

УДК 004.853

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. Куликов¹, А. Ю. Сапожников^{2, 3}, А. А. Кузнецов³,
А. С. Маврина⁴, Д. И. Загидуллин⁵

¹gennadyg_98@yahoo.com, ²axl_mail_box@mail.ru, ³kuznecovopkr@gmail.com,
⁴nytk_008@mail.ru, ⁵dima.zagidullin.2017@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 05.11.2019

Аннотация. Исследуется возможный подход к эффективной трансформации существующих корпоративных информационных систем (КИС) машиностроительных предприятий (МП) под требованиями надвигающейся четвертой промышленной революции Industry 4.0 с позиций обеспечения непрерывного взаимодействия высококвалифицированных специалистов и студентов. Предлагается подход к формированию предметно-ориентированных цифровых (виртуальных) двойников из состава корпоративной информационной системы предприятия, интегрированных с информационной средой технического вуза. Рассматриваются роль базовой кафедры при системном взаимодействии вуза и предприятия, а также примеры исследовательских задач для подготовки студентов IT-специальностей.

Ключевые слова: цифровой двойник; КИС; PLM-система; CAD/CAM/CAE/ERP; компетенции специалистов; базовая кафедра; ЕИП; управление данными.

ВВЕДЕНИЕ

Объективная последовательность трех промышленных революций создала предпосылки к четвертой: «индустриальной революции 4.0» (Industry 4.0) [2]. По мере развития промышленной компьютеризации и роста количества цифровой информации открылась возможность создавать системные цифровые модели реальных систем в соответствии с принципами кибернетики и методами системной инженерии [1]. Сегодня такие модели можно определить как предметно-ориентированные цифровые двойники (Digital Twins).

Базовая концепция такого обобщения основана на мониторинге физического объекта как реальной системы и осуществлении на

основе замкнутого цикла информационного обмена между ним и его виртуальной моделью (цифровым двойником). В теории управления этой концепции соответствует математическая теория идентификации.

Данный системно-кибернетический подход определяет и парадигму «индустриальной революции 4.0», где формируется следующий методологический базис проблемных задач [4].

1. Product Lifecycle Management (PLM) – управление жизненным циклом изделия.
2. Big Data – большие данные.
3. SMART Factory – интеллектуальный завод.
4. Cyber-physical Systems – киберфизические системы.

5. Internet of Things (IoT) – интернет вещей.

6. Interoperability – интероперабельность (функциональная совместимость).

АСПЕКТНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Анализ существующих организационно-функциональных методов управления производственной деятельностью МП и поддерживающих их КИС показывает, что для проектирования современных наукоемких изделий необходим труд большого числа инженеров различных специальностей. Стала трендом коллективная работа над проектами в междисциплинарных командах, в том числе территориально удаленных. Это требует владения передовыми технологиями и инструментами, которые нужно формировать со студенчества.

В то же время в вузах до сих пор наблюдается слабоструктурированная кооперация между кафедрами, использование устаревших подходов и технологий в учебном процессе, темы многих выпускных квалификационных работ не представляют интерес для заводов или ОКБ. Выполнение НИР и работ по междисциплинарным темам в вузе затруднено в связи с отсутствием единой среды разработки. Необходима организация единого информационного пространства (ЕИП), создание и накопление базы курсовых и дипломных проектов, возможность использования достигнутых результатов в последующих работах студентов [8].

В этом смысле вузам логично использовать опыт крупных предприятий, которые, с одной стороны, уже преодолели большинство проблем, связанных с коммуникативными барьерами, хранением и обменом данными, созданием необходимых баз знаний, работой в ЕИП, а с другой стороны, выступают работодателями, требуя для себя максимально адаптированных выпускников.

Корпоративную информационную систему (КИС) предприятий полного цикла составляют автоматизированные информационные системы различных классов. Они

ориентированы на взаимоотношения с поставщиками (CRM), предназначены для проектирования и изготовления изделий (CAD/CAE/CAM), обеспечивают поддержку этапа эксплуатации изделий (IETR), планирование ресурсов (ERP), коллективную работу и обмен данными (PLM) и т.д. [3].

