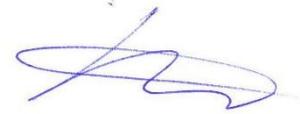


На правах рукописи



Канев Дмитрий Сергеевич

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ КОМПЕТЕНЦИЙ
ПРОЕКТИРОВЩИКА В ПРОЦЕССАХ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
(НА ПРИМЕРЕ САПР КОМПАС)**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации
проектирования (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2016

Работа выполнена на кафедре «Вычислительная техника»
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель – **Афанасьев Александр Николаевич**,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Вычислительная техника»
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
технический университет»

Официальные оппоненты:

Курейчик Владимир Викторович,
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Систем автоматизированного
проектирования» ФГАОУ ВО «Южный
федеральный университет»

Попович Алексей Владимирович,
кандидат технических наук,
технический директор ООО «Инновационная
компания «Мудрые системы»

Ведущая организация – **ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»**

Защита состоится «28» сентября 2016 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета. Также диссертация и автореферат размещены в Internet на сайте УлГТУ - <http://www.ulstu.ru/>

Автореферат разослан «__» июля 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Смирнов Виталий Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Системы автоматизированного проектирования (САПР) занимают важное место в современной промышленности.

С увеличением сложности объектов машиностроения, ростом сложности конструкторских и технологических решений, необходимостью повышения качества проектных решений все более важным становится создание эффективных средств и методов постоянного повышения квалификации проектировщиков.

Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий во многом зависит от эффективного использования САПР, которые позволяют добиться сокращения трудоемкости проектирования и планирования, затрат на натурное моделирование и испытания, сроков проектирования, повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования.

САПР представляет собой сложную организационно-техническую систему, состоящую из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности. Поэтому создание эффективных средств и методов обучения автоматизированному проектированию является важным условием для успешного внедрения и использования средств автоматизации производства.

Российскими учеными и зарубежными учеными, внесшими значительный вклад в предметную область разработки и внедрения автоматизированных систем обучения проектированию, являются Норенков И. П., Камаев В. А., Доррер А. Г., Кудрявцев В. Б., Алисейчик П. А., Черепашков А. А., Курейчик В. В., Brusilovsky P., De Bra P., Furut R., Hohl H. и др.

Однако современные компьютерные обучающие системы не учитывают специфику обучения проектной деятельности, в них отсутствуют механизмы оценки текущего профиля проектировщика в процессе проектной деятельности и формирования рекомендаций по корректировке профиля проектировщика, отсутствует интеграция профиля компетенций проектировщика с выполнением проектных процедур и операций, с базой проектных решений предприятия. Существующие механизмы персонификации процесса обучения требуют трудоемкой ручной работы по созданию курсов.

Под профилем проектировщика понимается совокупность изменяющегося во времени перечня компетенций и их характеристик, зафиксированная в математической модели компоненты обучаемого автоматизированной обучающей системы (АОС).

Таким образом, в области автоматизированного проектирования **актуальной и имеющей большое практическое значение научно-технической задачей** является разработка моделей, методов и средств формирования необходимых компетенций и рекомендаций для проектировщика.

Разрабатываемые методы должны обеспечить формирование персонифицированных компетенций проектировщика, необходимых рекомендаций и сокращение времени обучения. Система рекомендаций должна повысить эффективность деятельности в системах автоматизированного машиностроительного проектирования за счет сокращения количества выполняемых действий.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности деятельности проектировщика в системах автоматизированного машиностроительного проектирования за счет формирования необходимых компетенций и рекомендаций для проектировщика.

Задачи диссертационного исследования.

1. Провести анализ современных методов, моделей и средств автоматизированного обучения, механизмов персонификации процесса обучения с целью определения подходов для минимизации суммарного времени обучения с учетом практической подготовки обучаемого, простоты наполнения предметной области, наличия материалов для дополнительного изучения.

2. Провести анализ подходов построения систем рекомендаций.

3. Разработать модели автоматизированной обучающей системы: предметной области, профиля проектировщика, сценария обучения.

4. Разработать метод формирования персонифицированного сценария обучения на основе профиля проектировщика, включающий как теоретическую, так и практическую подготовку, и учитывающий его навыки и умения работы в САПР КОМПАС.

5. Разработать метод формирования рекомендаций для проектировщика на основе протокола проектных операций трехмерного моделирования деталей, выполняемых в САПР КОМПАС.

6. Реализовать предложенные модели, методы и алгоритмы в виде программного комплекса.

Объектом исследования является организация компьютерного обучения автоматизированному проектированию объектов машиностроения на основе пакета САПР КОМПАС.

Предметом исследования являются модели, методы и средства персонифицированного обучения проектной деятельности в САПР КОМПАС.

Методы исследования. Для решения обозначенных задач использованы методы теории алгоритмов, теории множеств, теории графов, теории автоматов, теории автоматизированных обучающих систем, теории классификации, теории автоматизированного проектирования, основ системотехники.

На научную новизну претендуют:

1. Онтологическая модель предметной области, отличающаяся введением классов, атомов и функций, ориентированных на предметную область автоматизированного машиностроительного проектирования, и позволяющая персонифицировать процесс обучения.

2. Метод формирования персонифицированного сценария обучения, отличающийся использованием динамических механизмов взаимодействия моделей пространства обучения (профиля проектировщика, теста, проектно-практического задания) с онтологической моделью предметной области автоматизированного машиностроительного проектирования и обеспечивающий формирование персонифицированных компетенций проектировщика. Предложена теоретическая оценка сокращения времени обучения при использовании персонифицированного сценария обучения.

