

На правах рукописи



КУЗНЕЦОВ АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ

**МОДЕЛИ МНОГОАГЕНТНОГО ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА
КОРПОРАТИВНОЙ ПРИКЛАДНОЙ ИТ-ПЛАТФОРМЫ**

**Специальность 2.3.5. Математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей
(технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа — 2023г.

Работа выполнена на кафедре автоматизированных систем управления
ФГБОУ ВО «Уфимского университета науки и технологий»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Куликов Геннадий Григорьевич

Официальные оппоненты:

Бельтюков Анатолий Петрович

доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», заведующий кафедрой теоретических основ
информатики

Соловьев Николай Алексеевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный университет», профессор кафедры программного
обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Защита диссертации состоится 08 декабря 2023 года в 10⁰⁰ часов на заседании
диссертационного совета 24.2.479.07 на базе ФГБОУ ВО «Уфимский университет
науки и технологий» по адресу: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский
университет науки и технологий» и на сайте <https://uust.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



И.Л. Виноградова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Разработка высокотехнологичных изделий в области машиностроения осуществляется в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешнем рынках. Создание отраслевых корпораций: АО «Объединённая двигателестроительная корпорация» (АО «ОДК»), ПАО «Объединённая авиастроительная корпорация» АО «Вертолеты России» и др. – нацелено на консолидацию усилий отдельных предприятий. Как следствие, в отраслях промышленности взят курс на интеграцию и унификацию бизнес-процессов, организационных структур, технологий и используемых программных продуктов, что позволяет объединять географически удаленные конструкторские бюро, серийные заводы, технопарки, подрядчиков и другие предприятия, участвующие в реализации масштабных наукоёмких проектов на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ). Реализация современных проектов, таких как разработка двигателей ПД-14, ПД-35, Изделие 30, происходит в кооперации нескольких опытно-конструкторских бюро (ОКБ) и производственных площадок с применением предметно-ориентированных информационных систем различных классов, интегрированных в единое информационное пространство (ЕИП).

Проект АО «ОДК» М.47 «Развитие системы разработки. Развитие технологии проектирования» решает проблему объединения ЕИП по разным изделиям, интегрируя их в прикладную корпоративную IT-платформу.

В то же время производство инновационной конкурентоспособной продукции и обеспечение условий, необходимых для ее изготовления, требуют от отечественных предприятий перехода к комплексу технологий INDUSTRY 4.0. Их внедрение сопряжено с решением множества актуальных исследовательских задач. В условиях ограниченности ресурсов предприятий требуется привлечение научно-исследовательского потенциала технических вузов при выполнении научно-исследовательских работ (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) в области создания инновационных технологий.

В настоящий момент существует множество форм взаимодействия вузов и предприятий: научно-образовательные центры, технопарки, инжиниринговые центры, базовые кафедры, технополисы и др. Наибольшее распространение получили базовые кафедры, которые используются только как механизм подготовки специалистов без привлечения к решению актуальных отраслевых задач при взаимодействии вуза с предприятием.

Организация данного взаимодействия требует применения цифровой платформы, обеспечивающей коллективную работу специалистов вуза и предприятия, управление и обмен информацией на всех этапах жизненного цикла изделия, внедрение современных технологий по направлениям INDUSTRY 4.0, а также непрерывность повышения интеллектуального капитала путем создания, накопления и применения знаний.

Такие платформы логично создавать с использованием опыта отраслевых корпораций, которые, с одной стороны, научились работать в ЕИП и управлять

знаниями, с другой стороны, выступают поставщиками актуальных задач и потребителями результатов НИР и ОКР.

Таким образом, актуальной становится проблема создания цифрового двойника (ЦД) корпоративной прикладной IT-платформы в составе корпоративной информационной системы (КИС) университета с целью оптимизации процессов комплексного взаимодействия и управления знаниями предприятий и вузов для всех этапов ЖЦ изделия.

Степень разработанности темы исследования. В своей работе автор опирается на труды отечественных и зарубежных ученых в области системного проектирования и построения автоматизированных информационно-управляющих систем: Куликова Г.Г., Речкалова А.В.; в области цифровых двойников: Прохорова А., Вickers Дж., Гривза М. и др.; в области системной инженерии и проектирования архитектуры систем: Зараменских Е.П., Захмана Дж., Зиндера Е.Б., Кудрявцева Д.В. и др.; в области построения и применения цифровых платформ: Гелисханова И.З., Юдиной Т.Н.; в области интеграции научно-образовательной и производственной среды: Заварзина В.И., Ильясова Б.Г., Карамзина А.Г. и др.

Объектом исследования выступает организация единого информационного пространства на всех этапах ЖЦ изделия машиностроительной отрасли.

Предметом исследования являются процессы взаимодействия «вуз – корпорация» при выполнении актуальных задач отрасли с применением цифрового двойника корпоративной прикладной IT-платформы.

Цель работы. Повышение эффективности процессов комплексного территориально-распределенного взаимодействия предприятий и вузов за счёт применения цифрового двойника корпоративной прикладной IT-платформы в составе корпоративной информационной системы университета.

Указанная цель достигается за счёт решения следующих **задач исследования.**

1 Разработать функциональную модель организации и применения ЕИП для комплексного территориально-распределенного взаимодействия вуза и производственного предприятия.

2 Разработать теоретико-множественную модель многоагентного ЦД корпоративной прикладной IT-платформы для разработки сложных наукоёмких объектов.

3 Разработать метод создания и модернизации архитектуры ЦД КИС предприятия, реализующий согласованное развитие ЦД КИС и КИС предприятия.

4 Разработать архитектуру программного комплекса, реализующего методику управления знаниями на основе модельной гипотезы знаний.

Научная новизна

1 Научная новизна функциональной модели организации и применения ЕИП заключается в использовании предложенного ЦД КИС в составе КИС вуза, что позволяет качественно улучшить территориально-распределенное взаи-

модействие вуза и предприятия. Наличие обратных связей обеспечивает устойчивость и управляемость процесса организации ЕИП.

