

# Инфокоммуникационные технологии и системы

УДК 004.4

DOI: 10.14529/ctcr200305

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И УЧЕБНЫХ ПРОЦЕССАХ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ)

**А.Ю. Сапожников<sup>1</sup>, А.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.С. Маврина<sup>1</sup>, Г.Г. Куликов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия,

<sup>2</sup>АО «Уфимское научно-производственное предприятие «Молния», г. Уфа, Россия

**Введение.** В настоящий момент при реализации проектов по разработке и производству высокотехнологичной продукции разработчики работают в кооперации. В рамках таких проектов создаются цифровые платформы, позволяющие снизить транзакционные издержки за счет модернизации и алгоритмизации бизнес-процессов. Применение двойника предметно-ориентированной платформы в корпоративной информационной системе университета позволит модернизировать его учебные программы, а также повысить эффективность подготовки студентов. **Цель исследования.** Рассмотреть системную модель трансформации процесса обучения с использованием цифрового двойника информационной платформы, позволяющей решать актуальные задачи в заданной предметной области. Разработать методику применения функционально-стоимостного анализа при учете заданных ограничений на располагаемые проектные ресурсы, включая временные.

### **Методы исследования, использованные в работе:**

- принципы методологии системной инженерии (процессного подхода, жизненного цикла и др.);
- комплексный подход и структурный анализ процесса проектирования по методологии SADT (Structured Analyze and Design Technology);
- функциональное моделирование (в нотации IDEF0).

**Результаты.** Предложен метод определения ресурсных ограничений, включая временные, на основе функционально-стоимостного анализа (ФСА) по моделям процессов в исследуемой предметной области с использованием информационной платформы.

Предложен модульный подход, основанный на логике прямого и обратного отношений композиции – декомпозиции, путем выделения элементарных объектов исследуемой предметной области по правилам дифференциально-интегрального исчисления (определённых и неопределённых интегралов) и далее теории динамических систем. Подход демонстрируется на решении задачи формирования учебных программ по дисциплинам базовой кафедры «Информационные технологии в машиностроении», связанных с производственной деятельностью. Показано, что применение предложенного подхода позволяет формализовать противоречия в компетенциях студентов с требованиями работодателей и определить компромиссные решения для их устранения.

**Заключение.** Разработанный подход системного функционального моделирования на основе цифрового двойника платформы предметно-ориентированной области позволяет произвести количественную оценку трудозатрат при ресурсных ограничениях, включая временные.

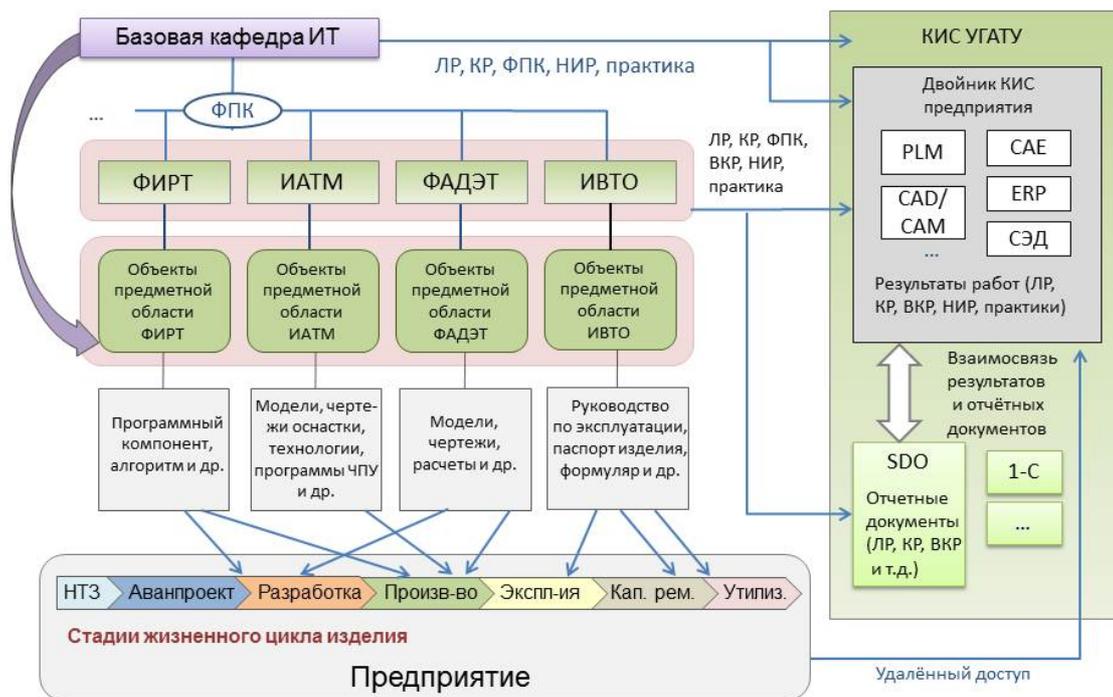
*Ключевые слова:* предметно-ориентированная область, системное моделирование бизнес-процессов, информационная платформа, PLM-система, функционально-стоимостной анализ, создание рабочего процесса, базовая кафедра.