3. Метод формирования рекомендаций и корректировки профиля компетенций проектировщика на основе протокола проектных операций, отличающийся анализом операций трехмерного моделирования деталей, выполняемых в САПР КОМПАС, и позволяющий сформировать рекомендации и скорректировать профиль компетенций проектировщика.

Практическая ценность полученных результатов состоит в разработке наукоемкого программного обеспечения, включающего следующие компоненты:

1. Архитектуру интеллектуальной автоматизированной обучающей системы.

2. Графический редактор модели предметной области на языке программирования Java, обеспечивающий хранение данных в системе управления базами данных MySQL и наполнение онтологической модели предметной области.

3. Конструктор тестов на основе предложенной модели тестового задания.

4. Алгоритм формирования персонифицированного сценария обучения на основе предложенной онтологической модели предметной области на языке программирования Java, позволяющий сократить время обучения на 12%.

5. Базу данных для хранения и обработки компонентов предметной области на базе MySQL-сервера и на основе предложенной онтологической модели.

6. Web-ориентированную обучающую систему на основе предложенных онтологической модели предметной области, профиля проектировщика, модели тестового задания и метода формирования персонифицированного сценария обучения.

7. Мобильную систему обучения для платформы Android на основе предложенных онтологической модели предметной области, профиля проектировщика, модели тестового задания.

8. Алгоритм анализа проектных операций и формирования рекомендаций на основе метода формирования рекомендаций и корректировки профиля компетенций проектировщика, позволяющий сократить количество выполняемых действий в среднем на 4,4%.

9. Виртуальную компоненту АОС в виде тренажерной системы, разработанную на базе автоматного подхода, отличающуюся наличием функциональных блоков и множеством ошибочных состояний, и позволяющую формализовать процесс разработки тренажера, автоматически оценить действия обучаемого на основе шаблонов неэффективных действий.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Совокупность взаимосвязанных моделей и методов формирования профиля компетенций проектировщика, обеспечивающих повышение эффективности его деятельности в системах автоматизированного машиностроительного проектирования, включающих формирование персонифицированного сценария обучения, рекомендаций и корректировку профиля компетенций проектировщика.

2. Программные средства формирования персонифицированного сценария обучения, рекомендаций и корректировки профиля компетенций проектировщика АОС, позволяющие сократить время обучения и количество выполняемых действий проектировщиком.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанные программные средства внедрены в практику работы АО «Ульяновский механический завод» (г. Ульяновск) и учебный процесс Ульяновского государственного технического университета (г. Ульяновск).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации», г. Ульяновск, 2009; Всероссийской конференции «Информатика и вычислительная техника», г. Ульяновск, 2010-2014; Всероссийской школе-семинаре «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования», г. Ульяновск, 2010-2013; Первой всероссийской научной конференции с международным участием «Системный анализ и семиотическое моделирование» (SASM-2011), г. Казань, 2011; Международной научно-технической конференции «Интерактивные системы: Проблемы человеко-компьютерного взаимодействия», г. Ульяновск, 2011, 2013, 2015; Всероссийском конкурсе научно-технического творчества молодежи, г. Москва, 2012, 2014; Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава (ППС-2013), г. Ульяновск, 2013; Всероссийской научно-методической конференции «Телематика' 2014», г. Санкт-

Петербург, 2014; Международном конгрессе по интеллектуальным системам и информационным технологиям, п. Дивноморское, 2014-2015; Молодежном инновационном форуме ПФО, г. Ульяновск, 2015; Шестой Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2015), г. Светлогорск, 2015; 10th International Technology, Education and Development Conference (IATED-2016), Valencia, 2016.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 29 работ, в том числе 3 статьи в российских рецензируемых научных журналах, 1 статья в издании, индексируемом в WEB OF SCIENCE. Получено 7 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 186 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 25 таблиц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 151 наименования на 17 страницах и 5 приложений на 19 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, перечислены полученные в диссертации новые результаты, их научная и практическая ценность, представлены положения, выносимые на защиту, и описана структура диссертации.

В первой главе проводится анализ предметной области исследований.

Рассмотрены различные профессиональные стандарты проектировщика и выделены следующие компетенции: умеет работать с интерфейсом; владеет навыками построения эскизов; владеет навыками твердотельного моделирования; способен работать с листовыми деталями; умеет работать с переменными и параметризацией; способен создавать массивы объектов; способен строить пространственные кривые и точки; способен применять вспомогательную геометрию; владеет навыками проектирования сборки; владеет навыками создания чертежей; способен работать со спецификацией. Сформулировано определение профиля проектировщика.

Проведен анализ и классификация моделей, методов и средств адаптивного управления процессом обучения в автоматизированных обучающих системах.

Основной целью адаптивных обучающих систем является реализация управления процессом обучения с учетом индивидуальных особенностей пользователей. Адаптивные методы позволяют сократить время и повысить эффективность процесса обучения за счет удержания пользователей в оптимальной зоне обучения, изменяя последовательность предъявления материала и заданий, содержание, темп обучения и нагрузку. В АОС выделяют три основные модели:

предметной области, обучаемого и процесса обучения. Используются следующие механизмы адаптации: авторский алгоритм, экспертная система, на основе продукций, генетический алгоритм.

Анализ показал, что АОС не учитывают специфику обучения проектной деятельности, отсутствует интеграция с профилем компетенций проектировщика и оценка его проектной деятельности.

Проведен анализ рекомендательных систем. Основными классами методов для построения таких систем являются: методы коллаборативной фильтрации, методы, анализирующие содержимое объектов, и методы, основанные на знаниях. Большой вклад в область разработки методов построения рекомендательных систем внесли Ken Goldberg, Upendra Shardanand, Pattie Maes, John S. Breese, Peter W. Foltz, Susan T. Dumais, Jonathan L. Herlocker, Robin Burke, Marko Balabanović, Yoav Shoham и другие.