2 Научная новизна теоретико-множественной модели многоагентного ЦД корпоративной прикладной IT-платформы заключается в формализации объектов, составляющих ЦД, что обеспечивает целостность описания и непротиворечивое представление предметной области в аспектах идентифицируемости информационных объектов и их отношений.

3 Научная новизна метода заключается в использовании методологии архитектурного моделирования предприятия The Open Group Architecture Framework (TOGAF) при создании и модернизации архитектуры ЦД КИС предприятия, что обеспечивает управляемость данными процессами и согласованность архитектур ЦД КИС и КИС предприятия.

4 Научная новизна архитектуры программного комплекса управления знаниями заключается в разработанном модуле конструирования и создания рабочих процессов, что обеспечивает его адаптацию под изменения бизнес-процессов.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке метода создания и модернизации архитектуры цифрового двойника КИС предприятия на основе положений теории множеств, теории категорий и методологии TOGAF.

Практическая значимость работы

Разработанные в формате международного стандарта IDEF функциональные (IDEF0) модели описывают традиционный процесс взаимодействия производственного предприятия и университета, детализируют состав выполняемых на данном этапе задач, исполнителей, управление и используемые средства, а также позволяют выявить резервы по повышению эффективности.

Разработанная на основе нотации IDEF0 модель процесса организации и применения ЕИП с применением ЦД КИС и системы управления знаниями (СУЗ) в составе КИС вуза обеспечивает комплексное территориально-распределенное взаимодействие вуза и предприятия в условиях перехода к цифровой экономике.

Разработанная модель (IDEF1X) СУЗ представлена диаграммой «сущность – связь» и отображает взаимосвязь различных типов объектов, их атрибуты, исполнителей операций над выделенными объектами. Разработанная модель служит основой для создания базы данных СУЗ при использовании ЦД корпоративной прикладной IT-платформы в вузе.

Разработанный метод построения ЦД КИС с использованием методологии TOGAF позволяет осуществлять внедрение инновационных технологий в производственную и образовательную среды.

Разработанная СУЗ на основе предложенной архитектуры обеспечивает непрерывность процесса накопления формализованных знаний и минимизацию затрат на сопровождение при эксплуатации ЦД КИС.

Методология и методы исследования

Поставленные в работе задачи решались методами комплексного подхода и структурного анализа процесса проектирования по методологии Structured Analyze and Design Technology (SADT), функционального моделирования (в нотации IDEF0), информационного моделирования (в нотации IDEF1X), методологии TOGAF при разработке и изменении архитектуры ЦД корпоративной прикладной IT-платформы, методологии Business Process Model and Notation (BPMN) для моделирования бизнес-процессов образовательно-производственной среды при разработке новых изделий машиностроения, теории множеств и теории категорий.

Положения, выносимые на защиту:

1 Функциональная модель организации и применения ЕИП для комплексного территориально-распределенного взаимодействия вуза и производственного предприятия.

2 Теоретико-множественная модель многоагентного ЦД корпоративной прикладной IT-платформы для разработки сложных, наукоёмких объектов.

3 Метод создания и модернизации архитектуры цифрового двойника КИС предприятия, реализующий согласованное развитие ЦД КИС и КИС предприятия.

4 Архитектура системы управления знаниями, реализующая методику накопления, проверки и использования формализованных знаний в вузе в условиях импортозамещения.

Достоверность результатов работы обеспечивается корректной постановкой задач и выбором соответствующих методов исследования; практическим применением цифрового двойника корпоративной прикладной IT-платформы, построенного в соответствии с предложенными моделями и методами, при решении актуальных задач в области машиностроения; результатами динамического моделирования, а также экспертной оценкой; апробацией на научных конференциях; публикацией результатов в ведущих рецензируемых научных изданиях, в том числе из Перечня ВАК; актами о внедрении результатов работы в научно-образовательную и производственную среду.

Апробация результатов

Основные положения работы докладывались на VI Всероссийской научной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (г. Уфа, 2018); XIX Международной научной конференции «Управление экономикой: методы, модели, технологии» (г. Уфа, 2019); Всероссийской научно-практической конференции «Станкостроение и инновационное машиностроение. Проблемы и точки роста» (г. Уфа, 2019); V Международной научно-технической конференции «Мавлютовские чтения» (Уфа, 2021).

Разработанный ЦД КИС ПАО «ОДК-УМПО» для этапа проектирования апробирован при решении актуальных задач ПАО «ОДК-УМПО» (автоматизированное формирование технических требований чертежа, автоматизирован-

ное назначение согласующих, автоматизированное формирование замечаний, создание СУЗ и др.); в учебном процессе при преподавании дисциплин «Инженерная графика», «Управление данными и контентом в сложных технических системах», «Архитектура ИС в производстве», «Управление бизнес-процессами предприятия» и др.; выпущено два учебно-методических пособия для подготовки обучающихся по специальностям: 09.05.01– «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения», 24.04.05 – «Двигатели летательных аппаратов», 24.05.02 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»; разработаны программы для Центра дополнительного образования.

Соответствие паспорту специальности. Результаты диссертационной работы соответствуют следующим пунктам паспорта научной специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей: п. 3 «Модели, методы, архитектуры, алгоритмы, языки и программные инструменты организации взаимодействия программ и программных систем»; п. 4 «Интеллектуальные системы машинного обучения, управления базами данных и знаний, инструментальные средства разработки цифровых продуктов».

Публикации по теме исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 работах, в том числе в 4 статьях в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, либо в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI, 10 статьях в других изданиях. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ.

Структура и объём работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 110 наименований и шести приложений. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков, 5 таблиц.

История работы

Работа выполнялась в период 2018–2022 гг. в научном коллективе кафедры АСУ и БК «Информационные технологии в машиностроении» при ПАО «ОДК-УМПО». Разработка темы велась в рамках гранта РФФИ №20-37-90061 «Лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые молодыми учеными, обучающимися в аспирантуре («Аспиранты»)» по теме «Разработка методов и системной модели цифрового двойника отраслевой IT-платформы для распределенного проектирования наукоемких объектов машиностроения (в соответствии с концепцией INDUSTRY 4.0)» (2020–2022 гг.)

