

УДК 004

**АРХИТЕКТУРА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ОБУЧЕНИЯ**

© Авторы, 2018

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2018

**А.Н. Афанасьев**

д.т.н., профессор, первый проректор-проректор по ДиДО, Ульяновский государственный технический университет

E-mail: [a.afanasev@ulstu.ru](mailto:a.afanasev@ulstu.ru)

**Н.Н. Войт**

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительная техника», Ульяновский государственный технический университет

E-mail: [n.voit@ulstu.ru](mailto:n.voit@ulstu.ru)

**Д.С. Канев**

к.т.н., Ульяновский государственный технический университет

E-mail: [dima.kanev@gmail.com](mailto:dima.kanev@gmail.com)

**С.Ю. Кириллов**

аспирант 2-го года обучения, Ульяновский государственный технический университет

E-mail: [kirillovsyu@gmail.com](mailto:kirillovsyu@gmail.com)

**В.А. Гульшин**

к.т.н., доцент, доцент каф. «Радиотехника», Ульяновский  
государственный технический университет

E-mail: vgulshin@yandex.ru

**Аннотация.** В работе авторами выполнен анализ систем проектирования и обучения крупных промышленных предприятий и их взаимодействие, предложена архитектура, математическое и программно-информационное обеспечение комплексной системы проектирования и обучения, а также приведены бизнес-эффекты от внедрения предложенного комплекса систем.

**Annotation.** The authors analyzed the systems of design and training of large industrial enterprises and their interaction, proposed architecture, mathematical and software-information support of the complex system of design and training, as well as the business effects of the implementation of the proposed complex of systems.

#### **Расширенный реферат**

Создание эффективных интеллектуальных комплексных систем автоматизации проектирования сложных технических объектов и обучения является фундаментальной научно-технической проблемой, при разработке которых основным направлением является интеллектуализация, представленная в виде адаптивного подхода (с обратной связью) или в виде экспертного подхода (рекомендательных систем). Как правило системы обучения направлены на индивидуализацию процесса обучения, их важной составляющей является виртуальное окружение в виде тренажерных систем, виртуальных миров, включающих виртуальные рабочие места, участки, цеха предприятия.

В работе авторами выполнен анализ систем проектирования и обучения в условиях крупных промышленных предприятий, взаимодействие их компонентов. Предложена архитектура, математическое и программно-информационное обеспечение комплексной системы проектирования и обучения. Приведены бизнес-эффекты от внедрения предложен-

ного комплекса систем. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152. Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6.

The creation of effective intelligent complex systems of automation of complex technical objects design and training is a fundamental scientific and technical problem, in the development of which the main direction is intellectualization, presented in the form of an adaptive approach (with feedback) or in the form of an expert approach (recommendation systems). As a rule, training systems are aimed at individualization of the learning process, their important component is a virtual environment in the form of training systems, virtual worlds, including virtual workplaces, sites, workshops of the enterprise.

In this paper, the authors analyzed the design and training systems in large industrial enterprises, the interaction of their components. The architecture, mathematical and software-information support of complex system of design and training is offered. The business effects of the introduction of the proposed complex of systems are presented.

The reported study was funded by RFBR and Government of Ulyanovsk Region according to the research project No. 16-47-732152. The research is supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No. 2.1615.2017/4.6.

**Ключевые слова:** комплексная система проектирования и обучения, экспертные обучающие системы, предприятия, онтологии, проектные репозитории, интеллектуальная шина данных.

**Key words:** comprehensive design and training system, expert training systems, enterprises, ontologies, project repositories, intelligent database.

## Введение

В современном мире любое крупное предприятие, требует ускорения конструкторско-технологической подготовки производства для скорейшего вывода продукта на рынок, улучшения качества выпускаемой продукции и снижения себестоимости изготовления. Сегодня невозможно выполнить эти требования без внедрения технологии сквозного проектирования, которое основано на автоматизации этапов проектирования технической документации, систем управления проектами, электронного документооборота и организации единого информационного пространства. Для решения данных проблем разрабатывается много программных продуктов (CAD\CAE, CAM\CAPP, PDM\PLM и ERP системы). Повышение производительности процесса согласования конструкторской и технологической документации основано на создании потоков работ. Внедрение на предприятии технологии потоков работ позволяет формализовать структуру и последовательность процедур прохождения документации. В настоящее время, практически у каждого производителя PLM-системы содержится встроенный блок управления потоками работ, который предназначен для моделирования рабочих процессов и автоматизации управления потоками заданий. Однако, системы управления жизненным циклом продуктов не всегда отвечают потребностям многих крупных предприятий. Поток работ в PLM-системах часто слишком тесно связан с потоком информации и с малой гибкостью для принятия альтернативных решений в

режиме реального времени. Эти факторы всегда приводят к чрезмерно продолжительным и дорогостоящим циклам внедрения workflow-систем, реинжиниринга процессов и реконфигурирования системы. Процессы реинжиниринга не только медленные и дорогостоящие, но часто и невозможные. Большинство workflow-систем позволяют моделировать потоки работ, но в них отсутствуют эффективные методы верификации диаграмматических моделей потоков работ и связанных с ними семантическими составляющими в виде текстов и программных модулей.

В плане интеллектуальных комплексных систем обучения в настоящий момент основным направлением является создание адаптивных систем обучения, направленных на индивидуализацию процесса обучения. Однако современные обучающие системы не учитывают специфику обучения проектной деятельности, отсутствует интеграция таких систем с пакетами САПР и проектными репозиториями, не проводится оценка проектной деятельности проектировщиков. Важной составляющей современных обучающих систем является виртуальное окружение в виде тренажерных систем, виртуальных миров, включающих виртуальные рабочие места, участки, цеха и предприятия в целом. Однако в таких средах не автоматизированы процессы оценки действий обучаемых.

Таким образом необходимо решение крупной научно-технической проблемы, связанной с разработкой архитектуры, математического и программно-информационного обеспечения интеллектуальных комплексов, составляющих

основу функционирования САПР и организации обучения в условия промышленного предприятия. Целью работы является уменьшение ошибок проектирования сложных изделий машиностроения, повышение качества проектных решений, в том числе за счет повышения эффективности обучения проектировщиков и повторного использования результатов проектирования.