Анализ показал, что существующие рекомендательные системы не интегрированы с деятельностью проектировщика.

Обобщенная схема формирования профиля компетенций проектировщика в процессах автоматизированного проектирования машиностроительных объектов на примере САПР КОМПАС в виде диаграммы IDEF0 приведена на рисунке 1.

В соответствии с целью работы были выявлены следующие факторы, влияющие на эффективность деятельности проектировщика:

F_{state} – неоптимальные действия, которые не изменяют состояние проектного решения (отмененные действия),

F_{group} – неоптимальные одиночные действия над групповыми объектами,

$F_{special}$ – неоптимальные действия при построении специальных объектов (для которых существуют специальные операции: фаска, скругление и т. д.),

F_{trans} – неоптимальные действия при переходах между операциями.

Во второй главе разработана онтологическая модель предметной области машиностроительного проектирования. Предметная область (ПрО) представлена тремя уровнями: схемы, представления и практический. Схема представляет собой множество знаний о ПрО – атомов, непересекающихся и далее неделимых для целей обучения. Уровень представления – это множество учебных материалов (УМ) и справочников, которые представляют собой гипертекст. Справочники являются дополнительными материалами, которые присутствует как ссылки для необязательного ознакомления. Вводятся три типа вспомогательных материалов: справочники, определения и похожие УМ. Определения – это УМ, которые наиболее коротким образом описывают атом или понятие.

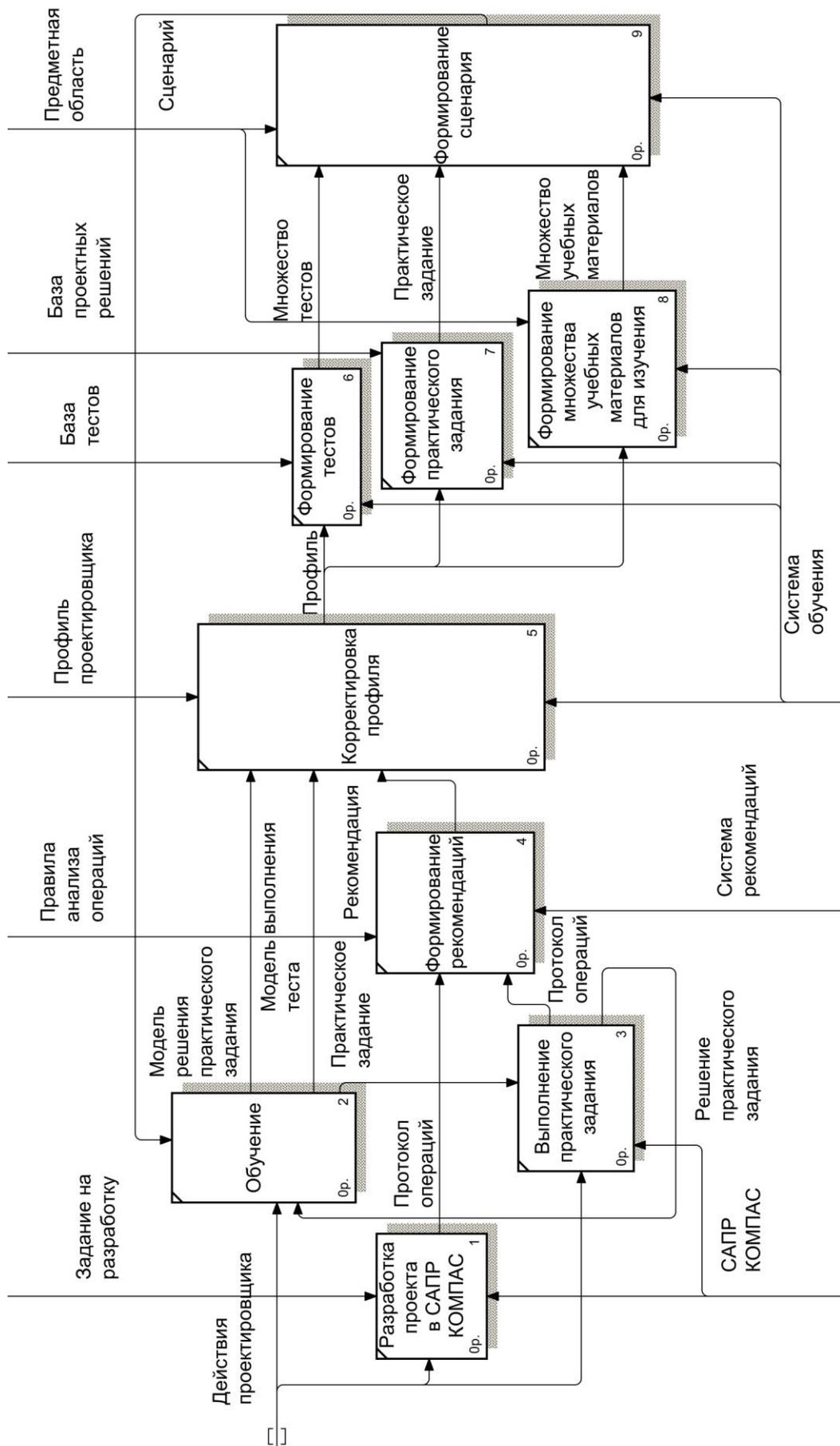


Рисунок 1 – Обобщенная схема формирования профиля компетенций проектировщика

Похожие УМ – это материалы, которые имеют наибольшее количество пересекающихся атомов знаний. Практический уровень – это уровень для проверки навыков и умений проектировщика, способности выполнять проектные действия на основе приобретенных знаний автоматизированного проектирования и проектной практики, представлен множеством проектных решений.