Личный вклад автора. Разработка функциональной модели работы производственного предприятия и университета на основе ЦД КИС предприятия и механизма базовой кафедры, метода построения архитектуры ЦД с применением методологии TOGAF, методики использования СУЗ при эксплуатации ЦД КИС предприятия в вузе.

Автор выражает глубокую признательность коллективу кафедры АСУ УУНиТ: Антонову В.В., Куликову Г.Г. и др. Сотрудникам БК «Информационные технологии в машиностроении» при ПАО «ОДК-УМПО» Сапожникову А.Ю., Мавриной А.С. автор выражает благодарность за участие, консультации и поддержку в отдельных этапах исследований, что отмечено в ссылках на совместные труды.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведена краткая характеристика работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится анализ существующего подхода к организации цифровых платформ. Также, были проанализированы понятия ЦД, приводимые в различных источниках, принято определение из Предварительного национального стандарта, где ЦД определяется как «программно-аппаратный комплекс, реализующий комплексную динамическую модель для исследования и управления деятельностью социотехнической системы». Отмечается, что в научной литературе недостаточное внимание уделено проблеме создания цифровых двойников системы, в качестве которой выступает корпоративная прикладная IT-платформа.

Проанализированы различные подходы для построения и описания архитектуры ЦД, входящего в состав архитектуры предприятия. По результатам анализа была выбрана методология TOGAF, которая широко и эффективно применяется для обеспечения подхода к проектированию, планированию, внедрению и управлению архитектурой IT.

Также проведен сравнительный анализ подходов и методов в области управления предметно-ориентированными знаниями. Анализ показал, что использование свободно распространяемого ПО MediaWiki является оптимальным при построении СУЗ для обеспечения процессов накопления, использования и обмена знаниями при выполнении распределенных проектов, НИР и ОКР.

Во второй главе проведена формализация процесса взаимодействия предприятия и вуза на основе методологии SADT. Сформирована функциональная модель, описывающая традиционный процесс взаимодействия вуза и предприятия при выполнении совместных работ, позволила выявить резервы по повышению его эффективности. Отмечена необходимость трансформации данного процесса в организационном и информационно-коммуникационном аспектах.

Разработана функциональная модель организации и использования ЕИП в процессах комплексного территориально-распределенного взаимодействия вуза и предприятия (рисунок 1), использующая механизм базовой кафедры.

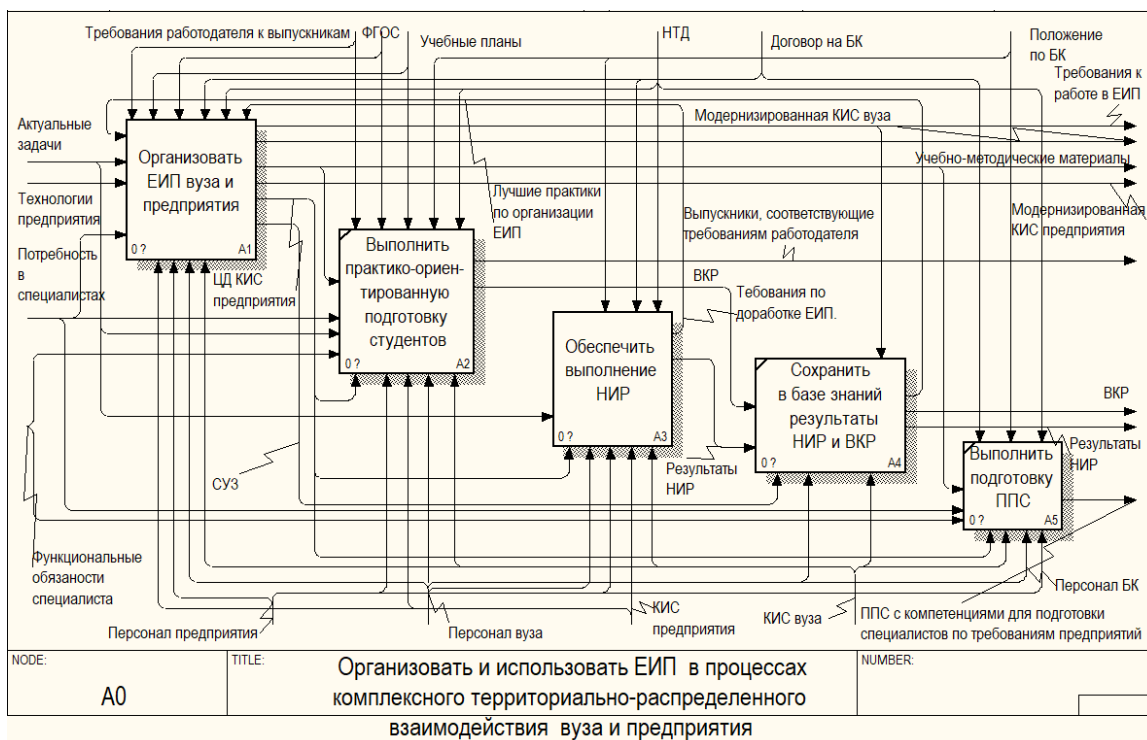


Рисунок 1 – Фрагмент разработанной функциональной модели.

Разработанная модель формализует процесс построения ЦД КИС и области его применения в рамках организации и использования ЕИП. ЦД КИС является ключевым элементом при комплексном территориально-распределенном взаимодействии вуза и предприятия и обеспечивает:

- устранение информационно-коммуникационных барьеров при решении актуальных производственных задач;
- трансфер технологий из производственной среды в научно-образовательную среду;
- выполнение практико-ориентированной подготовки студентов и получение ими необходимых производственных компетенций.

Важным элементом ЕИП является СУЗ, которая обеспечивает накопление знаний и лучших практик, выработанных предприятием и вузом при выполнении совместных проектов. ЦД, по принципу обратной связи, реализует трансфер данных практик из научно-образовательной в производственную среду, что обеспечивает устойчивое развитие ИТ-инфраструктуры отраслевых корпораций.

Третья глава посвящена разработке теоретико-множественной модели ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы и метода создания и модернизации архитектуры цифрового двойника корпоративной прикладной ИТ-платформы.