### **Анализ современных архитектурных решений организации комплексных систем проектирования и обучения**

Современные САПР включают в себя несколько взаимосвязанных компонентов. Прежде всего, это средства для проектирования конструкторской документации CAD (ComputerAidedDesigned) и средства инженерного расчета CAE (ComputerAidedEngineering). Типичными представителями CAD\CAE систем для российского рынка являются Компас-3D, T-FlexCAD, T-FLEX Анализ, Solidworks, AltiumDesigner, AutodeskSimulation, UnigraphicsNXCAE и пр. Несколько иными являются средства для проектирования технологической документации, которые включают в себя средства автоматизированной разработки техпроцессов CAPP (ComputerAidedProductionPlanning) и средства автоматизированного производства – CAM (ComputerAidedMechanical). Типичными представителями CAPP систем для российского рынка являются Вертикаль, T-FLEX Технология, ADEM TDM, SprutTP и пр., а CAM систем - UnigraphicsNX, SiemensNX, CAM350 и пр. PDM-системы (Product Lifecycle Management) выступают в качестве единого информационного пространства, в котором хранится разрабо-

танная техническая документация и электронная структура изделия. Технология PDM позволяет управлять структурой изделия и проектами, автоматизировать получение отчетов, организовать многопользовательский доступ к документам в режиме реального времени. PLM-системы (Product Data Management) представляют технологию управления жизненным циклом изделий. Это программное решение, которое управляет инженерными данными и информацией об изделии, а также обеспечивает управление всеми связанными с изделием процессами на всем протяжении жизненного цикла, начиная от проектирования и производства до завершения эксплуатации. В настоящее время разработано немало таких систем как российского, так и зарубежного производства: Лоцман-PLM, T-Flex-PLM, Siemens-PLM, LotsiaPLM и пр. Подобные PLM-системы очень эффективны для сквозного проектирования и позволяют производить интеграцию конструкторской разработки 3D-модели изделия в технологическую подготовку производства, что приводит к уменьшению времени конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП).

*ERP*-системы (Enterprise Resource Planning System) – это системы планирования и управления производством продукции. Такие информационные системы, используются для контроля и планирования ресурсов, которые применяются на предприятии, закупок и учета сырья, управления производством изделия, планирования заданий цехам. В качестве примера ERP-систем можно привести такие продукты, как Альфа, LotsiaERP, 1CERP, SAP. Схема взаимоотношений между всеми этими средствами представлена на рис. 1.

Ускорение процесса согласования конструкторской и технологической документации основано на создании потоков работ. Внедрение на предприятии технологии потоков работ позволяет формализовать структуру и последовательность процедур прохождения документации. В настоящее время, практически у каждого производителя PLM-системы содержится встроенный блок управления потоками работ, который предназначен для моделирования рабочих процессов и автоматизации управления потоками заданий. Статистика бизнес-эффектов от внедрения технологии потоков работ представлена в таблице 1 [1-14].