## Инфокоммуникационные технологии и системы

Мировое развитие цифровизации в различных областях деятельности общества, в том числе в промышленности, уже создало необходимые условия для реализации концепции 4-й промышленной революции INDUSTRY 4 [1]. В этих условиях актуальной является задача формализации прикладных знаний на основе модельной гипотезы. Это приводит к необходимости интеграции деятельности вузов, ОКБ и производственных площадок на основе лучших практик, опыта в виде системных моделей, включая цифровые двойники и IT-технологии [2–4]. Развитие в университетах механизма базовых (производственных) кафедр, ориентация их программ на использование передовых технологий конкретного предприятия отрасли приводит к актуальной задаче: организации в университете площадки инновационной обучающей и научно-производственной деятельности в виде цифрового двойника (ЦД) корпоративной информационной системы (КИС) предприятия [5–9].

КИС предприятия (со своим внешним и внутренним содержанием) – это прежде всего множество интегрированных между собой систем различных классов (PLM/CAD/CAM/CAE/PDM/ERP/SRM/IC др.). Цифровой (информационный) двойник как адекватное отображение объектов и их связей в исследуемой предметно-ориентированной области в соответствии с принципом двойственности, в свою очередь, параллельно отображается структурой внешней среды и структурой внутреннего содержания. Организация по созданию ЦД КИС подробно рассмотрена авторами в [10].

На рис. 1 показана схема расположения цифрового двойника КИС производственного предприятия в структуре вуза и роль базовой кафедры информационных технологий.



**Рис. 1. Место ЦД КИС предприятия в составе КИС университета**  
**Fig. 1. Place of the digital twin of the enterprise's corporate information system within the corporate information system of the university**

Выделим внутреннее содержание ЦД КИС как представляемое описанием бизнес-процессов, связанных с обучением на базовой кафедре, а отношения ЦД КИС с КИС университета (внешнее содержание), описываемое интегральными бизнес-процессами взаимодействия факультетов между собой, с базовой кафедрой, с производственным предприятием.

Внедрение передовых технологий в учебный процесс происходит за счёт разработки учебных программ специалистами базовой кафедры, устраняющих разрыв между компетенциями выпускников вуза и требованиями производства (будущего работодателя) за счет адаптации учебных программ под решение актуальных задач предприятия.

Каждая из актуальных задач из предметной области соответствует определенному этапу жизненного цикла (ЖЦ) изделия [11, 12]. Их решением в университете занимаются соответствующие рабочие группы (ППС, научно-исследовательские лаборатории и т. д.). Описание задач на естественном языке открывает возможность дальнейшей формализации и представления знаний в форме онтологической модели, в форме справочников и организационно-распорядительных документов и далее в форме системной модели на предметно-ориентированных метаязыках IDEF, UML, BPMN [13–15].

На рис. 2 представлен фрагмент функциональной модели, где показано влияние актуальных производственных задач на составление индивидуальной траектории обучения. Основными управляющими воздействиями при этом являются профстандарты, описывающие компетенции к конкретным должностям, дополненные требованиями с точки зрения конкретного предприятия, а также федеральные государственные образовательные стандарты, определяющие компетенции специальностей в университете, с учётом его научно-производственной деятельности.