Непосредственное взаимодействие с этими информационными системами у студентов происходит слишком поздно, как правило, на производственной и преддипломной практике. За незначительный промежуток времени им необходимо изучить новые технологии, получить навыки работы в незнакомых информационных системах и успеть выполнить дипломную работу.

Построение в вузе цифровых двойников КИС предприятия и его использование в обучающем процессе на более ранних этапах позволит повысить качество обучения, обеспечит возможность выполнения междисциплинарных работ в команде. Важная роль при этом отводится базовым кафедрам, в состав которых входят работники от предприятия.

ПРИНЦИП ДОСТАТОЧНОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОБЛАСТИ

Отметим, что представленная выше логика повышения эффективности образовательной деятельности требует дальнейшей структурной и параметрической формализации с применением соответствующих формализованных языков типа IDEF, UML, OWL или непосредственно входных языков IT-систем [9].

На рис. 1 приведен фрагмент функциональной модели взаимодействия вуза и предприятия при обучении студентов с участием базовых кафедр. Сотрудники базовой кафедры разрабатывают дополнительные модули, составляющие «учебную программу базовой кафедры», согласованную с учебными программами вуза, создают учебно-методические материалы. Цифровой двойник КИС входит на данном уровне decomposition в состав дуги «ПО в вузе».

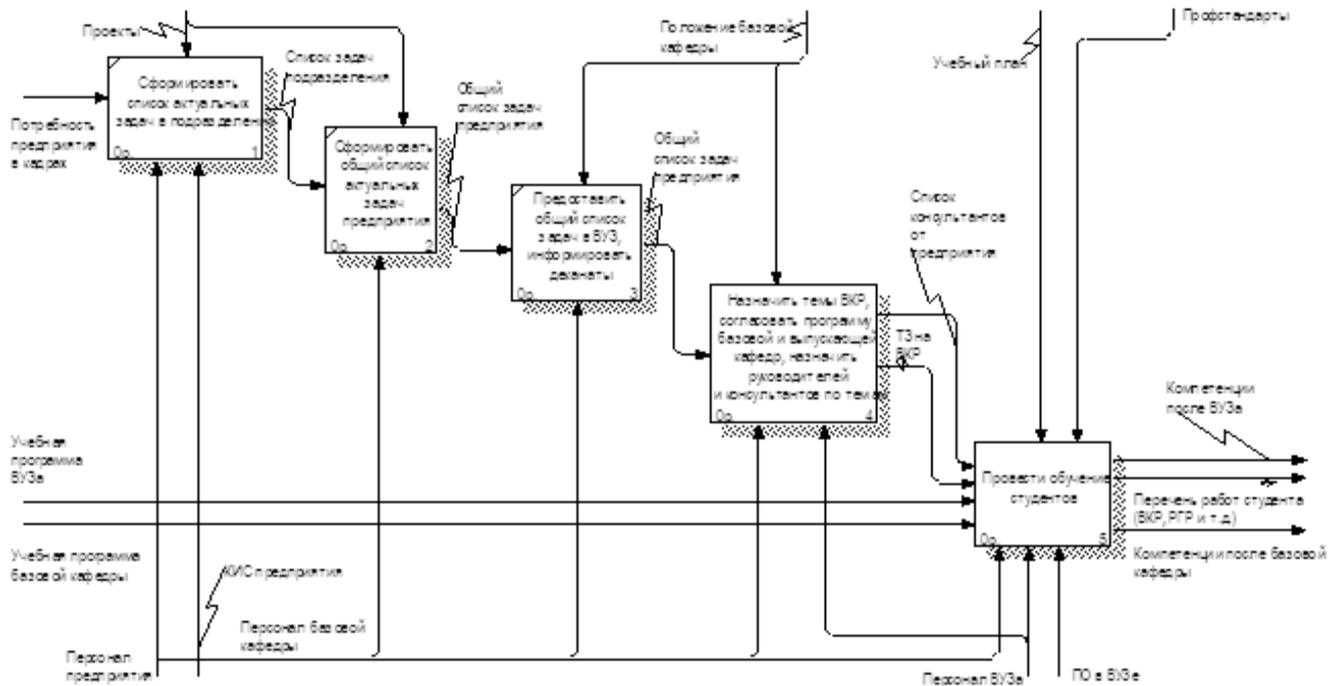


Рис. 1. Роль базовой кафедры при подготовке студентов вуза

Используя реестр примерных основных образовательных программ (ПООП), вуз составляет учебные планы на разные ступени образования: бакалавр, специалитет, магистратура, аспирантура, дополнительное профессиональное образование и др. На рис. 2 показаны модули программы базовых кафедр, ориентированные на определенную специальность и профессию, а так-