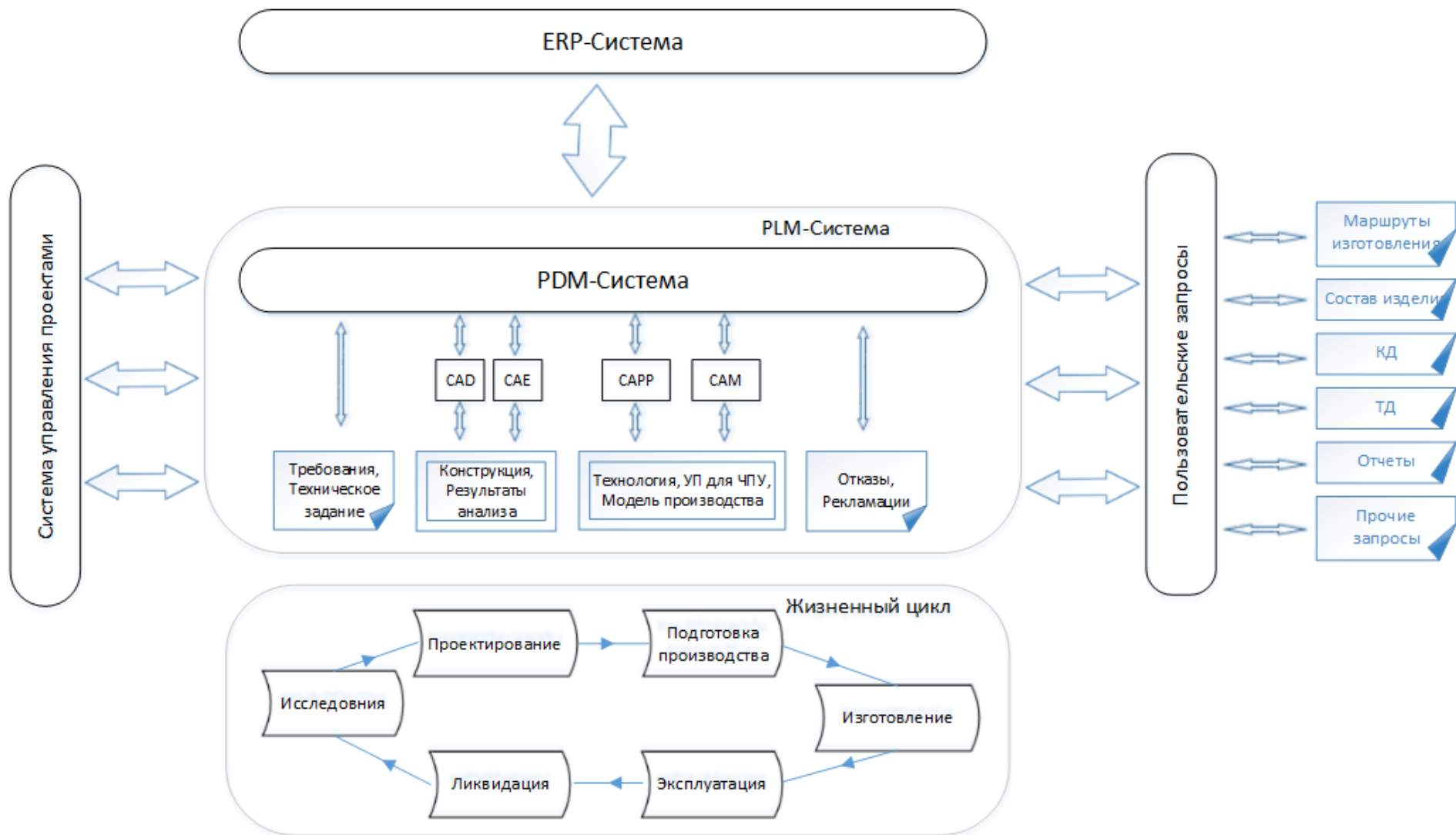


Рис. 1. Схема взаимоотношений CAD, CAM, PLM и ERP систем

Однако, системы управления жизненным циклом продуктов не всегда отвечают потребностям многих крупных предприятий. Поток работ в PLM-системах часто слишком тесно связан с потоком информации и с малой гибкостью для принятия альтернативных решений в режиме реального времени. Эти факторы всегда приводят к чрезмерно продолжительным и дорогостоящим циклам внедрения workflow-систем, реинжиниринга процессов и реконфигурирования системы. Процессы реинжиниринга не только медленные и дорогостоящие, но часто и невозможные.

Таблица 1 - Статистика бизнес-эффектов от внедрения технологии потоков работ сквозного проектирования

<b>Бизнес-эффекты</b>	<b>Доля улучшения</b>
Сокращение количества ошибок в технической документации	На 70%
Сокращение длительности процессов КТПП	На 20-60%
Сокращение затрат на подготовку и выпуск технической документации	На 40%
Сокращение времени на поиск информации	На 40%
Сокращение времени на согласование документации	В 1,5-7 раз
Сокращение времени вывода изделия на рынок	На 25-75%
Сокращение доли брака	На 40%

Экспертные обучающие системы (ЭОС) относятся к интеллектуальным системам, представляют собой человеко-машинную систему, построенную из базы знаний (совокупности знаний, описанных с использованием выбранной формы их представления) и механизма выводов, обеспечивающий манипулирование с такими знаниями при решении прикладных проблем [15].

Структура ЭОС содержит интерфейс пользователя, пользователя, интеллектуальный редактор базы знаний, эксперта, инженера по знаниям, рабочую (оперативную) память, базу знаний, решатель (механизм вывода), подсистему объяснений [16]. Системы такого класса базируются на диалоге, который заранее сформирован создателем программы без интерактивного взаимодействия для возможности создания новой цепочки рассуждений, в машину закладывается уже готовый опыт по процессу обучения, зачастую субъективный и опробованный на определённом контингенте учеников определенной социальной группе [17].

На начальном этапе разработки экспертных систем обучения содержится ряд проблем [18, 19], препятствующие широкому распространению.

1. Формулировка и формализация знаний (иерархия использованных понятий, эвристики, алгоритмы, связи между ними) у экспертов вызывает затруднения при передаче знаний, которыми они обладают для создания программ. Эксперт может препятствовать передаче своих знаний ЭОС из-за снижения престижа.

2. Постановка задачи вызывает трудности, т.к. мощность эвристических методов решения задач при увеличении общности их постановки резко уменьшается.

3. Большая трудоемкость создания экспертных систем обучения (средства управления базой знаний, логическим выводом, диалоговым взаимодействием с пользователем).

Имеется ряд публикаций, описывающих опыт применения в обучении ЭОС [20, 21]. Основой разработки интеллектуальных компьютерных систем обучения проектной деятельности является пространство, в котором взаимодействуют системы «обучаемый – предметная область – процесс обучения». В основу математического обеспечения таких систем положены компьютерные интеллектуальные модели (обучаемый проектировщик, предметная область автоматизированного проектирования, сценария траектории обучения и протокола) и методы (диагностики знаний, умений, владения навыками и компетентности обучаемого, управления процессом обучения). Интеллектуальные системы обучения работают, как правило, со смешанной инициативой, подходом в организации человеко-компьютерного взаимодействия в процессе обучения, при котором управление берет на себя то пользователь, то система [22].

Предлагается [23] использовать две классические модели обучаемого из группы фиксирующих моделей [24]: стереотипную и оверлейную, а также обратную оверлейную модель. Суть стереотипной модели в том, что она различает несколько типичных или «стереотипных» пользователей, и каждый пользователь моделируется отнесением его к одному из стереотипов. Смысл оверлейной модели или модели покрытия заключается в том, что для каждого понятия базы знаний индивидуальная оверлейная модель сохраняет некоторое значение, которое является оценкой уровня знаний обучаемым этого понятия или показателем того, изучено оно или нет. Суть обратной оверлейной модели представления динамически изменяемых характеристик пользователя заключается в следующем. В модели пользователя хранится информация не о том,

какие понятия изучил пользователь (оверлейная модель), а о том, что пользователем не изучено и требует изучения. Причем в случае расхождения процесса обучения с предлагаемым планом, дальнейший план изучения будет изменен в соответствии с этими расхождениями.

### **Модель потока операций проектировщика**

Исходными данными для анализа потоков проектных работ является поток операций проектировщика. Поток как последовательность выполняемых проектных операций в виде модели имеет следующий вид:

$$\text{PrOper} = (\text{Operations}, \text{TypeOperation}, \text{ParamKey}, \text{ParamValue}),$$

где  $\text{Operations} = \{o_i \mid i = 1..k\}$  – множество операций,  $\text{TypeOperation} = \{tp_i \mid i = 1..TP\}$  – множество типов операций в САПР (например, «выдавливание», «вращение»),  $\text{ParamKey} = \{pk_i \mid i = 1..PK\}$  – множество ключей параметров операций,  $\text{ParamValue} = \{pv_i \mid i = 1..PV\}$  – множество значений параметров операций. Модель операции имеет вид:

$$\text{Operation} = (\text{id}, \text{type}, \text{number}, \text{pvo}),$$

где  $\text{id}$  – уникальный идентификатор операции,  $\text{type} \in \text{TypeOperation}$  – тип операции,  $\text{number}$  – номер операции,  $\text{pvo}$  – множество параметров операции со значением. Модель параметра операции со значением имеет вид:

$$\text{PVO} = (\text{key}, \text{value}),$$

где  $key \in ParamKey$  – название параметра,  $value \in ParamValue$  – значение параметра. Модель исходных данных для формирования рекомендаций имеет вид:

$$S = (Operations, Rules, A, F\_atom),$$

где  $Operations = \{o \in Operation\}$  – множество проектных операций,  $Rules = \{r_i | i = 1..k\}$  – множество правил для поиска и замены не оптимальных проектных операций,  $A = \{a_i | i = 1..n\}$  – множество атомов знаний,  $F\_atom = Operation \rightarrow A$  – функция отображения операции на атомы знаний.