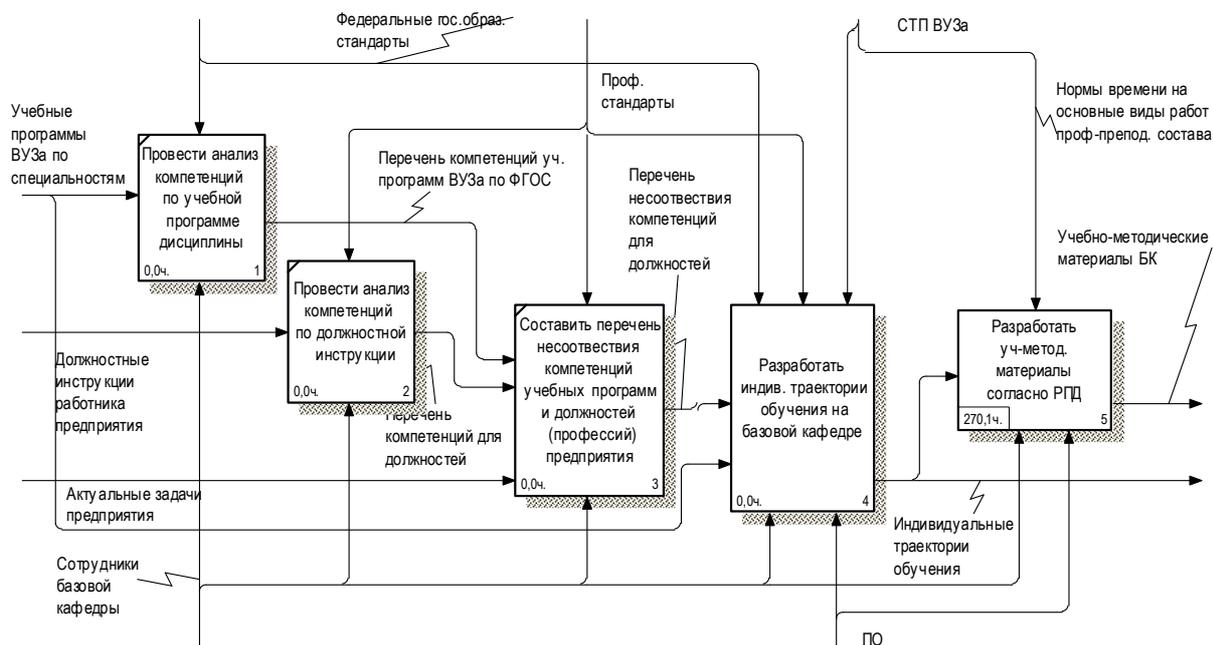


Рис. 2. Фрагмент функциональной модели (2-й уровень)  
Fig. 2. Fragment of the functional model (2nd level)

На практике учебные программы базовой кафедры ограничены объёмом часов, выделяемым на вариативные дисциплины. Поэтому для построения гибкой траектории обучения целесообразно применять модульный подход к составлению учебных программ [16]. На рис. 3 приведено влияние (обратная связь) предприятия на учебный процесс университета в виде включения дисциплин базовой кафедры в учебный план. Отметим, что наличие обратной связи предполагает сохранение устойчивости объекта, то есть его целостности в рамках заданных ограничений [17].

Суть данного подхода отражена в таблице, из которой видно, что один и тот же модуль может применяться при подготовке учащихся разных специальностей и с различных факультетов, обеспечивающих в целом весь ЖЦ изделия. ИТ<sub>і</sub> и АД<sub>і</sub> обозначают модули учебной программы для студентов, обучающихся по специальностям в области информационных технологий и авиационных двигателей соответственно.

Структурным элементом каждого модуля является тема занятия, направленная на приобретение студентом набора контролируемых действий при решении актуальных задач предметной области.

Как правило, на первом этапе внедрения оцениваются временные показатели внедрения бизнес-процессов [18]. Поэтому разработанная модель использовалась для расчёта временных затрат при создании учебно-методических материалов модуля по методике функционально-

# Инфокоммуникационные технологии и системы

стоимостного анализа [19, 20]. На рис. 4 приведен фрагмент модели для расчета модуля АД<sub>1</sub> «Базовый курс моделирования в CAD/CAM-системе», трудоемкость которого составила 270,1 ч.