же состав цифрового двойника КИС предприятия полного цикла.

Таким образом, студенты получают возможность работать в современных информационных системах в составе цифрового двойника КИС, используя его в цикле практических и лабораторных работ, при выполнении курсовых работ по различным дисциплинам, например, как показано в [5, 6].

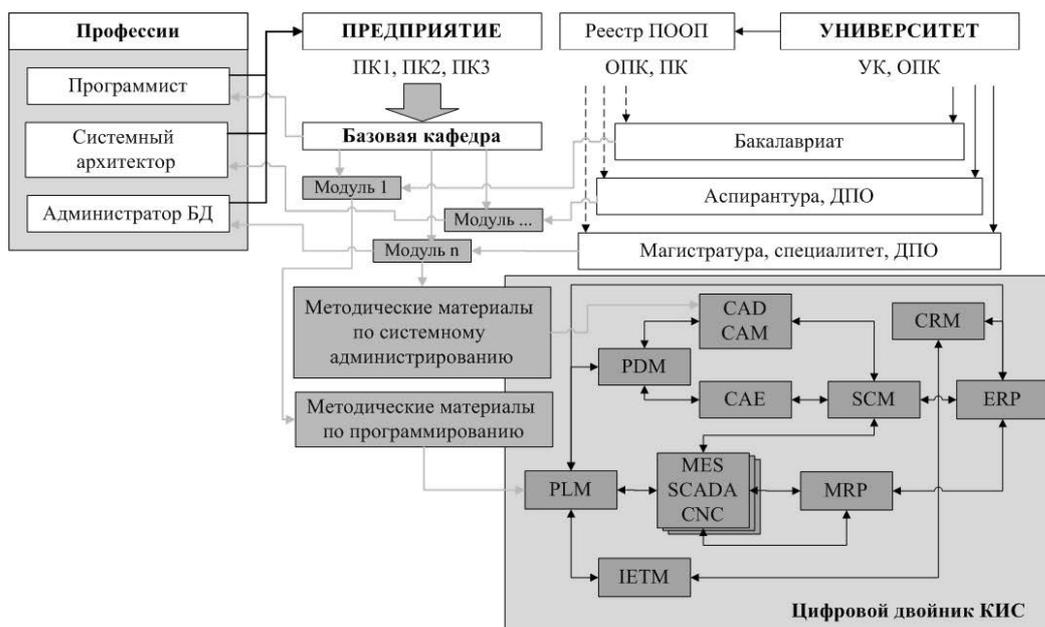


Рис. 2. Использование двойника КИС при подготовке выпускников по требованиям предприятия

ДОСТУПНЫЕ КРОССПЛАТФОРМЕННЫЕ ИТ-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Процесс построения цифровых двойников КИС предъявляет к вузам следующие требования:

- наличие серверной и клиентской аппаратной частей, отвечающих требованиям цифрового двойника КИС;
- наличие современной сетевой инфраструктуры, позволяющей осуществлять доступ к цифровому двойнику КИС как из стен вуза (Intranet), так и находясь за его пределами (Internet);
- наличие квалифицированного персонала способного не только развернуть и поддерживать цифровой двойник КИС, но и консультировать обучающихся по работе в нем, обеспечивать необходимую техподдержку;

– наличие информационных площадок и платформ (такие как информационные системы управления знаниями, Web-портал и др.), позволяющих предприятиям и вузам обмениваться разнородной информацией.