Алгоритм формирования рекомендаций по анализу потока операций представлен ниже.

- 1) Начало работы проектировщика с проектом.
- 2) Если проект новый переход к шагу 5.
- 3) Генерация операций на основе имеющегося проекта.
- 4) Добавление операции в последовательность операций.
- 5) Считывание управляющего воздействия от проектировщика.
- 6) Генерация операций на основе действий проектировщика.
- 7) Добавление операции в последовательность операций.
- 8) Поиск правила, которое соответствует последовательности операций.
- 9) Если правило не найдено переход к шагу 11.
- 10) Формирование оптимального множества операций.

- 11) Формирование рекомендации на основе множеств оптимальных и неоптимальных операций.
- 12) Добавление рекомендации в индивидуальный список рекомендаций проектировщика и вывод на экран.
- 13) Корректировка умений и навыков проектировщика соответствующие задействованным операциям.
- 14) Если работа с проектом не закончена переход к шагу 5.
- 15) Выход.

### **Разработка архитектуры комплексной системы проектирования и обучения**

Комплексная система проектирования и обучения должен удовлетворять следующим требованиям:

- повышение интерактивности и гибкости процесса обучения в сравнении с существующими разработками;
- проведение обучения в сокращенные сроки;
- реализация адаптивного метода обучения для учета динамической составляющей характеристики обучаемого (знаний, умений, владений навыками и компетентность);
- разработка инструментов, автоматизирующих процесс наполнения системы учебным материалом;
- планирование и прогнозирование траекторий обучения;
- возможность включения в курс различных мультимедиа объектов (изображения, аудио- и видеоклипы и т.д.);

- ассоциативная, упорядоченная, древовидная структура онтологий представления объектов в образовании, технике и экономике;
- простота использования, интуитивно-понятный интерфейс взаимодействия с пользователями;
- хранение, сбор и наглядное представление статистики процесса обучения;
- поддержка интеграции платформы системы обучения с прикладными пакетами в технике, образовании и экономике.

Методологической основой разработки интеллектуальной платформы обучения в образовании, технике и экономике является пространство, в котором взаимодействуют системы «обучаемый – предметная область – процесс обучения» (рис. 2). Наиболее перспективным направлением развития данных систем является их интеллектуализация, обеспечивающая повышение эффективности обучения (в сокращенные сроки, повышение качества содержания изучаемого материала, учет индивидуальных характеристик обучаемого, гибкость обучения). В системе «обучаемый» хранятся данные профессиональных индивидуальных характеристик обучаемого: знания, умения, владение навыками и компетентность, которые отображают уровень теоретической и практической подготовленности обучаемого в процессе обучения.



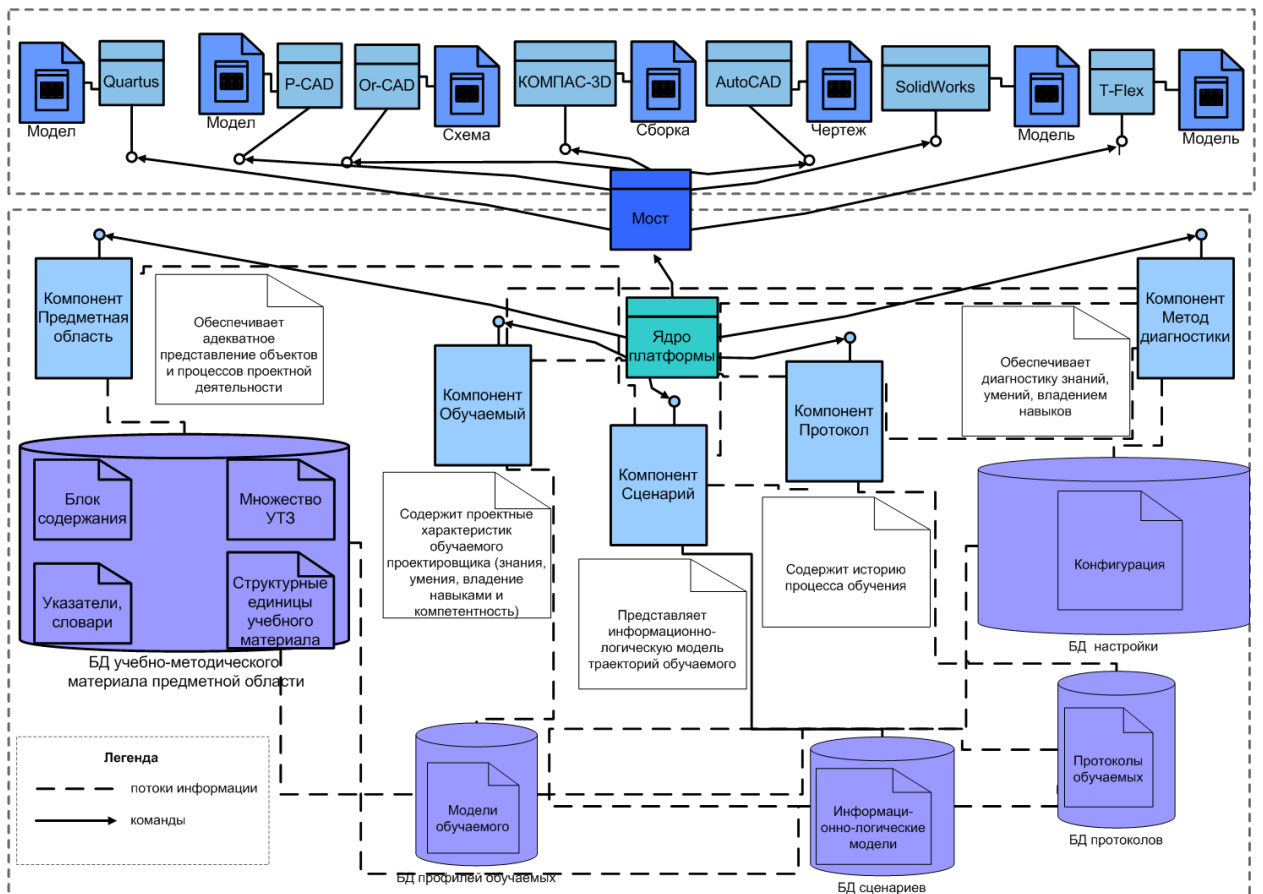


Рис. 2. Компонентно-сервисная архитектура комплексной системы проектирования и обучения

Система «предметная область» предназначена для описания в виде дерева онтологий объекта и процесса изучения с разной степенью детализации. Порядковые связи системы упорядочивают описание объекта на одном иерархическом уровне и определяют цепочки онтологий. Ассоциативные связи соединяют иерархические и порядковые онтологии разных уровней.