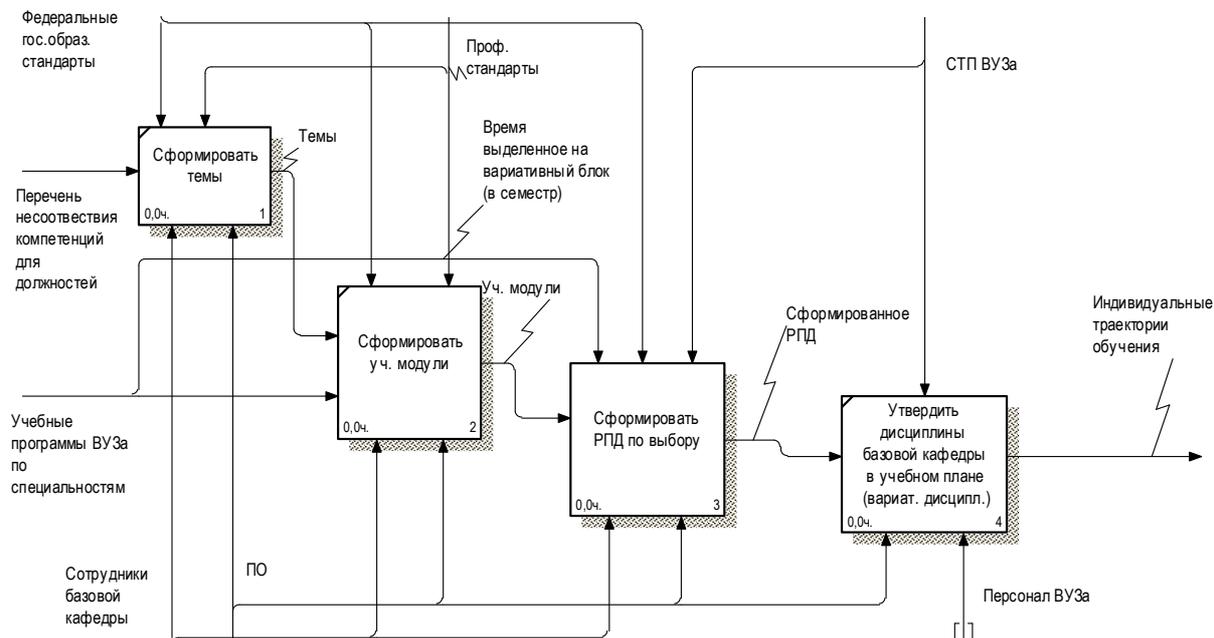


Рис. 3. Фрагмент функциональной модели (3-й уровень)  
Fig. 3. Fragment of the functional model (3rd level)

## Модульный состав учебных программ The modular structure of training programs

№	Должность (профессия)	Учебная программа	Наименование модуля	Специальность
1.	Системный администратор	Основы администрирования CAD/CAM/PLM-систем	ИТ <sub>2</sub> – «Основы администрирования CAD/CAM-систем»	Информатика и вычислительная техника
			ИТ <sub>3</sub> – «Основы администрирования PLM-систем»	
			ИТ <sub>1</sub> – «Основы управления конфигурацией изделия в PLM-системе»	
2.	Инженер-программист	Основы программирования под CAD/CAM/CAE/PLM-системы	ИТ <sub>4</sub> – «Развертывание PLM-системы»	Прикладная информатика
			ИТ <sub>5</sub> – «Разработка прикладного ПО в PLM-системе»	
3.	Инженер-конструктор (проектировщик)	Основы конструкторской подготовки производства	АД <sub>1</sub> – «Базовый курс моделирования в CAD/CAM-системе»	Двигатели летательных аппаратов; проектирование авиационных двигателей.
			АД <sub>2</sub> – «Модуль Drafting в CAD/CAM-системе. Базовый курс»	
			ИТ <sub>1</sub> – «Основы управления конфигурацией изделия в PLM-системе»	
4.	Инженер-конструктор (расчетчик)	Основы инженерного анализа в CAD/CAM/CAE-системе	АД <sub>1</sub> – «Базовый курс моделирования в CAD/CAM-системе»	Проектирование авиационных двигателей.
			АД <sub>3</sub> – «Базовый курс инженерного анализа в CAE-системе»	