В предметной области определены следующие классы:

- атомы знаний;
- понятия – атомы, сгруппированные по какому-либо принципу;
- учебные материалы – материалы для изучения (одним из вариантов могут быть справочники);
- цели обучения – группа атомов, которые необходимо изучить;
- компетенции – группа атомов, которые входят в данную компетенцию.

Модель предметной области имеет вид:

$$O = (PSL, T, R, F, Ax),$$

где $PSL = \{psl_i | i = 1..x\}$ – множество проектных решений,

T – термины прикладной области, которую описывает онтология.

Множество терминов представлено в виде:

$$T = (C, In),$$

где $C = \{A, P, D, GOAL, COMP\}$ – множество классов онтологии (A – атомы знаний, P – понятия, D – учебный материал, $GOAL$ – цель обучения, $COMP$ – компетенции), у класса «Учебный материал» определен слот «являетсяСправочником» с диапазоном значений *истина* или *ложь*,

In – множество объектов классов онтологии.

R – множество отношений между объектами онтологии:

$$R = (R_{learn}, R_{part}, R_{next}),$$

где R_{learn} – бинарное отношение «изучается_в», имеющее семантику «connected_to» и связывающее объекты классов онтологии («Атом», «Понятие») с объектами класса «УчебныйМатериал»,

R_{part} – бинарное отношение «состоит_в», имеющее семантику «part_of» и связывающее объекты классов онтологии («Атом», «Понятие») с объектами классов «Понятие», «ЦельОбучения»,

R_{next} – бинарное отношение «изучается_после», имеющее семантику «after_of» и связывающее объекты классов онтологии («Атом», «Понятие») с объектами класса «Понятие» и «Атом».

Множество интерпретирующих функций представлено в виде:

$$F = (F_{atom_op}, F_{psl_a}, F_{edu}, F_{define}, F_{similar}, T),$$

где $Fatom_{op}: A \rightarrow Operation^*$ – функция отображения объекта класса «Атом» на множество операций проектного решения,

$Fpsl_a: PSL \rightarrow A^*$ – функция отображения проектного решения на множество объектов класса «Атом»,

$Fedu: A^* \rightarrow D^*$ – функция построения упорядоченного множества учебных материалов для изучения определенных атомов знаний,

$Fdefine: P \rightarrow D^*$ – функция поиска учебных материалов, описывающих определенное понятие,

$Fsimilar: D \rightarrow D^*$ – функция поиска наиболее похожих учебных материалов,

$T: D \rightarrow \mathbb{Q}^+$ – дидактическая сложность материала.

Множество аксиом представлено в виде:

$$Ax = (AxANP, AxANL, AxAND, AxPAfP, AxPAfA, AxAAfP),$$

где $AxANP$ – «атомы состоят в понятиях», если атом Y состоит в понятии X , которое состоит в понятии Z , то атом Y состоит в понятии Z , в виде SWRL:

$$\text{Понятие}(?x) \wedge \text{Атом}(?y) \wedge \text{Понятие}(?z) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?x) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?z) \rightarrow \text{состоит_в}(?y, ?z),$$

$AxANL$ – «атомы состоят в целях обучения», если атом Y состоит в понятии X , которое состоит в цели обучения Z , то атом Y состоит в цели обучения Z , в виде SWRL:

$$\text{Понятие}(?x) \wedge \text{Атом}(?y) \wedge \text{ЦельОбучения}(?z) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?x) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?z) \rightarrow \text{состоит_в}(?y, ?z),$$

$AxAND$ – «атомы состоят в учебных материалах», если атом Y состоит в понятии X , которое изучается в учебном материале Z , то атом Y изучается в учебном материале Z , в виде SWRL:

$$\text{Понятие}(?x) \wedge \text{Атом}(?y) \wedge \text{УчебныйМатериал}(?z) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?x) \wedge \text{изучается_в}(?y, ?z) \rightarrow \text{изучается_в}(?y, ?z),$$

$AxPAfP$ – «атомы изучаются после атомов», если атом Y состоит в понятии X , которое изучается после понятия Z , а атом C состоит в Z , то атом Y изучается после C , в виде SWRL:

$$\text{Атом}(?y) \wedge \text{Понятие}(?x) \wedge \text{Понятие}(?z) \wedge \text{Атом}(?c) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?x) \wedge \text{состоит_в}(?c, ?z) \wedge \text{изучается_после}(?x, ?z) \rightarrow \text{изучается_после}(?y, ?c),$$

$AxPAfA$ – «понятия изучаются после атомов», если атом Y состоит в понятии X , которое изучается после атома C , то атом Y изучается после C , в виде SWRL:

$$\text{Атом}(?y) \wedge \text{Понятие}(?x) \wedge \text{Атом}(?c) \wedge \text{состоит_в}(?y, ?x) \wedge \text{изучается_после}(?x, ?c) \rightarrow \text{изучается_после}(?y, ?c),$$

$AxAAfP$ – «атомы изучаются после понятий», если атом Y изучается после понятия X и атом C состоит в X , то атом Y изучается после C , в виде SWRL:

$Атом(?у) \wedge Понятие(?x) \wedge Атом(?с) \wedge состоит_в(?с, ?x) \wedge изучается_после(?у, ?x) \rightarrow изучается_после(?у, ?с).$

Интеграция проектного решения с моделью предметной области происходит автоматически за счет соответствия понятий из ПрО с операциями проектного решения. Пример интеграции предметной области с деталью «Шайба» показан на рисунке 2.