Система «процесс обучения» включает динамический сценарий обучения, процедуры диагностики характеристик обучаемого и выбора траектории.

В основе математического обеспечения трех систем положены разработанные модели обучаемого, предметной области, сценария траектории обучения и протокола. Ядром комплексной среды проектирования и обучения является

гибридный репозиторий, предназначенный для хранения и поиска всех артефактов бизнес-процессов предприятия.

Проблема построения единого хранилища данных, полученных в ходе деятельности предприятия, является актуальной, так как от эффективности решения этой проблемы зависит качество принимаемых тактических и стратегических решений, производительность труда, сроки проектирования изделий и необходимого программного обеспечения, а в целом конкурентоспособность предприятия на рынке. Интеллектуальными задачами, для решения которых не подходит использование интеграционных платформ, являются:

- анализ производственных ситуаций (в том числе нештатных);
- принятие решений на различных уровнях;
- планирование поведения в сложных обстоятельствах;
- генерация, актуализация документации;
- обучение новых и повышение квалификации действующих

сотрудников и др.

Для повышения интеллектуализации средств автоматизации предприятия используют следующие подходы.

1. Онтологические модели предприятий. Подход к проектированию различного рода систем на основе онтологических моделей широко используется в настоящее время, при этом в особую область исследований выделяют «онтологии предприятия». Суть предлагаемых подходов состоит в построении онтологий, описывающих деятельность того или иного

предприятия или его подразделений. Недостатками данных моделей являются отсутствие унификации представления различных видов знаний предприятия, отсутствие единого подхода к выделению и формированию онтологий, отсутствие единого подхода к построению иерархии онтологий, что ограничивает возможность построения комплексной взаимосвязанной системы онтологий.

2. Модели управления знаниями предприятий. Управление знаниями в организации – это систематический процесс идентификации, использования и передачи информации, знаний, которые люди могут создавать, совершенствовать и применять. Это процесс, в ходе которого организация генерирует знания, накапливает их и использует в интересах получения конкурентных преимуществ. В настоящее время управление знаниями предприятия реализуется в виде систем управления знаниями. Наиболее актуальным направлением в формализации процесса накопления и управления знаниями предприятия является применение онтологического подхода к построению моделей такого рода процессов.

3. Модели ситуационного управления. Термин «ситуационное управление» впервые появился в работах Д.А. Пospelова. В ряде новых работ показано применение в реализации методов ситуационного управления онтологического подхода. Таким образом, модели и методы ситуационного управления могут быть использованы при построении онтологической модели предприятия с целью повышения эффективности разрабатываемых решений в конкретных производственных ситуациях.

4. Многоагентные модели предприятий. В настоящее время многоагентная модель широко применяется при проектировании систем автоматизации производства на различных уровнях. Удобство такого подхода и широта его использования обусловлены схожестью многоагентной модели с реальными процессами, происходящими на предприятии. Будучи объединенными в коллективы, агенты способны решать сложные задачи. К достоинствам многоагентного подхода можно отнести возможность построения на его основе распределенных многоуровневых систем. Наиболее очевидной интерпретацией такого рода модели в применении к конкретному предприятию является рассмотрение его работников как агентов, каждый из которых способен решать определенный класс задач, вынужденных координировать свои действия для достижения общей коллективной цели. С учетом иерархии структурных подразделений конкретной организации могут быть выделены и уровни иерархии агентов, соответствующие отделам или цехам.

5. Модели реинжиниринга бизнес-процессов предприятий. Реинжиниринг бизнес-процессов – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов предприятий для достижения резких, скачкообразных улучшений в основных актуальных показателях их деятельности: стоимость, качество, услуги и темпы. Он базируется на понятиях будущего образа фирмы и модели бизнеса. Для того, чтобы повысить эффективность реинжиниринга, необходимо обеспечить возможность построения формальных моделей, описывающих предприятие на

разных уровнях детализации, и обеспечить унификацию таких моделей, их интегрируемость и иерархичность.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными подходами к организации и разработке интеллектуального репозитория предприятия являются онтологический и сервисно-ориентированный. Концептуальная модель такого репозитория показана на рис. 3. Методологическую основу построения интеллектуальной шины данных составляет онтологическая модель проектных, конструкторско-технологических решений и моделей, а реализационную – сервисно-ориентированная архитектура.