Корпоративная прикладная ИТ-платформа представляет собой интегрированные информационные системы (ИС) различных классов, охватывающие все этапы ЖЦ продукции в различных аспектах, обеспечивающие информационное взаимодействие большого количества участников рынка и выполняющие функцию консолидации данных. При этом в отраслевых корпорациях раз-

рабатываются и внедряются единые стандарты, методы и методики при работе с цифровой платформой, распространяемые на все дочерние общества (ДО).

Тогда можно записать формулу ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы в следующем виде:

$$ЦД = ЦП \cup ЖЦ \cup ТК$$

где: *ЦП* – множество программных средств, реализующих корпоративную прикладную ИТ-платформу; *ТК* – множество технологий, методов и методик, применяемых в корпорации при работе с ИТ-платформой; *ЖЦ* – стадии жизненного цикла изделия, автоматизированные с применением ИТ-платформы.

В конкретных ДО применяются различные компоненты (классы ИС и технологии) корпоративной прикладной ИТ-платформы в зависимости от этапов ЖЦ изделия и бизнес-процессов, реализуемых в ДО. Данные компоненты представлены в виде КИС предприятия.

Из этого следует, что:

$$КИС \subset ЦП ;$$

$$ТП \subset ТК ;$$

$$ЖЦП \subset ЖЦ ,$$

где *КИС* – множество интегрированных ИС различного класса и аппаратных средств, реализованных на конкретном предприятии; *ТП* – множество технологий, методов и методик, применяемых на предприятии при работе с КИС; *ЖЦП* – бизнес-процессы ЖЦ изделия на предприятии, для которых выполнена автоматизация в КИС.

Отмечено, что построение ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы является итерационным процессом, при этом сформулировано необходимое и достаточное условие существования ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы:

$$ЦД_{\min} = \{ ИС_i, ТП_j, ЖЦП_l \},$$

где $ИС_i \in КИС, i = 1, \dots, k$ – конечное число информационных систем, входящих в КИС предприятия; $ТП_j \in ТП, j = 1, \dots, m$ – конечное число технологий, методов и методик, применяемых на предприятии при работе с $ИС_i$; $ЖЦП_l \in ЖЦП, l = 1, \dots, n$ – конечное число бизнес-процессов жизненного цикла изделия, для которых выполнена автоматизация в $ИС_i$.

При этом можно говорить, что данный ЦД будет являться ЦД элемента КИС определенного предприятия. По мере увеличения областей, в которых реализуются совместные проекты между предприятием и вузом, данный ЦД будет пополняться новым программным обеспечением, технологиями и бизнес-процессами и расширяться до ЦД КИС предприятия. Когда вуз начнет взаимодействовать с различными ДО цифровой двойник КИС превратится в ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы. Стоит отметить, что ЦД КИС предприятия полного жизненного цикла соответствует ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы.

Была предложена системная метамодель цифрового двойника (*СММЦД*) корпоративной прикладной ИТ-платформы, обеспечивающей работу с несколькими предприятиями:

$$СММЦД = \langle \{ ИС_i, ТП_j, ЖЦП_l \}, МО, МП, МБП \rangle,$$

где *МО* – множество отношений между объектами, входящих в ЦД, а также отношений ЦД с внешними объектами; *МП* – множество предикатов и операций, определённых в *СММЦД*; *МБП* – множество бизнес-процессов, реализуемых над объектами в *СММЦД*.

ЦД КИС реализуется в вузе как предметно – ориентированное, слабо – структурированное информационное пространство, отвечающее теории множеств, обеспечивающее поддержку жизненного цикла выпускаемой продукции с использованием различных классов информационных систем, получивших распространение в отраслевой корпорации (рисунок 2).

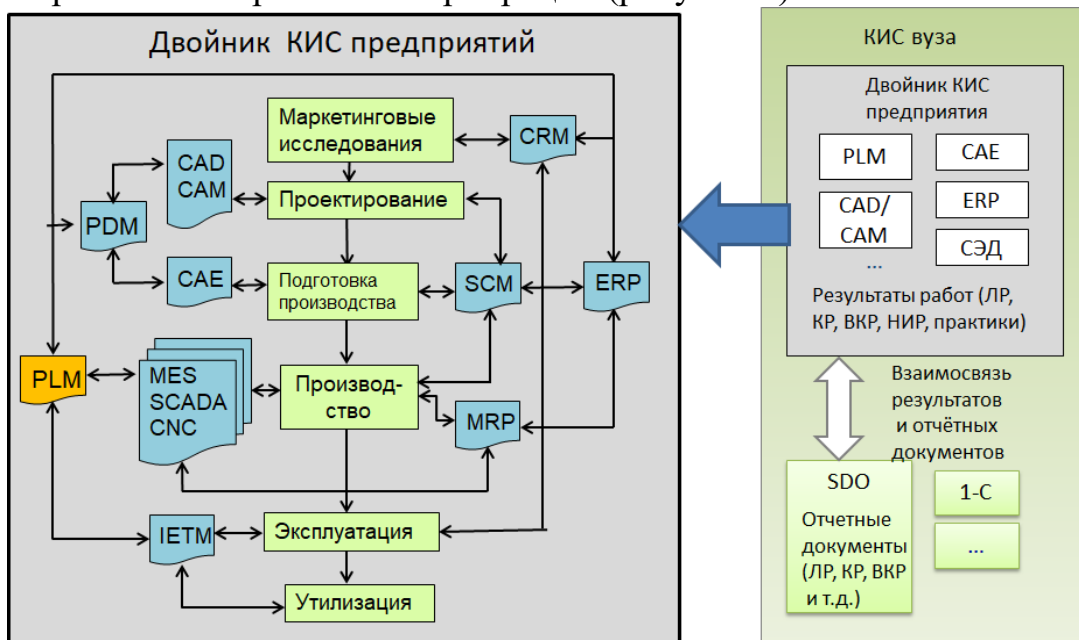


Рисунок 2– Структура ЦД КИС предприятия в составе вуза

Данный двойник будет многоагентным, подчиняется принципу дуальности, отражает формализованное представление реальных и виртуальных объектов и связей образовательной и производственной среды. В качестве агентов выступают производственные коллективы предприятия и научно-образовательные коллективы вузов.