В качестве информации, размещенной на информационных площадках, может выступать:

- список актуальных задач для предприятий;
- лучшие практики, разработанные вузом;
- успеваемость студентов;
- размещение отзывов от руководителей с предприятий после прохождения практик;
- техническая документация, в том числе по работе с двойником КИС и др.

На рис. 3 приведена схема взаимодействия участников образовательно-производственной среды с учетом вышеперечисленных информационных потоков [7].

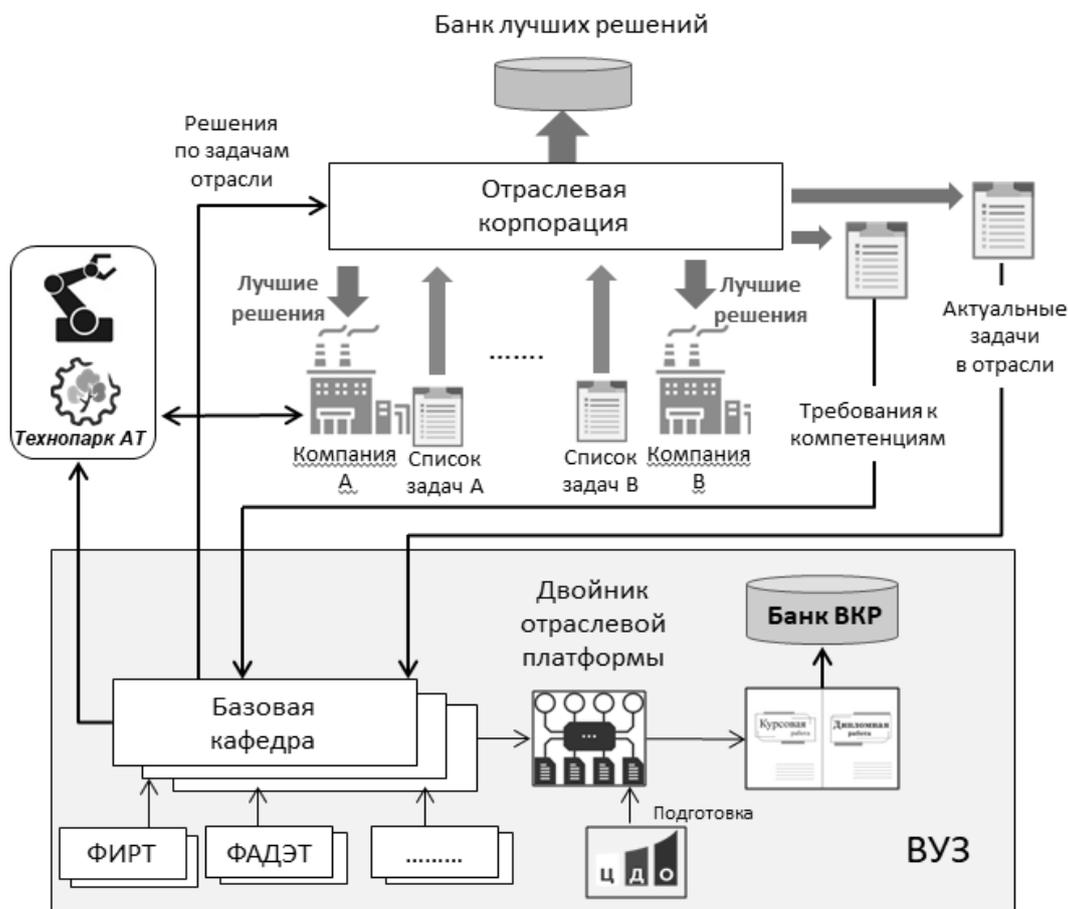


Рис. 3. Схема взаимодействия участников образовательно-производственной среды

Рассмотрим примеры задач, которые могут решаться студентами IT-специальностей с использованием цифрового двойника КИС.

Ввиду перехода предприятий на электронный документооборот все более становится актуальной задача автоматизированного нормоконтроля проектной, технологической документации. Проектирование изделий и управление данными происходит с участием CAD/CAM/CAE/PLM-систем.