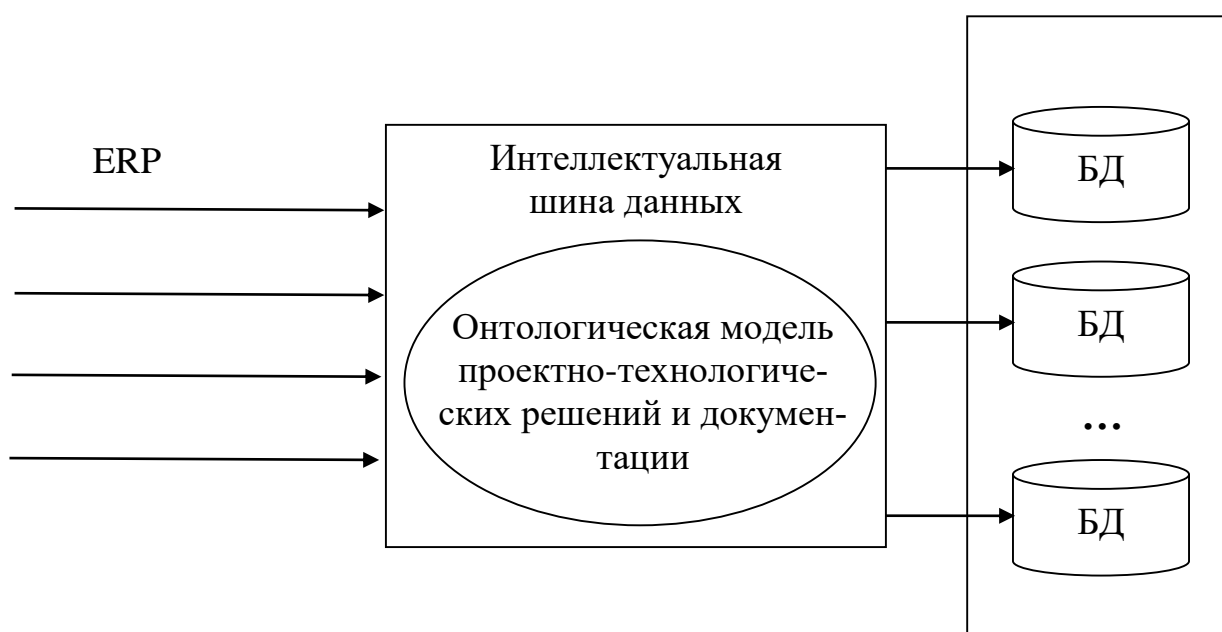


Рис. 3. Концептуальная модель интеллектуального репозитория предприятия

Концептуальная архитектура комплексной системы проектирования и обучения показана на рис. 4. Программно-информационное обеспечение подробно представлено в работе авторов [1].

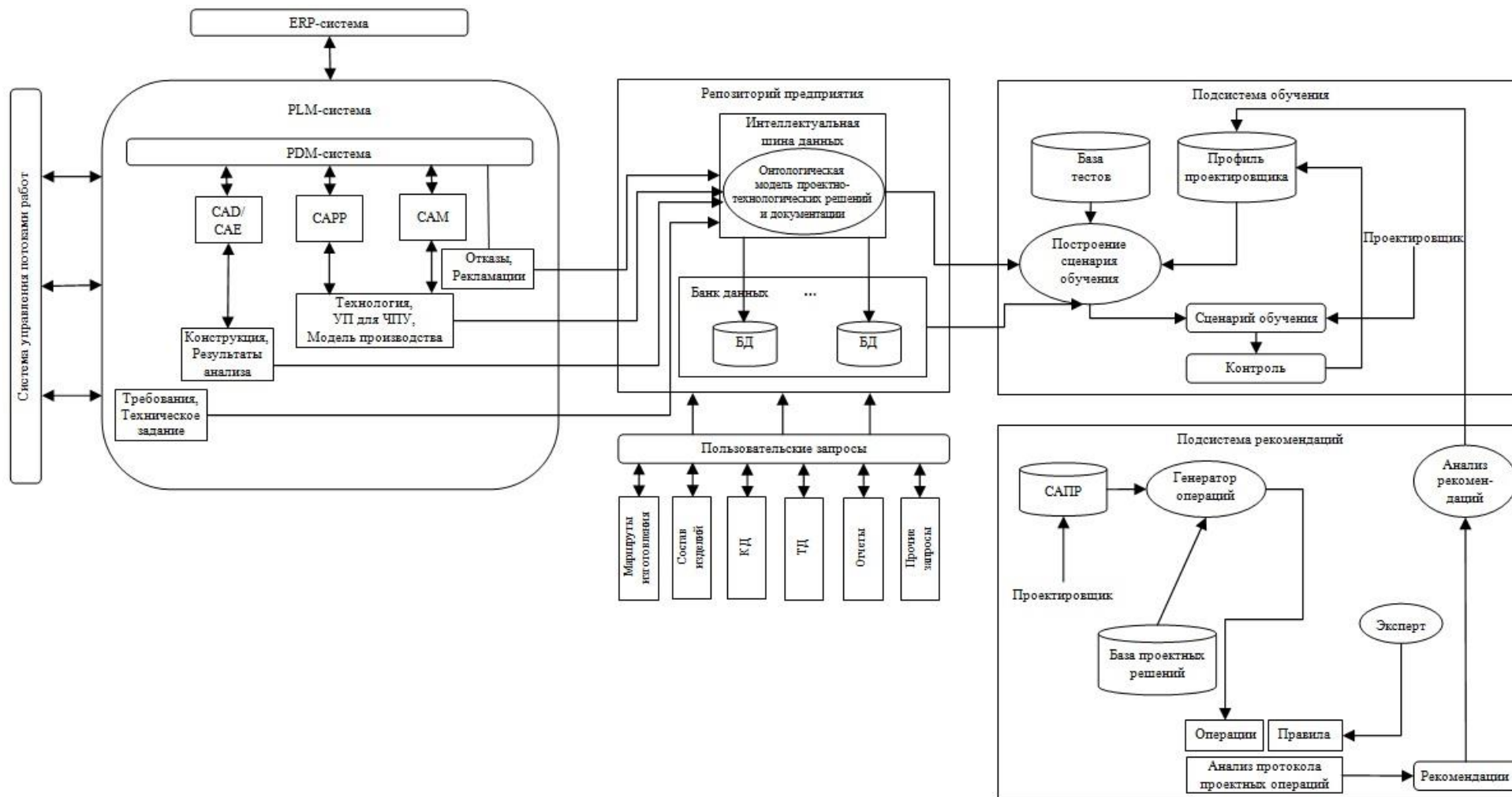


Рис. 4. Концептуальная архитектура комплексной системы проектирования и обучения

## Заключение

Выполнен анализ используемых крупными предприятиями типовых систем проектирования и обучения персонала предприятия, определено взаимодействие между процессами проектирования и обучения. На основе анализа методов, моделей и решений сделан вывод о том, что наиболее эффективными подходами к организации и разработке гибридного репозитория предприятия являются онтологический и сервисно-ориентированный. Авторами разработана архитектура, модель потока операций проектировщика и программно-информационное обеспечение комплексной системы проектирования сложных технических объектов и обучения персонала предприятия, ядром которой стал гибридный репозиторий, предназначенный для хранения и поиска всех артефактов бизнес-процессов предприятия. Приведены бизнес-эффекты от внедрения данных средств, которые говорят о значительном повышении эффективности в плане повышения качества изделий и сокращения сроков обучения. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152. Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6.