В данной главе, также разработан метод создания и модернизации архитектуры ЦД на основе методологии TOGAF и с применением теории категорий. Согласно предложенному методу текущем и целевом состоянии архитектуры ЦД в (рамках архитектуры предприятия) описывается в четырех доменах: бизнеса, данных, приложений и технологий. Все объекты архитектуры делятся на данные домены, после чего устанавливаются связи между ними.

Введем обозначения:

$bp_b \in BP, b = 1, \dots, p$ - конечное число состояний домена бизнес-процессов;

BP - множество возможных состояний домена бизнес-процессов.

wbp_b - процесс трансформации домена бизнес-процессов из текущего в целевое состояние.

WBP - множество процессов перехода домена бизнес-процессов из текущего в целевое состояние.

Таким образом, процесс перехода домена бизнес-процессов из текущего в целевое состояние может быть представлен функцией FBP отображения $BP \times WBP \rightarrow BP$

$$FBP: BP \times WBP \rightarrow BP,$$

таким образом, $fbp(bp_b, wbp_b)$ будет отождествлять целевое состояние домена бизнес-процессов после выполнения процесса перехода wbp_b и может быть представлено формулой

$$bp_{b+1} = fbp(bp_b, wbp_b), b = 1, \dots, p$$

Таким образом, получаем рекуррентную формулу и множество состояний домена бизнес-процессов, которое образует класс объектов, для каждой пары объектов которого bp_b и bp_m задано множество морфизмов $Hom(bp_b, bp_m)$. Для каждой пары таких морфизмов, например, $g_{bp} \in Hom(bp_b, bp_m)$ и $f_{bp} \in Hom(bp_m, bp_n)$ определена их композиция $g_{bp} \circ f_{bp} \in Hom(bp_b, bp_n)$

Учитывая приведенные выше формулы, можно сделать вывод, что состояния домена бизнес-процессов образуют категорию множеств.

Каждое из множеств состояний доменов приложений, данных, технологий, междоменных связей и связей внутри доменов подчиняются правилам, приведенным для категории множеств состояний домена бизнес-процессов, и являются самостоятельными категориями.

Кроме того, они могут быть объединены в категорию более высокого уровня. В качестве такой категории выступает категория множеств состояний архитектур предприятия:

$$\left. \begin{array}{l} FD : D \times WD \rightarrow D \\ FP : P \times WP \rightarrow P \\ FT : T \times WT \rightarrow T \\ FMS : MS \times WMS \rightarrow MS \\ FVS : VS \times WVS \rightarrow VS \end{array} \right\} \Rightarrow FAP : AP \times ADM \rightarrow AP$$

где D – множество возможных состояний домена данных; WD – множество процессов перехода домена данных из текущего состояния в целевое; FD – функция отображения текущего состояния домена данных в целевое состояние; P – множество возможных состояний домена приложений; WP – множество процессов перехода домена приложений из текущего состояния в целевое; FP – функция отображения текущего состояния домена приложений в целевое состояние; T – множество возможных состояний технологического домена;

на; WT – множество процессов перехода технологического домена из текущего состояния в целевое; FT – функция отображения текущего состояния технологического домена в целевое состояние; MS – множество возможных состояний междоменных связей; WMS – множество процессов перехода междоменных связей из текущего в целевое состояние архитектуры; FMS – функция отображения текущего состояния междоменных связей в целевое состояние; VS – множество возможных состояний связей внутри доменов; WVS – множество процессов перехода связей внутри доменов из текущего в целевое состояние архитектуры; FVS – функция отображения текущего состояния связей внутри доменов в целевое состояние, AP – множество состояний архитектуры предприятия; ADM – множество процессов, реализующихся в рамках ADM метода при переходе архитектуры предприятия из текущего состояния в целевое, FAP – функция отображения текущего состояния архитектуры предприятия в целевое.

При этом применение ADM затрагивает не только ЦД КИС, а также компоненты КИС вуза с которыми интегрирован и взаимосвязан ЦД.

На рисунке 3 приведена мнемосхема цифровой трансформации производственного предприятия и вуза на основе методологии TOGAF с применением ЦД КИС при реализации совместных проектов с привлечением НТЗ вуза.

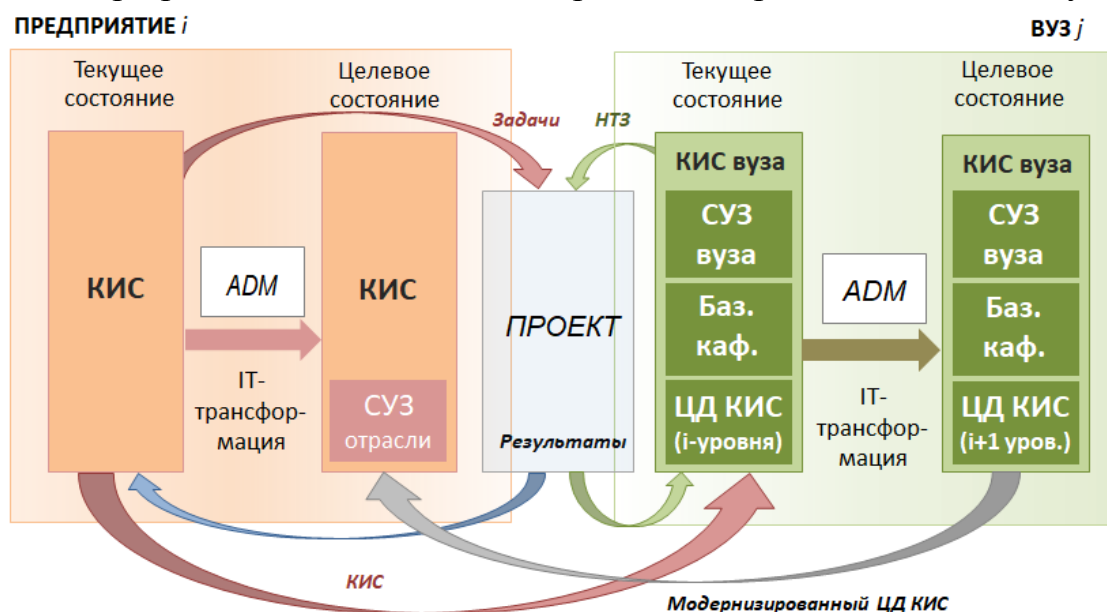


Рисунок 3 – Мнемосхема цифровой трансформации КИС вуза и предприятия с использованием ЦД КИС

Установлены следующие особенности.