Так как задачи, стоящие перед предприятиями, со временем могут существенно меняться, многие PLM-системы обладают встроенными библиотеками (API). API позволяют работать с PLM-системой, программисты могут создавать собственные приложения, минусом является лишь отсутствие в них собственного языка программирования. Обычно в PLM-системах для написания модулей используются настраиваемые среды программирования (IDE) и разрешенные языки программирования.

Для примера рассмотрим PLM-систему Teamcenter. Для написания модулей под нее используется один из возможных языков программирования – это C++ [10], Java [11] или др., а также настраивается доступная среда программирования, например, IDE Eclipse, под настройкой понимается подключение встроенных библиотек к проекту и настройка платформы (интеграция IDE и Teamcenter).

Таким образом, для студентов IT-специальностей постановка одной из задач может быть следующей: разработать плагин в PLM-системе Teamcenter для автоматизированного нормоконтроля атрибутов объекта (модели, чертежа или документации). Модуль должен быть написан на языке Java, используя среду программирования Eclipse и дополнительные библиотеки PLM-системы (API). Разработанный модуль должен быть легко дополняемым для расширения функциональности проверок.

На рис. 4–5 показан результат работ созданных плагинов по выявлению ошибок указания массы детали, заполнения обязательного атрибута «Обозначение».

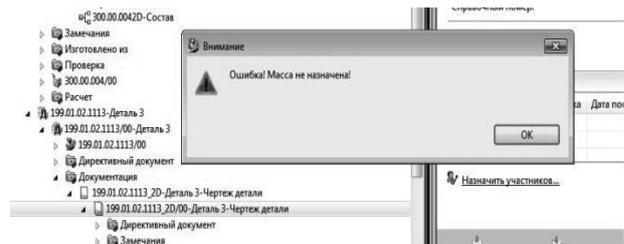


Рис. 4. Ошибка соответствия массы детали

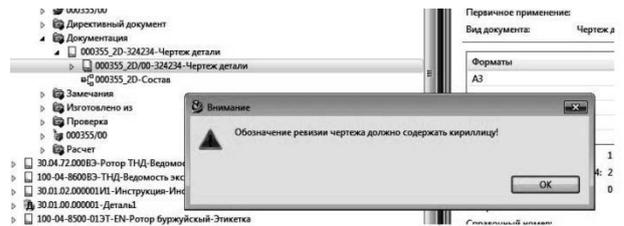


Рис. 5. Ошибка заполнения поля «Обозначение»

Последующая задача для студентов формулируется в виде: «доработать существующий плагин, дополнив его проверкой на...». При выполнении данного задания студенты знакомятся с PLM-системой, получают компетенции в областях, касающихся работы с IDE, новыми языками программирования, использованием API.

Другой пример связан с работой предприятий в кооперации, когда в среде Teamcenter MultiSite Collaboration осуществляется обмен инженерными данными. Например, в результате обмена данными есть вероятность, что объект может отображаться на сервере предприятия-адресата некорректно, ведь порой за раз передаются десятки, а то и сотни объектов. И задача автоматической проверки на корректность передачи данных становится очень важной.

В этом случае необходимо создать автоматизированную проверку на корректность полученных объектов. Данная проверка также реализуется на языке Java с использованием Eclipse и дополнительных библиотек API Teamcenter.

Используя цифровой двойник КИС, студенты IT-специальностей реализуют проверки, связанные с назначением проектов, наборами данных, наличием необходимых ссылок между объектами целостностью принятых объектов и т.д.

Аналогичным образом могут решаться задачи, связанные с различными САПР и информационными системами других классов. На рис. 6 приведен результат проверки в САПР NX на скрытые объекты в составе 3D-модели.

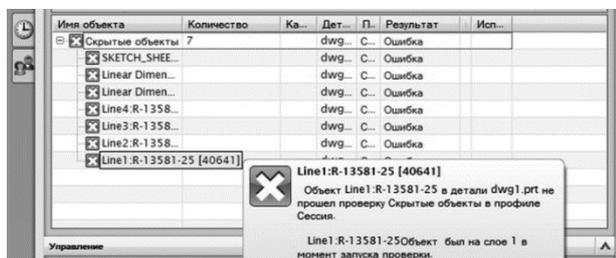


Рис. 6. Сообщение о проверке на скрытые объекты в NX

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение цифрового двойника КИС с предприятий в учебное заведение позволяет факультетам, преподавателям синхронизировать теоретическую и практическую часть обучения, способствует развитию единого информационного пространства в вузе, делает возможным переход на сквозное курсовое компьютерное проектирование при подготовке студентов.