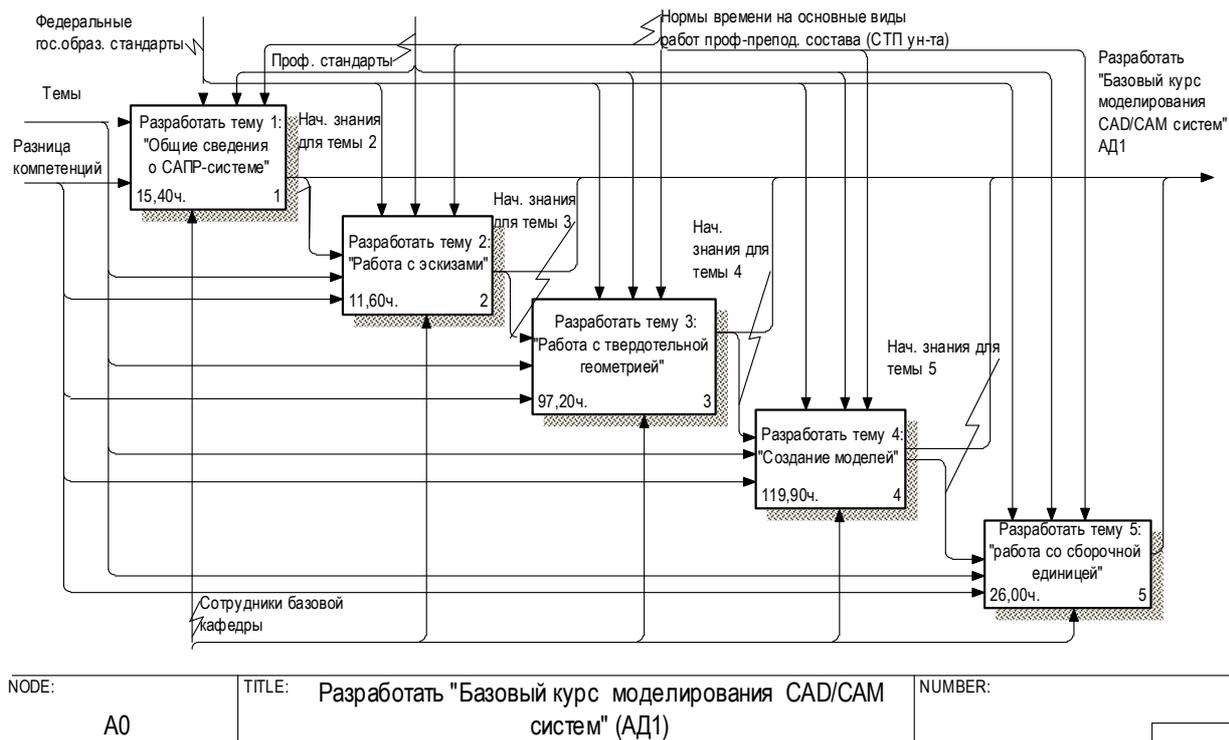


Рис. 4. Расчет временных затрат по методике ФСА для дисциплины «Базовый курс моделирования в CAD/CAM-системе»  
Fig. 4. Calculation of time costs using the method of functional cost analysis for the discipline “Basic course of modeling in CAD / CAM-system”

Нормирование времени для отдельных видов задач (рис. 5) производилось по стандарту университета (СТП).

Activity Name	Activity Cost (\$ U.S.)	Cost Center	Cost Center Cost (\$ U.S.)
Разработать учебные программы базовой кафедры для специальностей	404,10	Подготовка и изготовление видеоматериала	51,50
		Подготовка и изготовление уч. презентаций (слайдов)	60,00
		Подготовка лекционного материала	35,00
		Подготовка типовых заданий для практических занятий	2,60
		Разработка индивидуальных учебных планов	10,00
		Разработка методических указаний	105,00
		Составление новых методических указаний по практическим занятиям	90,00
		Составление рабочих программ на учебным дисциплинам	50,00
Сформировать темы для уч. модулей	10,00	Разработка индивидуальных учебных планов	10,00
		Определить уч. модули для спец-й	108,50
Определить уч. модули для спец-й	108,50	Подготовка и изготовление видеоматериала	51,50
		Подготовка и изготовление уч. презентаций (слайдов)	50,00
		Подготовка лекционного материала	5,00
		Подготовка типовых заданий для практических занятий	2,00
Сформировать РПД	50,00	Составление рабочих программ на учебным дисциплинам	50,00

Рис. 5. Фрагмент отчета Activity Cost Report  
Fig. 5. Fragment of the Activity Cost Report

Ниже приведены формулы суммирования затрат для рабочей программы дисциплины (РПД) с различными размерностями по схеме композиции (снизу вверх).

$$\text{РПД}_p = \sum_{i=1}^n M_i,$$

где  $\text{РПД}_p$  – время на разработку  $p$ -й РПД;  $n$  – количество новых модулей в РПД $_p$ ;  $M_i$  – время на разработку  $i$ -го модуля.

$$M_i = \sum_{k=1}^m t_k,$$

где  $t_k$  – время на разработку  $k$ -й темы;  $m$  – количество тем в модуле.

$$t_k = \sum_{i=1}^q N_i * V_i,$$

где  $V_i$  – объем  $i$ -го вида работ в данной теме;  $q$  – количество видов работ при разработке темы;  $N_i$  – норма времени для расчета нагрузки, соответствующая  $i$ -му виду работ.

При разработке лекционного материала (презентаций), видеоматериалов и заданий для практических занятий, а также учебно-методических указаний для проведения лабораторных работ по данной дисциплине согласно расчетам затраты составили 258 часов, что согласуется с результатами ФСА.

Кроме количественной оценки трудозатрат данный анализ позволяет выполнить планирование работ и распределение нагрузки между сотрудниками базовой кафедры.

В целях обобщения подчеркнем, что в рассмотренном примере были использованы только программные средства, методические и информационные ресурсы, используемые в рамках цифрового двойника КИС предприятия.

### Выводы

1. С учётом ограничений на трудозатраты на разработку учебных программ и выпуск учебно-методических материалов предметной области можно обеспечить модульное построение учебных программ вовлечения студентов различных факультетов, получения знаний и компетенций, соответствующих определенной специализации.