## Литература

1. *Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Бочков С.И., Уханова М.Е., Ионова И.С.* Разработка и исследование виртуальных рабочих мест в среде OPENSIM // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2016. № 4 (76). С. 43-47.

2. *Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Уханова М.Е., Ионова И.С., Епифанов В.В.* Анализ конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного радиотехнического предприятия // Радиотехника. 2017. № 6. С. 49-58.
3. *Карпов Ю. Г.* MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – БХВ-Петербург, 2010.
4. *Гончарук Ю. О.* Проблемы создания и внедрения модели бизнес-процессов предприятия в форме Workflow System //Ресурсоэффективным технологиям-энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, г. Томск, 22-24 апреля 2015 г.—Томск, 2015. – 2015. – С. 263-272.
5. *Awad A., Puhlmann F.* Structural detection of deadlocks in business process models //Business Information Systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – С. 239-250.
6. *Aguilar J. C. P. et al.* Model Checking of BPMN Models for Reconfigurable Workflows //arXiv preprint arXiv:1607.00478. – 2016.
7. *Janssen W. et al.* Model checking for managers //International SPIN Workshop on Model Checking of Software. – Springer Berlin Heidelberg, 1999. – С. 92-107.
8. *Kheldoun A., Barkaoui K., Ioualalen M.* Specification and verification of complex business processes-a high-level petri net-based approach //International Conference on Business Process Management. – Springer International Publishing, 2015. – С. 55-71.
9. *A.N. Afanasyev, N.N. Voit, M.E. Ukhanova, I.S. Ionova.* Treatment design-engineering workflows in large enterprises.
10. *И. Трохалиню.* Лоцман: PLM 2017: Было и стало. Обзор новых возможностей в управлении данными об изделиях машиностроения. САПР и графика, май 2017.
11. *И. Кочан.* T-FLEX PLM на международном рынке. САПР и графика, май 2017.
12. *П. Егоров.* Проект "Развитие САПР" на базе Комплекса АСКОН. САПР и графика, апрель 2017.



13. *П. Ведмидь, В. Власов.* PLM системы менеджмента качества. САПР и графика, апрель 2017.
14. Сквозная 3D-технология АСКОН для предприятий машиностроения. URL: <http://ct3d.ru>. (дата обращения: 22.10.2018)
15. *Форсов Г. Л., Пашинев А. Н.* Подходы к построению обучающих экспертных систем и их использованию в подготовке специалистов // Известия Института инженерной физики. – 2010. – Т. 3. – № 17. – С. 78-81. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15190988> (дата обращения: 22.10.2018)
16. *Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник. — СПб.: Питер, 2000.
17. *Гречин И.В.* Новый подход к экспертной системе в технологии обучения науки // Известия Южного федерального университета. Технические. – 2001. – Т. 22. – № 4. – С. 343-344. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12854397>. (дата обращения: 22.10.2018)
18. *Гречин И.В.* Некоторые проблемы создания экспертных систем // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 1999. – Т. 13. – № 3. – С. 322-323. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12933652> (дата обращения: 22.10.2018)
19. *Гречин И.В.* Приобретение знаний экспертными системами // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2000. – Т.2. – №2. – С. 66-69. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12854208> (дата обращения: 22.10.2018)
20. *Солодовников И.В., Rogozin O.B., Шуруев O.B.* Экспертная система оценки эффективности обучения на основе математического аппарата нечеткой логики // Качество. Инновации. Образование. – 2006. – №1. С. 19-22. URL: <http://www.quality-journal.ru/data/article/282/files/z5.pdf> (дата обращения: 22.10.2018)

21. *Сибикина И. В.* Процедура оценки компетентности студентов вуза, обучающихся по направлению «Информационная безопасность» // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. –2011. – № – С. 200-205.
22. *Kinshuk & Patel A.* A conceptual framework for Internet based intelligent tutoring systems. Knowledge transfer (volume II) (ed. A.Behrooz), pAce, London, pp. 117-124 (ISBN 1-900427-015-X)
23. *Гладышев П.Е., Сиговцев Г.С.* Модель адаптивного учебного интернет-ресурса // XI Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика'2004». – 2004.
24. *Буль Е.Е.* Сравнительный анализ моделей обучаемого // Труды X Всероссийской научно-методической конференции "Телематика"2003" - 2003. - Т2 - с.364-366.

## **ARCHITECTURE, MATHEMATICAL AND INFORMATION SUPPORT OF COMPLEX SYSTEM DESIGN AND TRAINING**

© Authors, 2018

© Radiotekhnika, 2018

**A.N. Afanasev**

Doctor of Engineering, Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector of Distance and Further Education, Ulyanovsk State Technical University

E-mail: [a.afanasev@ulstu.ru](mailto:a.afanasev@ulstu.ru)

**N.N. Voit**

Ph. D., associate Professor of the Department «Computing technique» of Ulyanovsk state technical University, Deputy Director on research work of Institute of distance and further education of Ulyanovsk state technical University

E-mail: [n.voit@ulstu.ru](mailto:n.voit@ulstu.ru)

## **V.A. Gul'shin**

Ph. D., associate Professor, associate Professor. "Radio engineering", Ulyanovsk state technical University

**Annotation.** The authors analyzed the systems of design and training of large industrial enterprises and their interaction, proposed architecture, mathematical and software-information support of the complex system of design and training, as well as the business effects of the implementation of the proposed complex of systems.