Данное решение является комплексным для вуза, пригодно для использования в образовательной, научно-исследовательской, коммерческой деятельности.

Кроме того, будут достигнуты следующие положительные результаты:

- востребованность работодателем студентов вузов;
- повышение качества образования и компетенций выпускников;
- наличие единой информационной среды для коллективного междисциплинарного взаимодействия в вузе;
- среда для управления базой знаний в виде курсовых и дипломных работ;
- повышение рейтинга вуза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005.** Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. М.: Стандартинформ, 2006. 58 с. [*Information technology. System engineering. System life cycle processes*, (in Russian), Federal Standart R ISO / IEC 15288-2005, Moscow: Standartinform, 2006.]
2. **Липкин Е.** Индустрия 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции. М.: ООО

«Остек-СМТ», 2017. 224 с. [Е. Lipkin, *Industry 4.0: Smart technologies are a key element in industrial competition*, (in Russian). Moscow: ООО “Ostek-SMT”, 2017.]

3. **Интеграция** данных об изделии на основе ИПИ/CALS-технологий: учеб. пособие: в 2 ч. / А. Ф. Колчин и др. Межотраслевой регион. Центр повышения квалификации в области CALS-технологий. М., 2002. Ч. 1. – 173 с.; Ч. 2. – 223 с. [А. Ф. Kolchin, et. al., *Integration of product data based on IPI / CALS-technologies: textbook*, (in Russian). Moscow, Mezhotraslevoj region. Centr povysheniya kvalifikacii v oblasti CALS-tekhnologij, 2002.]

4. **Фролов Е. Б., Климов А. С., Зин Мин Хтун.** Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории MES // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 12 (73). С. 66–73. [Е. В. Frolov, A. S. Klimov, Zin Min Htun, “Digital twin of production system based on software of MES category”, (in Russian), in *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 12 (73), pp. 66-73, 2018.]

5. **Архитектура КИС.** Виртуальная платформа. Развертывание (инсталляция) PLM-системы: лабораторный практикум по дисциплине «Корпоративные информационные системы» // А. Ю. Сапожников и др. Под общим методическим руководством проф. Г. Г. Куликова. Уфа: РИК УГАТУ, 2019. 96 с. [А. Yu. Sapozhnikov, et. al., *KIS architecture. Virtual platform. Deployment (installation) of PLM systems: laboratory practice in the discipline "Corporate Information Systems"*, (in Russian). Ufa: RIK, 2019.]

6. **Ахмедзянов Д. А., Сапожников А. Ю., Кузнецов А. А.** Размещение графической и текстовой информации в PLM-системе Teamcenter при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ, а также при изучении дисциплин «Управление данными об изделии в PLM-системе Teamcenter», «Информационные технологии и проектирование АД и ЭУ». УГАТУ. Уфа: РИК УГАТУ, 2019. 38 с. [D. A. Akhmedzyanov, A. Yu. Sapozhnikov, A. A. Kuznetsov, *Placing graphic and textual information in the Teamcenter PLM-system during term and graduation qualification works, as well as in the study of disciplines "Product Data Management in Teamcenter PLM-System", "Information Technologies and AD and EI Design"*, (in Russian). Ufa: RIK UGATU, 2019.]

7. **Куликов Г. Г., Сапожников А. Ю., Кузнецов А. А.** Информационно-технологическая модель прикладной цифровой платформы базовой кафедры 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. [G. G. Kulikov, A. Yu. Sapozhnikov, A. A. Kuznetsov, “Information and technological model of the applied digital platform of the base department in high technology industries”, in *Upravlenie ekonomikoj: metody, modeli, tekhnologii: materialy XIX Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*, pp. 282-285, 2019.]