Для предприятия выполнение проектов:

- приближает текущее состояние предприятия к целевому;
- обеспечивает появление новых знаний, полученных как в виде результатов проекта, так и в виде ИТЗ вуза;
- модернизация ЦД КИС в университете формирует облик КИС в целевом состоянии предприятия.

Для вуза выполнение проектов:

- требует наличия ЦД КИС в составе университета, является необходимым условием для работы базовых кафедр;
- инициирует модернизацию ЦД КИС, и как следствие, оказывает влияние на IT-трансформацию университета;
- обеспечивает накопление знаний в университете.

Таким образом, применение ЦД КИС в вуз при решении задач по разработке сложных наукоёмких объектов, способствует цифровой трансформации и внедрению технологий INDUSTRY 4.0 с использованием научно-технического задела вуза, обеспечивает развитие реальных секторов экономики и накопления научного потенциала.

Также в 3 главе приводится описание примера ЦД КИС ПАО «ОДК-УМПО», реализованного в составе КИС УГАТУ (ныне УУНиТ). Для первых итераций построения ЦД КИС выбраны процессы выполнения НИР и ОКР, а также подготовки специалистов по требованиям ПАО «ОДК – УМПО». Построение ЦД КИС осуществлялось сотрудниками БК «ИТ в машиностроении» при ПАО «ОДК–УМПО».

Среди достигнутых результатов можно отметить:

- разработка программных модулей – 9;
- выполнено проектов и задач – 14;
- подготовлено групп студентов – 28;
- разработано программ ДПО – 8;
- выполнено ВКР – 9;
- публикация статей – 17 (8 статьи в изданиях из списка ВАК);
- выполнено грантов – 1.

В четвертой главе рассмотрена архитектура программного обеспечения, реализующего методику накопления, проверки и использования формализованных знаний в вузе в условиях импортозамещения.

Использование ЦД при решении предприятием и вузом совместных задач устанавливает ряд требований:

- наличие специалистов по работе в ЦД КИС владеющих технологиями предприятия;
- разработка механизмов выявления неявных знаний;
- повышение информативности документов (использование форматов видео, интерактивных руководств и т.п.);
- сокращение времени изменения документации.

В рамках реинжиниринга процесса сопровождения ЦД КИС, предлагается отказаться от разработки и согласования текстовых документов в пользу электронных статей в СУЗ, содержащих материалы различных форматов.

При этом появление новых знаний имеет место, не только в процессе технической поддержки, но и в любой сфере деятельности, таким образом, в перспективе, СУЗ должна охватывать все бизнес-процессы. Как следствие, в

каждом бизнес-процессе, с применением функционального моделирования, необходимо провести реинжиниринг, для выявления и накопления знаний.

В результате для каждого бизнес-процесса добавляется функция выявления и формализации новых знаний, выходные потоки которой, в дальнейшем могут быть преобразованы в статьи СУЗ.

Для формализации и верификации материалов, используемых при пополнении СУЗ, был разработан алгоритм экспертизы формализованных знаний (рисунок 4).