## **References**

1. Afanas'ev A.N., Vojt N.N., Bochkov S.I., Uhanova M.E., Ionova I.S. Development and research of virtual workplaces in the OPENSIM environment // Vestnik Ul'janovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2016. # 4 (76). S. 43-47. (in russian)
2. Afanas'ev A.N., Vojt N.N., Uhanova M.E., Ionova I.S., Epifanov V.V. Analysis of design and technological workflows in a large radio engineering enterprise// Radiotekhnika. 2017. # 6. S. 49-58. (in russian)
3. Karpov Ju. G. MODEL SHECKING. Verification of parallel and distributed software systems. – BHV-Peterburg, 2010. (in russian)
4. Goncharuk Ju. O. Problems of creation and implementation of the enterprise business process model in the form of Workflow System //Resursojeffektivnym tehnologijam-jenergiju i jentuziazm molodyh: sbornik nauchnyh trudov VI Vserossijskoj konferencii, g. Tomsk, 22-24 april 2015 g.— Tomsk, 2015. – 2015. – S. 263-272. (in russian)
5. Awad A., Puhlmann F. Structural detection of deadlocks in business process models //Business Information Systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – S. 239-250.
6. Aguilar J. C. P. et al. Model Checking of BPMN Models for Reconfigurable Workflows //arXiv preprint arXiv:1607.00478. – 2016.

7. Janssen W. et al. Model checking for managers //International SPIN Workshop on Model Checking of Software. – Springer Berlin Heidelberg, 1999. – S. 92-107.
8. Kheldoun A., Barkaoui K., Ioualalen M. Specification and verification of complex business processes-a high-level petri net-based approach //International Conference on Business Process Management. – Springer International Publishing, 2015. – S. 55-71.
9. A.N. Afanasyev, N.N. Voit, M.E. Ukhanova, I.S. Ionova. Treatment design-engineering work-flows in large enterprises.
10. I. Trohalinju. Locman: PLM 2017: Overview of new opportunities in the management of data on engineering products. SAPR i grafika, may 2017. (in russian)
11. I. Kochan. T-FLEX PLM in the international market. SAPR i grafika, may 2017. (in russian)
12. P. Egorov. Proekt "Development of CAD" on the basis of Complex Ascona. SAPR i grafika, april 2017. (in russian)
13. P. Vedmid', V. Vlasov. PLM quality management system. SAPR i grafika, april 2017. (in russian)
14. End-to-end 3D ASCON technology for mechanical engineering enterprises. URL: <http://ct3d.ru>. (last accessed: 22.10.2018) (in russian)
15. Forsov G. L., Pashnev A. N. Approaches to the construction of training expert systems and their use in training // Izvestija Instituta inzhenernoj fiziki. – 2010. – T. 3. – # 17. – S. 78-81. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15190988> (last accessed: 22.10.2018) (in russian)
16. Gavrilova T. A., Horoshevskij V. F. Knowledge base of intelligent systems. Textbook. — SPb.: Piter, 2000. (in russian)
17. Grechin I.V. A new approach to the expert system in science education technology // Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehniceskie. – 2001. – T. 22. – # 4. – S. 343-344. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12854397>. (last accessed: 22.10.2018) (in russian)

18. Grechin I.V. Some problems of creating expert systems // Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 1999. – T. 13. – # 3. – S. 322-323. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12933652> (last accessed: 22.10.2018) (in russian)
19. Grechin I.V. Acquisition of knowledge by expert systems // Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2000. – T.2. – #2. – S. 66-69. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12854208> (last accessed: 22.10.2018) (in russian)
20. Solodovnikov I.V., Rogozin O.V., Shuruev O.V. Expert system for evaluating the effectiveness of training based on the mathematical apparatus of fuzzy logic // Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. – 2006. – #1. S. 19-22. URL: <http://www.quality-journal.ru/data/article/282/files/z5.pdf> (last accessed 22.10.2018) (in russian)
21. Sibikina I. V. The procedure for assessing the competence of University students enrolled in the direction of “Information security”// Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. –2011. – S. 200-205.
22. Kinshuk & Patel A. A conceptual framework for Internet based intelligent tutoring systems. Knowledge transfer (volume II) (ed. A.Behrooz), pAce, London, pp. 117-124 (ISBN 1-900427-015-X)
23. Gladyshev P.E., Sigovcev G.S. A model of adaptive educational web-resource // XI Vserossijskaja nauchno-metodičeskaja konferencija «Telematika'2004». – 2004. (in russian)
24. Bul' E.E. Comparative analysis of learner models // Trudy X Vserossijskoj nauchno-metodičeskoj konferencii "Telematika"2003" - 2003. - T2 - s.364-366. (in russian)

#### **Краткие сведения об авторах статьи**

**Афанасьев Александр Николаевич**

ученая степень – доктор технических наук;

ученое звание – профессор;

должность – первый проректор – проректор по ДиДО УлГТУ;

число опубликованных научных работ – 650;

область научных исследований – проектирование автоматизированных систем

название организации, в которой работает автор – Ульяновский государственный технический университет;

полный адрес организации – Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32;

контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты),

E-mail: a.afanasev@ulstu.ru

### **Войт Николай Николаевич**

ученая степень – кандидат технических наук;

ученое звание – доцент;

должность – доцент кафедры «Вычислительная техника» Ульяновского государственного технического университета, заместитель директора по НИР ИДДО Ульяновского государственного технического университета;

число опубликованных научных работ – 200;

область научных исследований – проектирование автоматизированных систем

название организации, в которой работает автор – Ульяновский государственный технический университет;

полный адрес организации – Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32;

контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты) – тел. 8(8422)77-88-46, n.voit@ulstu.ru.

### **Кириллов Сергей Юрьевич**

ученая степень – магистр техники и технологии;

должность – начальник НИО ИДДО Ульяновского государственного технического университета;

область научных исследований – проектирование автоматизированных систем

название организации, в которой работает автор – Ульяновский государственный технический университет;

полный адрес организации – Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32;

контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты) – тел. 8(8422)77-88-33, kirillovsyu@gmail.com.

### **Канев Дмитрий Сергеевич**

ученая степень – кандидат технических наук;

должность – начальник НИО ИДДО Ульяновского государственного технического университета;

область научных исследований – проектирование автоматизированных систем

название организации, в которой работает автор – Ульяновский государственный технический университет;

полный адрес организации – Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32;

контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты): [dima.kanev@gmail.com](mailto:dima.kanev@gmail.com).

### **Гульшин Владимир Александрович**

ученая степень – кандидат технических наук;

должность – доцент каф. «Радиотехника», Ульяновский государственный технический университет

область научных исследований – проектирование автоматизированных систем

название организации, в которой работает автор – Ульяновский государственный технический университет;

полный адрес организации – Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32;

контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты): тел. 8(842)326712, e-mail: [vgulshin@yandex.ru](mailto:vgulshin@yandex.ru)