2. На основе разработанной функциональной модели были сформированы учебные программы базовой кафедры «ИТ в машиностроении» при ПАО «ОДК-УМПО» для отдельных специальностей факультетов ИРТ и АДЭТ УГАТУ.

3. Трудозатраты, рассчитанные по разработанной модели с использованием методики ФСА, соответствуют реально затраченному, что подтверждает целесообразность ее использования.

### Литература

1. Kuznecov, A.A. Example of PLM-system adoption at PJSC «UEC-UMPO» In the network of interaction on the project PD-14 / A.A. Kuznecov, A.S. Mavrina, A.Yu. Sapozhnikov // International scientific journal «Industry 4.0». Bulgaria. – 2018. – Iss. 5. – P. 259–261. – ISSN 2534-997X (Online), ISSN 2534-8582 (Print).

2. Организация виртуальной информационной площадки «Машиностроительное предприятие – технический университет» на примере автоматизации процесса подготовки молодых специалистов / Г.Г. Куликов, И.А. Кривошеев, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т // Станкостроение и инновационное машиностроение. Проблемы и точки роста: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа: РИК УГАТУ, 2019. – С. 434–440.

3. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин и др. // Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. – 2019. – № 32. – С. 1–39.

4. Официальный сайт Siemens. – <https://new.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/digitaltwin/digital-twin.html> (дата обращения: 08.06.2020).

5. Кривошеев, И.А. Разработка методики сквозного обучения студентов УГАТУ в едином информационном пространстве «Вуз – ОКБ – Серийный завод» / И.А. Кривошеев, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов // Журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2013. – № 5. – <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10144> (дата обращения 01.06.2020).

6. Подход к применению концепции цифровых двойников для трансформации корпоративной информационной системы под требования INDUSTRY 4.0 (на примере создания единого

информационного пространства «Вуз – предприятие») / Г.Г. Куликов, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов и др. // Вестник УГАТУ. – 2019. – Т. 23, № 4 (86). – С. 154–160.

7. Куликов, Г.Г. Информационно-технологическая модель прикладной цифровой платформы базовой кафедры в наукоемких отраслях промышленности / Г.Г. Куликов, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XIX Международной научной конференции. – Уфа: РИК УГАТУ, 2019. – С. 282–285.

8. Дронь, Е.А. Разработка функциональных моделей производства при внедрении автоматизированных информационных систем / Е.А. Дронь, Г.И. Погорелов, Г.Г. Куликов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 68–80. DOI: 10.14529/ctcr180308

9. Логиновский, О.В. Применение VI-принципов в гейтовой системе управления проектом создания цифрового двойника ГТД / О.В. Логиновский, К.А. Ризванов, Г.Г. Куликов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 16–26. DOI: 10.14529/ctcr200102

10. Методология проектирования системных моделей рабочих процессов с применением предметно-ориентированных метаязыков / Г.Г. Куликов, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов, А.С. Маврина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 45–55.

11. ГОСТ Р 56135–2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2016.

12. ГОСТ Р 53791–2010. Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2018.

13. Калянов, Г.Н. CASE-технологии. Консалтинг в автоматизации бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 320 с.: ил.

14. Имитационное моделирование бизнес-процессов в системе Bizagi Modeler / И.М. Якимов, А.П. Кирпичников, В.В. Мокшин и др. // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 9. – С. 236–239.

15. Метод формального онтологического моделирования и реализации функций системной инженерии на основе принципа достаточного разнообразия структурных связей / В.В. Антонов, А.П. Бельтюков, Г.Г. Куликов, Л.Е. Родионова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 13–26. DOI: 10.14529/ct-cr190402

16. Пискунова, Е.В. Зарубежный опыт реализации инновационных образовательных программ / Е.В. Пискунова // Universum: Вестник Герценовского университета. – 2007. – № 1. – <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnyy-opyt-realizatsii-innovatsionnyh-obrazovatelnyh-programm> (дата обращения: 08.06.2020).

17. Антонов, В.В. предметной области с применением инструментов, поддерживающих стандарты / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов, Д.В. Антонов // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, № 3(48). – С. 42–52.

18. Дубинина, Н.А. Показатели оценки бизнес-процессов предприятия / Н.А. Дубинина // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». – 2016. – № 2(29). – С. 179–191.

19. Кузьмина, Е.А. Функционально-стоимостный анализ и метод ABC / Е.А. Кузьмина, А.М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 12. – С. 6–10.

20. Черемных, С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М.: Финансы и статистика. Серия «Прикладные информационные технологии», 2006. – 192 с.: ил.

**Сапожников Алексей Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры ИТ в машиностроении, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; axl\_mail\_box@mail.ru.