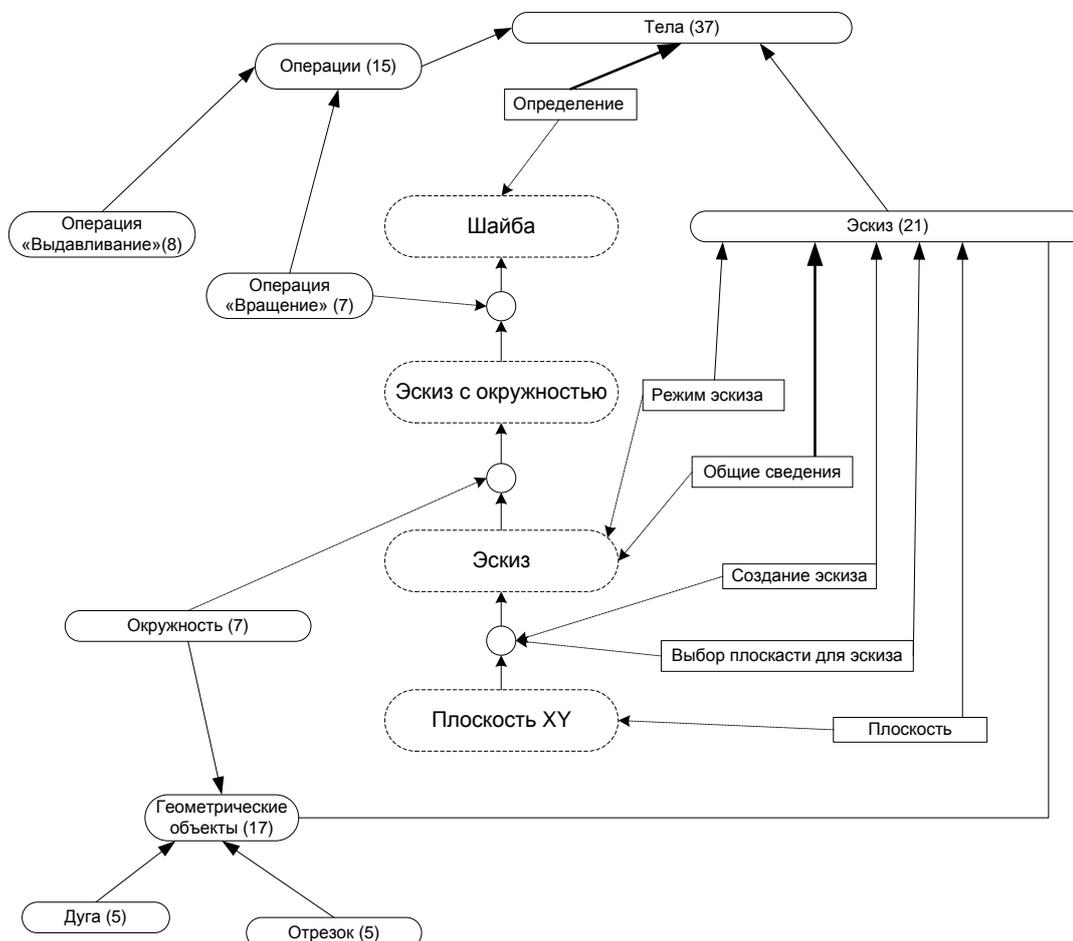


Рисунок 2 – Пример интеграции предметной области с деталью «Шайба»

Для оценки знаний проектировщика выбрана оверлейная модель, которая представляет знания как наложение на разработанную модель предметной области. Каждому атому знания ($A_i \in A$) сопоставлена степень владения знаниями ($p \in [0; 1]$) обучаемым определенным атомом и количество контрольных измерений данного атома знания ($c \in N$ – количество проверок), также каждому атому сопоставлена степень владения умениями ($p_{ab} \in [0; 1]$), количество контрольных измерений умения ($c_{ab} \in N$ – количество проверок), степень владения навыками и среднее время выполнения операций. Степени владения знаниями и навыками изменяются после контроля.

Модель профиля проектировщика имеет вид:

$$U = (UA, P, C, P_{AB}, C_{AB}, P_S, C_S, ACT_G, ACT_C),$$

где $UA = \{a_i \in A | i = 1..nua\}$ – подмножество атомов знаний, которые необходимо изучить,

$P: A \rightarrow [0..1]$ – степень владения знаниями атома A ,

$C: A \rightarrow N$ – количество контрольных измерений знаний атома A ,

$P_{AB}: A \rightarrow [0..1]$ – степень владения умениями атома A ,

$C_{AB}: A \rightarrow N$ – количество контрольных измерений умений атома A ,

$P_S: A \rightarrow [0..∞]$ – степень владения навыками атома A ,

$C_S: A \rightarrow N$ – среднее время выполнения операций для атома A ,

$ACT_G: A \rightarrow N$ – суммарное количество действий при эталонном использовании навыка атома A ,

$ACT_C: A \rightarrow N$ – суммарное количество действий при текущем использовании навыка атома A .

Во второй главе разработан метод формирования персонифицированного сценария обучения, отличающийся использованием динамических механизмов взаимодействия моделей пространства обучения (профиля проектировщика, теста, практического задания) с онтологической моделью предметной области и обеспечивающий формирование персонифицированных компетенций проектировщика.

