов деятельности предприятия.

### Проектирование цифрового предприятия

Поток создания стоимости является одним из ключевых элементов повышения эффективности деятельности компании. Логично его построить на основе реинжиниринга бизнес-процессов в виде модели управления бизнес-продуктами предприятия [10-14]. В этом

случае, предприятие представляет собой последовательно-параллельно взаимосвязанных бизнес-процессов, а каждый бизнес-процесс – также последовательно-параллельно взаимосвязанных бизнес-задач. Решение бизнес-задач дает бизнес-продукт, поддающийся технико-экономической оценке. Поэтому, поток создания стоимости представляет собой поток решений бизнес-задач, поток бизнес-продуктов. Такой поток создания стоимости можно построить для каждого бизнес-процесса, всего предприятия[11,12]. Схема проектирования цифрового предприятия на основе процессно-задачного (процессно-продуктового) реинжиниринга бизнес-процессов предприятия представлена на Рисунке 10.

В результате реинжиниринга бизнес-процесса предприятия создаются два ключевых элемента информационной инфраструктуры предприятия:

1. Имитационная информационно-математическая модель деятельности предприятия[14,15], построенная на совокупности взаимосвязанных математических моделях решения аналитических задач (10-ый элемент на Рисунке 10) и отражающая всю архитектуру предприятия и поток создания стоимости.

2. Информационная система управления предприятием, служащая основой решения организационных задач и реализации учетной политики предприятия (11-ый элемент на Рисунке 8).

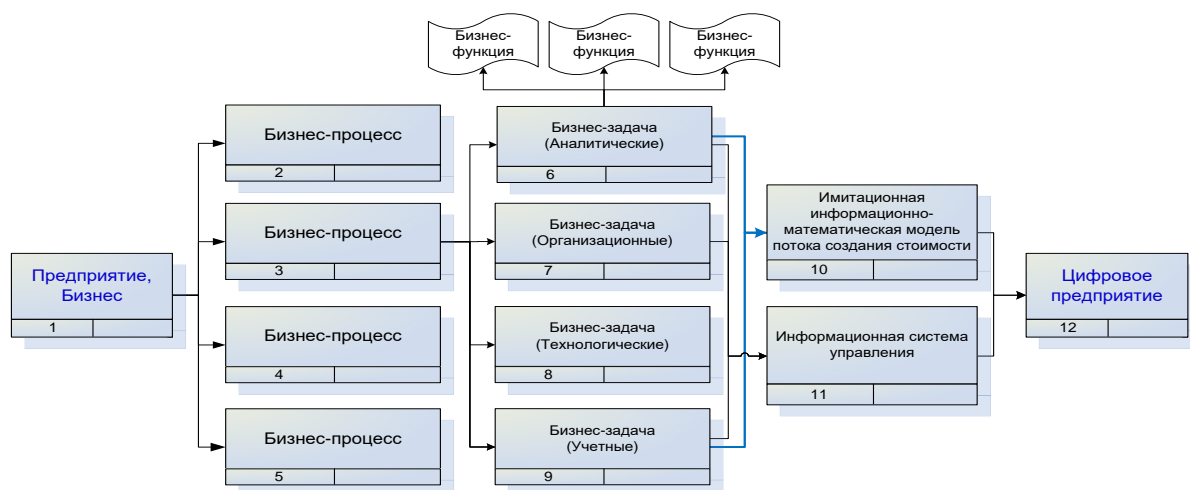


Рисунок 8. Схема проектирования цифровых предприятий

Цифровое предприятие, построенное на основе этих двух элементов, позволяет реализовать все ключевые преимущества использования цифровых платформ:

- Поддержка всей архитектуры предприятия.
- Управление потоком создания стоимости.
- Использование имитационной системы построения сценариев развития предприятия.
- Применение развитой аналитики с когнитивными технологиями.
- Повышение эффективности инфраструктуры предприятия, потока создания стоимости, модернизаций технологий, инвестиций с учетом внешних и внутренних факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang S., Wan J., Li D., Zhang C. Implementing Smart Factory of Industry 4.0: An Outlook, International Journal of Distributed Sensor Networks. 2016. Vol. 2016. № 3159805.
2. Basl J., Sasiadek M. Comparison of Industry 4.0 Application Rate in Selected Polish and Czech Companies. IDIMT-2017, Digitalization in Management, Society and Economy, Linz: Trauner Verlag Universität, 2017. ISBN 978-3-99062-119-6.
3. Zawadzki P., Zywicki K. Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept, Management and Production Engineering Review. 2016. Vol. 7(1). P. 105–112.