**Кузнецов Александр Андреевич**, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; kuznecovopr@gmail.com.

Маврина Анна Сергеевна, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; [nytk\\_a\\_008@mail.ru](mailto:nytk_a_008@mail.ru).

Куликов Геннадий Григорьевич, технический директор, АО «Уфимское научно-производственное предприятие «Молния», г. Уфа; [gennadyg\\_98@Yahoo.com](mailto:gennadyg_98@Yahoo.com).

Поступила в редакцию 10 июня 2020 г.

---

DOI: 10.14529/ctcr200305

### APPLICATION OF THE DIGITAL TWIN OF THE ENTERPRISE INFORMATION PLATFORM IN PRODUCTION AND EDUCATIONAL PROCESSES ACCOUNTING FUNCTIONAL, COST AND TIME CONSTRAINTS (ON THE EXAMPLE OF BUSINESS PROCESSES OF THE INFORMATION TECHNOLOGY BASIC CHAIR)

A.Yu. Sapozhnikov<sup>1</sup>, [axl\\_mail\\_box@mail.ru](mailto:axl_mail_box@mail.ru),

A.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, [kuznecovopkr@gmail.com](mailto:kuznecovopkr@gmail.com),

A.S. Mavrina<sup>1</sup>, [nytk\\_a\\_008@mail.ru](mailto:nytk_a_008@mail.ru),

G.G. Kulikov<sup>2</sup>, [gennadyg\\_98@Yahoo.com](mailto:gennadyg_98@Yahoo.com)

<sup>1</sup>Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>JSC “Ufa scientific-production enterprise “Molniya”, Ufa, Russian Federation

**Introduction.** Currently, developers work in cooperation in implementing projects for the development and production of high-tech products. Digital platforms are being created for these projects that reduce transaction costs by modernizing and algorithmization business processes. The applying of such a subject-oriented platform of digital twin in the corporate information system of the University allows modernizing its educational programs, as well as improving the efficiency student training. **Aim.** The purpose of the article is to consider a transformation systematic model of the educational process by using the digital twin of an information platform that provides solving actual problems in researched subject area. It is necessary to develop a method for applying ABC-cost accounting the specified restrictions on available project resources, including time. **Materials and methods.** The methods used in the work: the principles of system engineering methodology (process approach, life cycle, etc.); the complex approach and structural analysis of the design process using the SADT methodology (structured analysis and design technology); the functional modeling (in IDEF0 notation). **Results.** It was suggested a method for determining resource constraints including time constraints, based on ABC-cost of process models in the researched subject area using an information platform. A modular approach based on the logic of direct and inverse composition – decomposition relations is proposed. The elementary objects of the researched subject area according to the rules of differential integral calculus (definite and indefinite integrals) and then the theory of dynamical systems were identified. **Conclusion.** The developed approach of system functional modeling based of the platform digital twin of the subject-oriented area provides a quantitative working hour costs including time and resource constraints.

*Keywords:* subject-oriented area, system modeling of business processes, information platform, PLM-system, ABS-cost, workflow design, basic chair.

#### References

1. Kuznetsov A.A., Mavrina A.S., Sapozhnikov A.Yu. Example of PLM-system Adoption at PJSC “UEC-UMPO” in the Network of Interaction on the Project PD-14. *International scientific journal “Industry 4.0”*, 2018, no. 5, pp. 259–261.