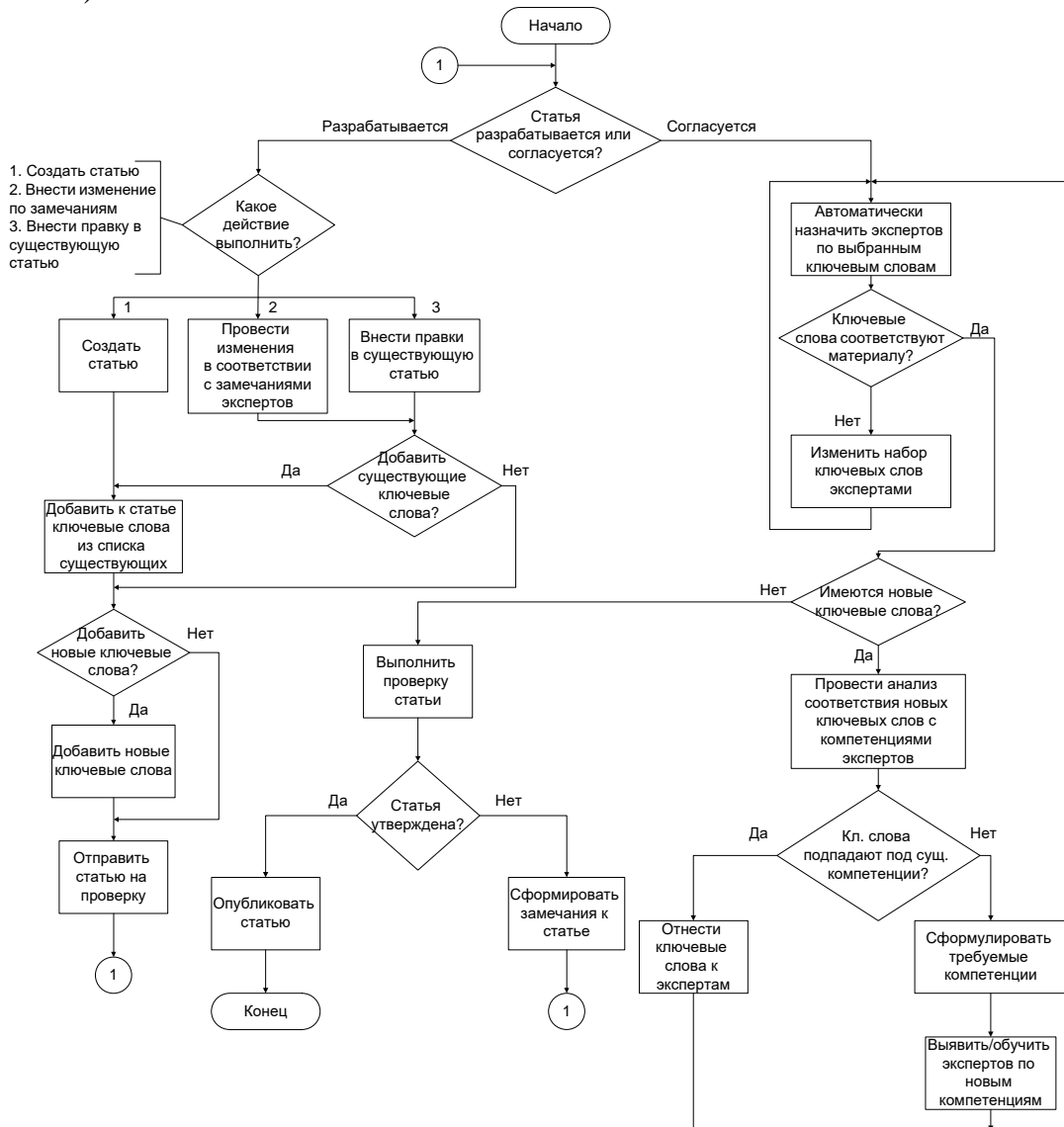


Рисунок 4 – Алгоритм экспертизы формализованных знаний

Особенностью алгоритма является назначение электронным материалам ключевых слов из существующего списка, который формируется как глоссарий в функциональной модели. При согласования статьи происходит автоматический выбор экспертов, связанных с ключевыми словами статьи. Профили экспертов в СУЗ заполняются на основании специализации и участия в различных проектах.

Новые ключевые слова, используются для корректировки разработанных функциональной и информационной моделей, и вносятся в глоссарий.

Таким образом, представленная методика накопления и управления знаниями является универсальной и может быть использована в других направлениях деятельности вуза не связанных с использованием ЦД.

Архитектура программного обеспечения, обеспечивает реализацию методики накопления, проверки и использования формализованных знаний (рисунк 5).

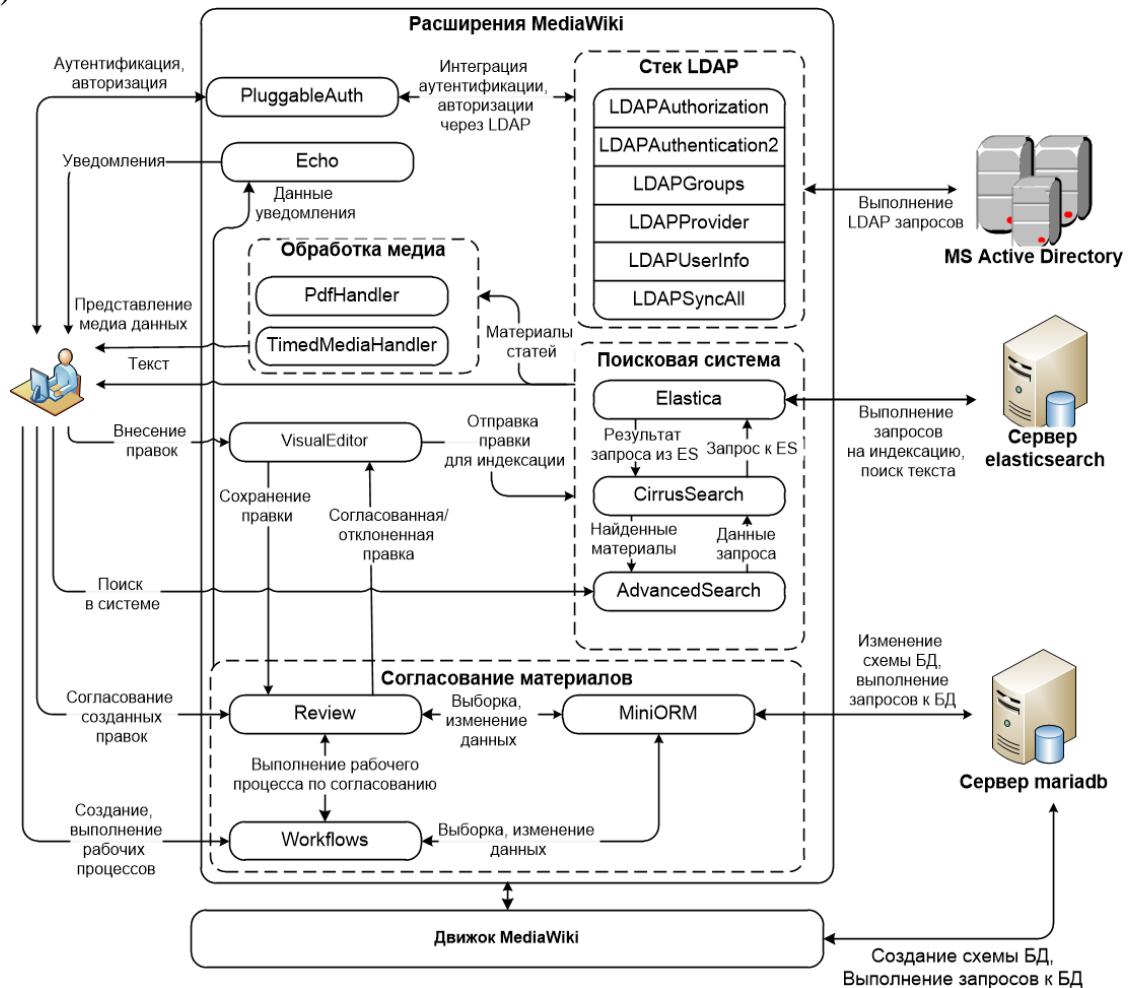


Рисунок 6 – Архитектура программного комплекса управления знаниями

В качестве «ядра» для построения СУЗ было выбрано свободно распространяемое ПО MediaWiki.

В соответствии с архитектурой, был разработан модуль исполнения рабочих процессов «WorkFlow», который позволяет модифицировать алгоритм экспертизы формализованных знаний для любой предметной области.

Также в данной главе выполнен анализ эффективности использования разработанного программного комплекса для процессов технической поддержка пользователей ЦД корпоративной прикладной IT-платформы и изменения документации. Анализ проводился с использованием динамических моделей.