8. **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]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10144>. [I. A. Krivosheev, A. Yu. Sapozhnikov, A. A. Kuznetsov, “Development of a methodology for end-to-end collective implementation of coursework and diploma projects for

teaching students of technical universities in a single information space "University - Design Bureau - serial plant", (in Russian), in *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, no. 5, 2013. Available: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10144>.]

9. **Калянов Г. Н.** CASE-технологии. Консалтинг в автоматизации бизнес-процессов. 3-е изд. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 320 с.: ил. [G. N. Kalyanov, *CASE-technology. Consulting in the automation of business processes*, (in Russian). Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2002.]

10. **Страуструп Б.** Программирование: принципы и практика использования C++. Пер. с англ. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2011. 1248 с.: ил. [B. Strastrup, *Programming: principles and practice of using C ++*. Moscow: ООО "I. D. Vil'yams", 2011.]

11. **Parlog N.** The Java Module System. "Manning Publications", 2019. 440 p.

ОБ АВТОРАХ

КУЛИКОВ Геннадий Григорьевич, проф. каф. автоматизированные системы управления. Дипл. инж. автоматизац. машиностр-я (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по сист. анализу, автоматич. управлению и тепл. двигателям (УАИ, 1989). Иссл. в обл. АСУ и упр. силовыми установками ЛА.

САПОЖНИКОВ Алексей Юрьевич, доц. каф. ИТ в машиностроении. Дипл. инженер (УГАТУ, 2000). Канд. техн. наук по спец. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. автоматизации проектирования, САПР, инф. технологии, управление данными.

КУЗНЕЦОВ Александр Андреевич, аспирант каф. автоматизированные системы управления. Дипл. инж. (УГАТУ, 2008). Иссл. в области информационных технологий и управления данными.

МАВРИНА Анна Сергеевна, аспирант каф. автоматизации технол. процессов, Дипл. инж. (УГАТУ, 2013). Иссл. в области СППР на этапе проведения ОКР в ЕИП машиностроительного предприятия.

ЗАГИДУЛЛИН, Дмитрий Ильгизович, магистр каф. автоматизированные системы управления. Бакалавр (УГАТУ, 2018). Иссл. в обл. программирования и управления данными.

METADATA

Title: Software Implementation of the expert system functions to control of design documentation in UIS engineering enterprises.

Authors: G. G. Kulikov¹, A. Yu. Sapozhnikov², A. A. Kuznetsov³, A. S. Mavrina⁴, D. I. Zagidullin⁵

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹gennadyg_98@yahoo.com, ²axl_mail_box@mail.ru, ³kuznecovopkr@gmail.com, ⁴nytka_008@mail.ru, ⁵dima.zagidullin.2017@mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 23, no. 4 (86), pp. 154-160, 2019. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: This article explores a possible approach to the effective transformation of existing corporate information systems (CIS) of machine-building enterprises (MP) in accordance with requirements of the impending fourth industrial revolution Industry 4.0 from the standpoint of ensuring the continuous interaction of highly qualified specialists and students. An approach to the formation of subject-oriented digital (virtual) twins from the corporate information system of the enterprise, which should be integrated with the information environment of a technical university, is proposed. The roles of the basic department at the systemic interaction of the university and the enterprise, as well as examples of research problems for preparing IT-specialties students are examined.

Key words: digital twin; corporate information systems (CIS); PLM-system; CAD/CAM/CAE/ERP; competence of specialists; basic department; EIP; data management.

About authors:

KULIKOV, Gennady Grigorievich, Prof. of Dept. of automated control systems, Dipl. engineer (UAI, 1971), Dr. of Tech. Sci. (UAI, 1989).

SAPOZHNIKOV, Alexey Yurievich, Dept. of IT in mechanical engineering, Dipl. engineer (USATU, 2000), Cand. of Tech. (USATU, 2012).

KUZNETSOV, Alexander Andreevich, post-graduate student of the department of automated control systems, Dipl. Engineer (USATU, 2008)

MAVRINA, Anna Sergeevna, post-graduate student of Dept. of Automation of technological processes, Dipl. engineer (USATU, 2013).

ZAGIDULLIN, Dmitry Ilgizovich, master student of Dept. of automated control systems, Dipl. undergraduate degree (USATU, 2018).