2. Kulikov G.G., Krivosheev I.A., Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A. [Organization of the Virtual Information Platform “Machine-Building Enterprise-Technical University” on the Example of Automation Process of Training Young Specialists]. *Stankostroyeniye i innovatsionnoye mashinostroyeniye. Problemy i tochki rosta: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Machine tool industry and innovative machine building. Problems and growth points: materials of the All-Russian scientific and practical conference]. Ufa, Ufa State Aviation Technical University, 2019, pp. 434–440. (in Russ.)
3. Borovkov A.I., Ryabov Yu.A., Kukushkin K.V., Maruseva V.M., Kulemin V.Yu. [Digital Twins and Digital Transformation of Military-Industrial Complex Enterprises]. *Vestnik of the East Siberian Open Academy*, 2019, no. 32, pp. 1–39. (in Russ.)
4. Siemens [Siemens]. Available at: <https://new.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/digitaltwin/digital-twin.html> (accessed 08.06.2020).
5. Krivosheev I.A., Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A. Development of End-to-End Training Method of UGATU Students in UIS “UNIVERSITY-OKB-Serial Plant”. *Journal of Modern problems of science and education*, 2013, no. 5. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10144> (accessed 01.06.2020) (in Russ.).
6. Kulikov G.G., Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A., Mavrina A.S., Zagidullin D.I. [Approach to the Application of the Concept of Digital Twin for the Transformation of the Corporate Information System Using the Requirements of INDUSTRY 4.0 (on the Example of Creating a UIS “UNIVERSITY-enterprise”)]. *Vestnik UGATU*, 2019, vol. 23, no. 4(86), pp. 154–160. (in Russ.)
7. Kulikov G.G., Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A. [Information Technology Model of the Applied Digital Platform of the Basic Department in Science-Intensive Industries]. *Upravleniye ekonomikoy: metody, modeli, tekhnologii: materialy XIX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Economic management: methods, models, technologies: materials of the XIX International scientific conference]. Ufa, Ufa state University. aviation tech. university, 2019. pp. 282–285. (in Russ.)
8. Dron E.A., Pogorelov G.I., Kulikov G.G. [Development of Production Models at Introduction of Automated Information Systems]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 68–80. DOI: 10.14529/ctcr180308. (in Russ.)
9. Loginovskiy O.V., Rizvanov K.A., Kulikov G.G. [Application of BI-Principles in the Gate Project Management System to Create a Digital Twin of the GTE]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 16–26. DOI: 10.14529/ctcr200102. (in Russ.)
10. Kulikov G.G., Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A., Mavrina A.S. [Design Methodology System Models of Workflows Using Subject-Oriented Metalanguages]. *Bulletin of the South Ural state University. Series: Computer technologies, automatic control, radio electronics*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 45–55. (in Russ.)
11. GOST R 56135-2014. *Upravleniye zhiznennym tsiklom produktsii voyennogo naznacheniya. Obshchiye polozheniya* [State Standard 56135-2014. Life Cycle Management of Military Products. General Provisions]. Moscow, Standardinform, 2016.
12. GOST R 53791-2010. *Resursosberezheniye. Stadii zhiznennogo tsikla izdeliy proizvodstvenno-tekhnicheskogo naznacheniya. Obshchiye polozheniya* [State Standard 53791-2010. Resource Saving. Stages of the Life Cycle of Products for Industrial and Technical Purposes. General Provisions]. Moscow, Standardinform, 2018.
13. Kalyanov G.N. *CASE-tekhnologii. Konsalting v avtomatizatsii biznes-protsessov* [CASE-technologies. Consulting in business process automation]. Moscow, Hotline-Telecom, 2002. 320 p.
14. Yakimov I.M., Kirpichnikov A.P., Mokshin V.V., Aleutdinova G.R., Paigina L.R. [Simulation of Business Processes in the Bizagi Modeler System]. *Vestnik of the Technological University*, 2015, vol. 18, no. 9, pp. 236–239. (in Russ.)
15. Antonov V.V., Beltyukov A.P., Kulikov G.G., Rodionova L.E. [Formal Representation of the Model of Realization of the Functions of System Engineering Based on the Principle of the Enough Diversity of Structural Connections]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 13–26. DOI: 10.14529/ctcr19040. (in Russ.)

16. Piskunova E.V. [Foreign experience in implementing innovative educational programs]. *Universum: Vestnik of the Herzen University*, 2007, no. 1, pp. 19–21. (in Russ.)
17. Antonov V.V., Kulikov G.G., Antonov D.V. [Formalization of the Subject Area Using of Tools That Support Standards]. *Vestnik UGATU*, 2012, vol. 16, no. 3(48), pp. 42–52. (in Russ.)
18. Dubinina N.A. [Indicators for Evaluating Business Processes of an Enterprise]. *Vestnik of the Perm University. Ser. "Economy"*, 2016, no. 2(29), pp. 179–191. (in Russ.)
19. Kuzmina E.A., Kuzmin A.M. [Functional Cost Analysis and ABC Method]. *Quality Management Methods*, 2002, no. 12, pp. 6–10. (in Russ.)
20. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin B.C. *Modelirovaniye i Analiz Sistem. IDEF-Tekhnologii: Praktikum* [Modeling and analysis of systems. IDEF-technologies: practicum]. Moscow, Finance and Statistics, 2006. 192 p.

*Received 10 June 2020*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Применение цифрового двойника информационной платформы предприятия в производственных и учебных процессах с учетом функционально-стоимостных и временных ограничений (на примере бизнес-процессов базовой кафедры информационных технологий) / А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов, А.С. Маврина, Г.Г. Куликов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 47–56. DOI: 10.14529/ctcr200305

### FOR CITATION

Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A., Mavrina A.S., Kulikov G.G. Application of the digital twin of the enterprise information platform in production and educational processes accounting functional, cost and time constraints (on the example of business processes of the information technology basic chair). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 47–56. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200305