Представим модель сценария:

$$ST = (A, P, D, TZ, PTZ, PHASE, Fd_d, Fphase_tz, Fphase_ptz, Fphase_d, Fphase_first, Fnext_phase),$$

где $A = \{a_i | i = 1..n\}$ – множество атомов знаний,

$P = \{p_i | i = 1..j\}$ – множество понятий,

$D = \{d_i | i = 1..k\}$ – множество учебных материалов,

$TZ = \{tz_i | i = 1..m\}$ – множество тестовых заданий,

$PTZ = \{ptz_i | i = 1..l\}$ – множество практических заданий,

$PHASE = \{pz_i | i = 1..h\}$ – множество этапов сценария,

$Fd_d: D \rightarrow D$ – функция следования учебных материалов,

$Fpphase_tz: PHASE \rightarrow TZ^*$ – функция принадлежности подмножества тестовых заданий определенному этапу сценария,

$Fphase_ptz: PHASE \rightarrow PTZ$ – функция принадлежности практического задания определенному этапу сценария,

$Fphase_d: PHASE \rightarrow D^*$ – функция принадлежности подмножеству учебных материалов определенному этапу сценария,

$Fphase_first: PHASE \rightarrow D$ – функция первого учебного материала в определенном этапе сценария,

$Fnext_phase: PHASE \rightarrow PHASE$ – функция следования этапов сценария.

Алгоритм генерации персонифицированного сценария состоит из следующих шагов:

1. Выбор цели обучения.
2. Загрузка базового сценария обучения.
3. Проектировщик последовательно изучает учебный материал в рамках этапа, в том числе дополнительные информационные активы промышленного предприятия.
4. Выполнение тестовых заданий, которые корректируют уровень знаний проектировщика.
5. Проверка навыков и умений на основе проектных заданий.
6. Оценка уровня знаний, умений и навыков, если они считаются удовлетворительными, проектировщик переходит на следующий этап сценария (на второй шаг). При его отсутствии процесс обучения считается завершенным. В случае неудовлетворительного уровня знаний, умений и навыков на седьмом шаге формируется персонифицированный сценарий обучения.
7. Выбор атомов знаний, требующих дополнительного изучения.
8. Генерация персонифицированного сценария обучения. Подбор учебных материалов.
9. Формирование множества тестовых и проектных заданий.
10. Контрольное тестирование.

В третьей главе разработан метод формирования рекомендаций и корректировки профиля компетенций проектировщика на основе протокола проектных операций, отличающийся анализом операций трехмерного моделирования деталей, выполняемых в САПР КОМПАС, и позволяющий сформировать рекомендации и скорректировать профиль компетенций проектировщика.

Повышение эффективности работы проектировщика достигается за счет поиска неоптимально выполненных проектных операций, и рекомендацией замены их на операции с меньшим количеством действий. Исходными данными для формирования рекомендаций является поток действия проектировщика в САПР. Закодируем этот поток как последовательность выполняемых проектных операций. Протокол операций имеет вид:

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

где $\text{Operations} = \{o_i | i = 1..k\}$ – множество операций,

$\text{TypeOperation} = \{tp_i | i = 1..TP\}$ – множество типов операций в САПР (например, «выдавливание», «вращение»),

$\text{ParamKey} = \{pk_i | i = 1..PK\}$ – множество ключей параметров операций,

$\text{ParamValue} = \{pv_i | i = 1..PV\}$ – множество значений параметров операций.

Модель операции имеет вид:

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

где id – уникальный идентификатор операции,

$\text{type} \in \text{TypeOperation}$ – тип операции в САПР (например, «выдавливание», «вращение»),

number – номер операции,

pvo – множество параметров операции со значением.

Модель параметра операции со значением имеет вид:

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

где $\text{key} \in \text{ParamKey}$ – название параметра,

$\text{value} \in \text{ParamValue}$ – значение параметра.

Модель исходных данных для формирования рекомендаций имеет вид:

$$S = (\text{Operations}, \text{Rules}, A, F_atom),$$

где $\text{Operations} = \{o \in \text{Operation}\}$ – множество проектных операций,

$\text{Rules} = \{r_i | i = 1..k\}$ – множество правил для поиска и замены неоптимальных проектных операций,

$A = \{a_i | i = 1..n\}$ – множество атомов знаний,

$F_atom: \text{Operation} \rightarrow Z$ – функция отображения операции на атомы знаний.

Модель правила имеет вид:

$$\text{Rule} = (\text{tmpl}, \text{result}),$$

где $\text{tmpl} = \{t_i | i = 1..k\}$ – формула логики первого порядка для поиска в протоколе проектных операций;

$\text{result} = \{res_i | i = 1..n\}$, $res = (C, \text{key}, \text{value})$ – множество оптимальных проектных операций, заданных как упорядоченные тройки (код операции, параметр операции или множество параметров операции, значение параметра операции или множество значений), где код – константа, а параметр операции и значение параметра операции – формулы логики первого порядка.

Для формулы логики первого порядка зададим алфавит символов:

- предметные переменные:
 - $X = \{xp \in \text{TypeOperation}\}$ – множество операций;
 - $P = \{p \in \text{ParamKey}\}$ – множество ключей параметров операций;
 - $T = \{t \in \text{ParamValue}\}$ – множество значений параметров операций;
- символы логических операций: $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$;
- кванторы: \forall, \exists ;
- вспомогательные символы: $\langle \langle \rangle \rangle, \langle \{ \}$ – скобки; \langle , \rangle – запятая;
- термы:
 - $\text{type}: \text{Operations} \rightarrow \text{TypeOperation}$ – определение типа операции,

- *code*: $Operations \rightarrow \mathbb{N}$ – определение кода операции,
- *number*: $Operations \rightarrow \mathbb{N}$ – определение номера операции,
- *param*: $Operations \times ParamKey \rightarrow ParamValue$ – определение значения параметра операции,
- арифметических действия: $\mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ – умножение, сложение, вычитание, деление;
- предикаты:
 - 2-арные функции: больше ($>$), меньше ($<$), равно ($=$), не равно (\neq), \in , *eq_op* – равенство результатов операций.