4. *Soliman F., Youssef M.A.* Internet-based e-commerce and its impact on manufacturing and business operations, *Industrial Management & Data Systems*. 2013. Vol. 103(8-9). P. 546-552.
5. *Cuylen A., Kosch L., Breitner M.H.* Development of a maturity model for electronic invoice processes. *Electronic Markets // The International Journal on Networked Business*. 2015. Vol. 26(2). P. 115–127.
6. *Tao F., Zuo Y., Xu L.D., Zhang L.* IoT-Based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2014. Vol. 10(2). P. 1547-1557.
7. *Jing Q., Vasilakos A.V., Wan J., Lu J., Qiu D.* Security of the Internet of Things: perspectives and challenges // *Wireless Networks*. 2014. Vol. 20(8). P. 2481-2501.
8. *Wan J., Yan H., Liu Q., Zhou K., Lu R., Li D.* Enabling cyber-physical systems with machine-tomachine technologies, *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*. 2013. Vol. 13(3-4). P. 187-196.
9. *Basl J., Buchalceková A., Gála L.* Conceptual model of the impact of enterprise information systems innovation on sustainability / In: Moller, Ch., Chaudhry, S.: *Advances in Enterprise Information Systems II*. Leiden : CRC Press, 2012. 447 p.
10. *Смирнов Ю.Н.* Процессно-продуктовый подход к экономике и управлению на предприятиях // *Интеграл*. 2009. № 6. С. 88-89.
11. *Смирнов Д.Ю., Смирнов Ю.Н.* О характеристиках потоков создания стоимости на предприятиях // *Интеграл*. 2010. № 6. С. 72-73.
12. *Смирнов Ю.Н., Сидорова Е.А.* Методология процессно-продуктового бюджетирования и расчета себестоимости продукции // *Научно-практический журнал «Интеграл»* – 2009. - №6. -Стр.47-49.
13. *Смирнов Ю.Н.* Процессно-задачный инжиниринг бизнес-процессов и стандарт управления предприятием // *Интеграл*. 2007. № 5. С. 54-55.
14. *Смирнов Ю.Н.* Основные бизнес-задачи предприятия // *Интеграл*. 2008. № 3. С. 96-98.
15. *Смирнов Ю.Н.* Общая и имитационная информационно-математические модели деятельности предприятия // *Интеграл*. 2007. № 6. С. 46-47.
16. *Смирнов Ю.Н.* Календарное планирование и анализ развития предприятия на основе информационно-математической модели // *Интеграл*. 2009. № 2. С. 24-25.
17. *Смирнов Ю.Н., Гимазетдинов Р.Ф.* Анализ и планирование складской, транспортной и сбытовой логистики нефтепродуктов на основе информационно-математической модели // *Интеграл*. 2008. № 1. С. 38-41.
18. *Смирнов Д.Ю., Гимазетдинов Р.Ф., Смирнов Ю.Н.* Информационно-математическая система анализа и планирования закупочной, складской, транспортной и сбытовой логистики нефтепродуктов для предприятий нефтяной отрасли // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2015. № 1. С. 99-110.
19. *Смирнов Ю.Н., Сидорова Е.А.* Методика обоснования эффективности инвестиций в инновационный процессно-продуктовый менеджмент // *Интеграл*. 2010. № 3. С. 78-79.
20. *Górski F., Hamrol A., Kowalski M.* An automatic system for 3D models and technology // *Process Design. Transaction of FAMENA*. 2011. Vol. 35(2) P. 69–78.
21. *Петухова К.В., Смирнов Ю.Н.* Процессный подход к управленческому учету и учетной политике предприятия // *Интеграл*. 2011. № 2. С. 81-82.
22. *Зиганишин Э.Ш., Смирнов Ю.Н.* Об интеграции автоматизированных систем управления технологическими процессами с информационной системой управления предприятием // *Интеграл*. 2009. № 5. С.91-92.
23. *Зиганишин Э.Ш., Смирнов Ю.Н.* Основы интеграции информационной системы управления предприятием и АСУ технологическими процессами // *Автомобильная промышленность*. 2011. №10. С. 1-3.
24. *Каляшина А.В., Андрияшин В.А., Сатдаров Т.Р.* Роботизированный комплекс третьего поколения по обработке металлов // *Вестник КНИТУ им. А.Н. Туполева*, № 4, 2015

12.10.2018 г.

## **PRINCIPLES OF DESIGN AND DEVELOPMENT DIGITAL PLATFORMS BUSINESSES**

**Yu.N.Smirnov**

Materials on digital transformation of activity of the industrial enterprises and creation of the digital enterprise (digital double of the enterprise) are presented. Schemes of design and creation of digital enterprises are given.

**Digital technology, digital platform companies, simulation of information-mathematical model, information system management, design, digital enterprise, value stream, business processes.**

Смирнов Юрий Николаевич, доцент, заведующий кафедрой «Инженерная кибернетика», проректор по информатизации, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», [mmite@inbox.ru](mailto:mmite@inbox.ru) .