На основе 1000 итераций имитации было выявлено, что время выполнения технической поддержки сократится в 2.5 раз, при актуализации информации в 1,7 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Разработана функциональная модель организации и применения ЕИП, *отличительной* особенностью которой является использование ЦД КИС и СУЗ при комплексном территориально-распределенном взаимодействии вуза и предприятия. Модель *позволяет* устранить информационно-коммуникационные барьеры при решении актуальных производственных задач и при выполнении практико-ориентированной подготовки студентов. Наличие обратных связей в процессах организации и применения ЕИП обеспечивает устойчивость и управляемость данных процессов.

2 Разработана теоретико-множественная модель многоагентного ЦД корпоративной прикладной ИТ-платформы, *отличающаяся тем*, что сформулировано необходимое и достаточное условие его существования, определено применение ЦД в процессе взаимодействия вуза и предприятия, *что позволило* использовать ЦД для решения сложных наукоёмких задач, в том числе с применением технологий INDUSTRY 4.0.

3 Разработан метод создания и модернизации архитектуры ЦД КИС предприятия, *отличающийся тем*, что основан на методологии TOGAF и положениях теории категорий. Метод *позволяет* формировать комплексное описание архитектуры ЦД КИС в текущем и целевом состояниях и обеспечивает согласованное развитие архитектур ЦД КИС и КИС предприятия.

4 Разработана архитектура программного комплекса управления знаниями, *отличающаяся тем*, что содержит программные модули для конструирования и создания рабочих процессов, *что позволяет* реализовать предложенную методику управления знаниями с учетом изменения бизнес-процессов.

Выполнена апробация разработанных моделей и предложенного метода создания и модернизации архитектуры ЦД КИС в рамках комплексного распределенного взаимодействия вуза и предприятия (на примере ФГБОУ ВО «УУНиТ» и ПАО «ОДК-УМПО»). Эффективность разработанных моделей и метода подтверждается объемом работ по решению актуальных задач двигателестроительной отрасли, решению образовательных задач, а также НИР, выполненных на ЦД.

Анализ эффективности использования СУЗ предложенной архитектуры проводился в рамках процесса использования ЦД КИС с применением динамических BPMN-моделей. Анализ показал, что предложенное решение по управлению знаниями снижает временные затраты при оказании технической поддержки пользователей в 2,5 раза, при актуализации информации в 1,7 раза по сравнению с традиционными способами.

Перспективы дальнейшей разработки темы. В рамках дальнейших исследований планируется применение технологий машинного обучения в СУЗ для ее трансформации в экспертную систему.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, либо в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI

1. Куликов Г. Г., Сапожников А. Ю., Кузнецов А. А., Маврина А.С., Загидуллин Д.И. Подход к применению концепции цифровых двойников для трансформации корпоративной информационной системы под требования INDUSTRY 4.0 (на примере создания единого информационного пространства "ВУЗ-предприятие") // Вестник УГАТУ, 2019. Т.23, №4 (86), С. 154-160.
2. Куликов Г.Г., Сапожников А.Ю., Кузнецов А.А., Маврина А.С. Архитектура структуры цифрового двойника интегрированной IT-платформы для распределенного, многовариантного проектирования объектов машиностроения // Вестник УГАТУ 2021. Т. 25. № 2 (92). С. 86-92.
3. Кузнецов А.А., Сапожников А.Ю., Куликов Г.Г., Архитектура информационной подсистемы организации метамодели знаний в предметно – ориентированной проектной области (на примере образовательно-производственной среды). // Вестник УГАТУ, 2022. Т.26, №4 (98), С. 29-39.
4. Кузнецов А.А. Системная метамодель многоагентного цифрового двойника предметно – ориентированной IT-платформы МП –ВУЗ// Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2023. Т.27. № 2 (100). С. 131-138.

Другие публикации по теме диссертации:

5. Кривошеев И.А., Сапожников А.Ю., Кузнецов А.А. Разработка методики сквозного коллективного выполнения курсовых и дипломных проектов при обучении студентов технических вузов в едином информационном пространстве «ВУЗ–ОКБ–серийный завод»// Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. [Электронный ресурс - <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10144>].
6. Маврина А.С., Кузнецов А. А. Пример внедрения PLM-системы на ПАО «ОДК-УМПО» в рамках взаимодействия по проекту ПД-14 // «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (с приглашением зарубежных ученых): труды VI Всероссийской научной конф. 28-31 мая, Том 3, Уфа-Ставрополь, 2018. С.68-71.
7. Kuznecov 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», Bulgaria Issue 5/2018. P.259-261.- ISSN 2534-997X (Online), ISSN 2534-8582 (Print)
8. Kuznecov 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. CSIT'2018 20th Int. Workshop on Computer Science & Information Technologies / Varna, Bulgaria 2018, September 24-27. P.159-161.
9. Куликов Г. Г., Сапожников А. Ю., Кузнецов А. А. Информационно-технологическая модель прикладной цифровой платформы базовой кафед-

ры в наукоемких отраслях промышленности// Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XIX Международной научной конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2019. – С. 282-285.

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

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

12. Сапожников А.Ю., Кузнецов А.А., Маврина А.С., Куликов Г.Г. 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) // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». - 2020. - Т. 20, № 3. - С. 47–56.

13. Сапожников А.Ю., Кузнецов А.А., Маврина А.С., Куликов Г.Г. Подход к формированию виртуальной метаструктуры цифрового проектного двойника корпоративной информационной системы машиностроительного предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. Т. 21. № 2. С. 5-15. DOI: 10.14529/ctcr210201

14. Управление знаниями на примере машиностроительного предприятия и вуза / А.Ю. Сапожников, Г.Г. Куликов, А.А. Кузнецов, М.В. Юрлов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т.22, №2. С.148-157. DOI: 10.14529/ctcr220214

Свидетельства о государственной регистрации программы ЭВМ:

15. Программный комплекс исполнения рабочих процессов для системы управления знаниями: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682138/ Кузнецов А.А., Юрлов М.В., Сапожников А.Ю., Куликов Г.Г., Антонов В.В. – №2022681359; заявл. 08.11.2022, зарег. 18.11.2022.

Диссертант



Кузнецов А.А.