Модель рекомендации имеет вид:

$$R = (op_before, op_after, F_steps, F_message),$$

где *op_before* $\subset Operations$ – множество неоптимальных проектных операций, задействованных при формировании рекомендации,

op_after $\subset Operations$ – множество рекомендуемых проектных операций,

F_steps: $Operations \rightarrow N$ – функция вычисления количества действий для построения проектных операций,

F_message: $Operations \times Operations \rightarrow Text$ – функция формирования текста рекомендации.

Алгоритм формирования рекомендаций и корректировки профиля проектировщика имеет вид:

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 ее на экран.
13. Корректировка умений и навыков проектировщика, соответствующих задействованным операциям.
14. Если работа с проектом не закончена, переход к шагу 5.
15. Выход.

В четвертой главе разработана компонентная архитектура системы формирования профиля компетенций проектировщика. Реализация программно-информационного обеспечения выполнена с помощью Web-сервера Apache HTTP Server, СУБД MySQL и Java Platform, Standard Edition. Разработан графический редактор модели предметной области. Разработаны сервисные средства для САПР КОМПАС на основе технологий Automation для мониторинга проектной деятельности проектировщика. Разработан приборный тренажер на основе автоматного подхода с автоматической диагностикой ошибок обучаемого инженера. Разработано ядро мобильной системы обучения, модели предметной области, профиля проектировщика, тестирования для платформы Android. Реализован метод формирования рекомендаций для проектировщика в процессе твердотельного трехмерного моделирования деталей. Для оценки эффективности применения персонализированного сценария обучения был проведен эксперимент над целевыми группами студентов. В среднем время обучения у студентов, использующих персонализированный сценарий обучения, на 14% меньше, чем у остальных студентов, а время выполнения контрольного задания на – 4%. Предложена теоретическая оценка сокращения времени обучения при использовании персонализированного сценария обучения. В среднем сокращение времени обучения для различных групп обучаемых составляет 24% за счет исключения учебных материалов на основе тестовых заданий и этапов сценария на основе проектно-практического опыта. Проведен анализ эффективности деятельности проектировщика при использовании системы рекомендаций. Рекомендательная система позволяет сократить количество выполняемых действий проектировщиком при трехмерном моделировании деталей в САПР КОМПАС в среднем на 4,4%.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе все поставленные цели и задачи достигнуты, получены следующие результаты.

1. Предложена онтологическая модель предметной области машиностроительного проектирования, отличающаяся введением классов, атомов и функций, ориентированных на предметную область автоматизированного машиностроительного проектирования.

2. Предложен новый метод формирования персонализированного сценария обучения, отличающийся использованием динамических механизмов взаимодействия моделей пространства обучения (профиля проектировщика, теста,

проектно-практического задания) с онтологической моделью предметной области автоматизированного машиностроительного проектирования, и позволяющий сократить время обучения на 14%.

3. Предложен новый метод формирования рекомендаций и корректировки компетенций проектировщика на основе протокола операций трехмерного моделирования деталей, выполняемых в САПР КОМПАС. Рекомендательная система позволяет сократить количество выполняемых действий проектировщиком в среднем на 4,4%.

4. Разработана и реализована архитектура автоматизированной обучающей системы с поддержкой персонифицированного обучения практическим задачам и формированием рекомендаций в процессе работы проектировщика в САПР КОМПАС.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

в российских рецензируемых научных журналах:

1. Афанасьев, А. Н. Математическое моделирование процесса инженерного обучения в сложных инфокоммуникационных образовательных системах [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Радиотехника. – 2014. – № 7. – С. 133-136.

2. Моделирование виртуального тренажера на основе автоматного подхода [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев, В. А. Гульшин // Радиотехника. – 2015. – № 6. – С. 55-58.

3. Афанасьев, А. Н. Модель и метод разработки и анализа компьютерных тренажеров [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 2 (40). – С. 64-71.

проиндексированные в WEB OF SCIENCE:

4. Organization, development and implementation of intelligent learning environments [Text] / A. N. Afanasyev, N. N. Voit, D. S. Kanev, T. V. Afanaseva // 10th International Technology, Education and Development Conference. – IATED, 2016. – P. 2232-2242.

в иных изданиях:

5. Войт, Н. Н. Интеллектуальная автоматизированная обучающая система в САПР КОМПАС [Текст] / Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации: сборник научных трудов, 1-5 декабря 2009 г. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – Т. 3. – С. 410-413.

6. Афанасьев, А. Н. Разработка учебно-методического наполнения модели предметной области, интеллектуальной обучающей системы на примере САПР КОМПАС [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 20-26.

7. Войт, Н. Н. Графический конструктор модели предметной области САПР [Текст] / Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 134-141.

8. Войт, Н. Н. Обзор современных САПР: P-CAD 2002, ORCAD 9.2, QUARTUS II 7.2, AUTOCAD 2008, SOLIDWORKS 2008, КОМПАС-3D V10 PLUS [Текст] / Н. Н. Войт, Д. С. Канев // информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 137-141.

9. Канев, Д. С. Исследование моделей предметных областей в АОС САПР [Текст] / Д. С. Канев // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 255-263.

10. Methodology and concepts for development of intelligent learning systems of design activity [Text] / A. N. Afanasyev, N. N. Voit, D. S. Kanev, P. V. Troitski // Proceedings of International Conference. Interactive Systems And Technologies: The Problem of Human-Computer Interaction. – Collection of scientific papers. – Ulyanovsk: ULSTU, 2011. – P. 93-95.

11. Kanev, D. S. Intelligent automated training system CAD architecture [Text] / D. S. Kanev // Proceedings of International Conference. Interactive Systems And Technologies: The Problem of Human-Computer Interaction. – Collection of scientific papers. – Ulyanovsk: ULSTU, 2011. – P. 189-198.

12. Афанасьев, А. Н. Интеллектуальная мультиагентная система обучения проектной деятельности [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Системный анализ и семиотическое моделирование: материалы первой Всероссийской научной конференции с международным участием (SASM-2011). – Казань, 2011. – С. 267-270.

13. Афанасьев, А. Н. Развитие интеллектуальной автоматизированной обучающей системы САПР [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 55-59.

14. Войт, Н. Н. Реализация клиент-серверной компьютерной системы обучения САПР [Текст] / Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 162-165.

15. Канев, Д. С. Сравнение RMI- и SOAP-технологий [Текст] / Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 263-264.

16. Войт, Н. Н. Реализация компонента «файл-менеджер» для трансфера файлов в интеллектуальной системе обучения САПР [Текст] / Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 83-90.

17. Канев, Д. С. Анализ моделей представления предметной области в системах автоматизированного обучения [Текст] / Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – С. 270-285.

18. Канев, Д. С. Анализ моделей представления предметной области в системах промышленного проектирования [Текст] / Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – С. 286-301.

19. Канев, Д. С. Разработка онтологической модели предметной области и алгоритма формирования сценария для интеллектуальной системы обучения [Текст] / Д. С. Канев // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – С. 214-218.

20. Kanev, D. S. Analysis of automated learning systems architectures and architecture development of intelligent tutoring [Text] / D. S. Kanev // Proceedings of International Conference. Interactive Systems And Technologies: The Problem of Human-Computer Interaction. – Collection of scientific papers. – Ulyanovsk: ULSTU, 2013. – P. 152-162.

21. Канев, Д. С. Разработка обобщенной структуры приборного тренажера [Текст] / Д. С. Канев // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – С. 84-90.

22. Канев, Д. С. Обзор Javascript библиотек для редактирования диаграмм [Текст] / Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – С. 85-94.

23. Афанасьев, А. Н. Разработка модели предметной области для организации процесса инженерного обучения в сложных инфо-коммуникационных образовательных системах [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Труды XXI Всероссийской научно-методической конференции «Телематика' 2014». – 2014. – Том 1. Секция А. – С. 262-263.

24. Разработка математического обеспечения для организации персонализированного инженерного обучения в сложной инфо-коммуникационной образовательной среде [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт,

Д. С. Канев, Е. Ю. Воеводин // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'14». Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2014. – Т. 2. – С. 203-210.

25. Афанасьев, А. Н. Разработка компьютерных моделей для организации процесса инженерного обучения в сложной инфокоммуникационной среде [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – С. 15-20.

26. Реализация тренажерных систем на базе автоматного подхода [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев, В. А. Гульшин // Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии», г. Светлогорск, 15-20 июня 2015 г. – Т. 1. – С. 254-264.

27. Разработка методов управления и диагностики обучающихся в тренажерных системах [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев, В. А. Гульшин // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'15». Научное издание в 3-х томах. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – Т. 2 – С. 3-7.

28. Опыт разработки компьютерного обучающего тренажера прибора Г5-75 [Текст] / А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев, В. А. Гульшин // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – С. 169-173.

29. Kanev, D. S. Developing the simulator based on the example of the impulse generator of accurate amplitude g5-75 device [Text] / D. S. Kanev // INTERACTIVE SYSTEMS: Problems of Human - Computer Interaction. – Collection of scientific papers. – Ulyanovsk: ULSTU, 2015. – P. 153-158.

свидетельства:

30. Свидетельство № 2010613515 Российская Федерация. Графический конструктор модели предметной области САПР: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Канев Д. С.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. – № 2010611999; заявл. 13.04.2010; зарегистр. 28.05.2010.

31. Свидетельство № 2013610083 Российская Федерация. Интеллектуальный конструктор тестов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Канев Д. С., Беляева М. А.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. – № 2012619698; заявл. 09.10.2012; зарегистр. 09.01.2013.

32. Свидетельство № 2014661213 Российская Федерация. Графический редактор онтологической модели предметной области САПР: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н.,

Канев Д. С.; заявитель и правообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2014619103; заявл. 10.09.2014; зарегистр. 27.10.2014.

33. Свидетельство № 2015616393 Российская Федерация. Автоматическое построение модели предметной области САПР на основе детали из КОМПАС-3D: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Канев Д. С.; заявитель и правообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2015613505; заявл. 10.09.2014; зарегистр. 27.10.2014.

34. Свидетельство № 2015616397 Российская Федерация. Формирование индивидуального сценария обучения на основе динамических механизмов взаимодействия моделей пространства обучения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Канев Д. С.; заявитель и правообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2015613506; заявл. 24.04.2015; зарегистр. 09.06.2015.

35. Свидетельство № 2015617292 Российская Федерация. Веб-ориентированная система представления учебно-методического материала: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Канев Д. С.; заявитель и правообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2015613947; заявл. 12.05.2015; зарегистр. 06.07.2015.

36. Свидетельство № 2015617322 Российская Федерация. Платформа для автоматизированной обучающей системы: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А. Н., Войт Н. Н., Канев Д. С.; заявитель и правообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. – № 2015613908; заявл. 12.05.2015; зарегистр. 07.07.2015.

Принятые сокращения и обозначения

АОС – автоматизированная обучающая система

ПрО – предметная область

УМ – учебный материал

Канев Дмитрий Сергеевич

Разработка моделей, методов и средств формирования профиля компетенций проектировщика в
процессах автоматизированного проектирования машиностроительных объектов
(на примере САПР КОМПАС)

Автореферат

Подписано в печать __.07.2016. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ _____

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, д. 32.