

## ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.89: 681.31

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-51-63

## Онтологическая база для обучения персонала САПР

А.А. Черепашков, А.Г. Шараухова

*Самарский государственный технический университет, Самара, Россия***Аннотация**

Обосновывается актуальность и практическая ценность применения онтологического подхода при обучении автоматизированному проектированию. Подготовка и переподготовка персонала является одним из важных этапов внедрения автоматизированных систем промышленного назначения, а средства методического обеспечения обязательно присутствуют в портфеле всех ведущих компаний-производителей систем автоматизированного проектирования (САПР). Предложены принципы и подходы формирования онтологической базы предметной области обучения автоматизированному проектированию. Для выделения структуры учебной онтологии предложено использовать понятия аспектов машиностроительного проектирования. Определена иерархия уровней подготовки пользователей САПР. На операторском уровне обучение сводится к освоению пользователями ограниченного множества терминов и понятий, реализованных в конкретных системных решениях. На уровне техника требуется освоить набор типовых проектных процедур, характерных для класса базовых технологий САПР. На инженерных уровнях пользователь приобретает знания, необходимые для освоения технологий и средств САПР в комплексе всех стадий технической подготовки производства. Описана методика онтологического анализа предметной области обучения, обеспечивающая формирование целевых траекторий подготовки и переподготовки специалистов и предусматривающая ряд последовательных этапов формирования онтологической базы. Для оптимизации индивидуальных траекторий обучения специалистов по САПР разработано специальное программное обеспечение, интегрированное с онтологическим редактором *Protégé*.

**Ключевые слова:** онтология, САПР, обучение, онтологический анализ, траектории обучения.

**Цитирование:** Черепашков, А.А. Онтологическая база для обучения персонала САПР / А.А. Черепашков, А.Г. Шараухова // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11 №1(39). – С. 51-63. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-51-63.

**Введение**

Известный публицист и пропагандист эффективных приёмов труда и обучения Н. Хилл сформулировал важнейшее свойство образования человека: «Знание становится источником силы и власти только в той степени, в какой оно организовано, классифицировано и применяется на практике» [1]. С учётом реалий современной информатики можно добавить, что сведения, легко и быстро доставляемые человеку компьютерными устройствами, могут стать знанием только в процессе их систематизации и упорядочения. В обоих случаях остаётся открытым вопрос о методах и средствах превращения информации в знания и далее - в навыки их применения. Эти общие положения можно представить в качестве обоснования необходимости и актуальности применения онтологического подхода в обучении специалистов, в том числе и в области автоматизированного проектирования (АПР) [2].

Онтология в информатике представляет собой методологию формализации определённой области знаний с помощью некой концептуальной схемы. Конкретные методики и алго-

ритмы концептуализации в существенной мере определяются содержанием предметной области (ПрО), а также целями создания онтологической базы знаний (БЗ). Для использования онтологий в целях обучения людей (в отличие от машинного обучения) специфическими являются средства анализа БЗ и формирования индивидуальных и групповых целевых траекторий профессиональной подготовки специалистов.

Остро стоит проблема подготовки и переподготовки персонала человеко-машинных автоматизированных систем (АС), в т.ч. систем автоматизированного проектирования (САПР). При всём разнообразии ПрО одним из основных сдерживающих факторов успешной реализации проектов внедрения АС являются «кадровые проблемы». Все ведущие компании-производители и интеграторы средств обеспечения АС имеют богатый спектр методического обеспечения учебного назначения (МтО): практические руководства и учебники, демонстрационные материалы, сборники упражнений. Выпускаются учебные версии прикладного программного обеспечения, проводятся учебные семинары и вебинары, организуются постоянно действующие курсы, вводятся программы сертификации специалистов и т.д.

## 1 Состав АС в жизненном цикле изделий машиностроения

Процессы разработки и производства продукции машиностроения уже невозможно представить без использования САПР и подсистем управления инженерными данными *Product Data Management (PDM)*, которые обеспечивают информационную поддержку всех стадий технической подготовки производства (ТПП) и их интеграцию в единое информационное пространство предприятия (ЕИП) [3, 4].

К базовым технологиям САПР относится широкий спектр взаимосвязанных методов и средств промышленной автоматизации, включая подсистемы геометрического моделирования и конструирования *Computer-Aided Design (CAD)*, разработки технологических процессов *Computer-Aided Process Planning (CAPP)* и программ для цифрового технологического оборудования *Computer-Aided Manufacturing (CAM)*, инженерного анализа *Computer-Aided Engineering (CAE)*, контроля качества произведённой продукции *Computer-Aided Inspecting (CAI)* и т.д. Комплексные системы промышленной автоматизации *Product Lifecycle Management system (PLM)* строятся на принципах методологии информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции *Continuous Acquisition and Life cycle Support (CALS)* [5]. В англоязычной литературе для обозначения постоянно расширяющейся сферы влияния САПР стала использоваться аббревиатура *CAx* [5]. В *PLM* системах *CAx* технологии и подсистемы тесно переплетаются со смежными информационными составляющими. На рисунке 1 представлена обобщённая схема взаимодействия АС в ЖЦ изделий машиностроения [4].

Сложными и многозначными являются информационные и управленческие связи между подсистемами. Несмотря на существенно отличающийся от проектирующих подсистем функционал систем управления, всеми ведущими компаниями разработчиками САПР ведётся создание и внедрение модулей оперативного планирования и диспетчеризации производства в промышленных *PLM*-решениях [7]. На рисунке 1 пунктиром отмечена возможная граница *CAx*, а штрихпунктирной линией - зона наиболее активной экспансии ПрО АПР.

Процессы конструкторской и технологической подготовки автоматизированных производств содержат множество процедур, подразумевающих участие в процессах АПР специалистов, обладающих творческими качествами [8]. Для информационного описания области знаний, относящихся к САПР, требуется динамическая модель, отражающая специфику непрерывного развития ПрО АПР; динамически развивается и понятийный аппарат практического, научного и учебного аспектов САПР.

Опираясь на многолетнюю практику проведения курсов подготовки и переподготовки пользователей САПР, авторы полагают, что учебная онтологическая БЗ АПР может отличаться от промышленной ПрО в сторону её сокращения и конкретизации границ.

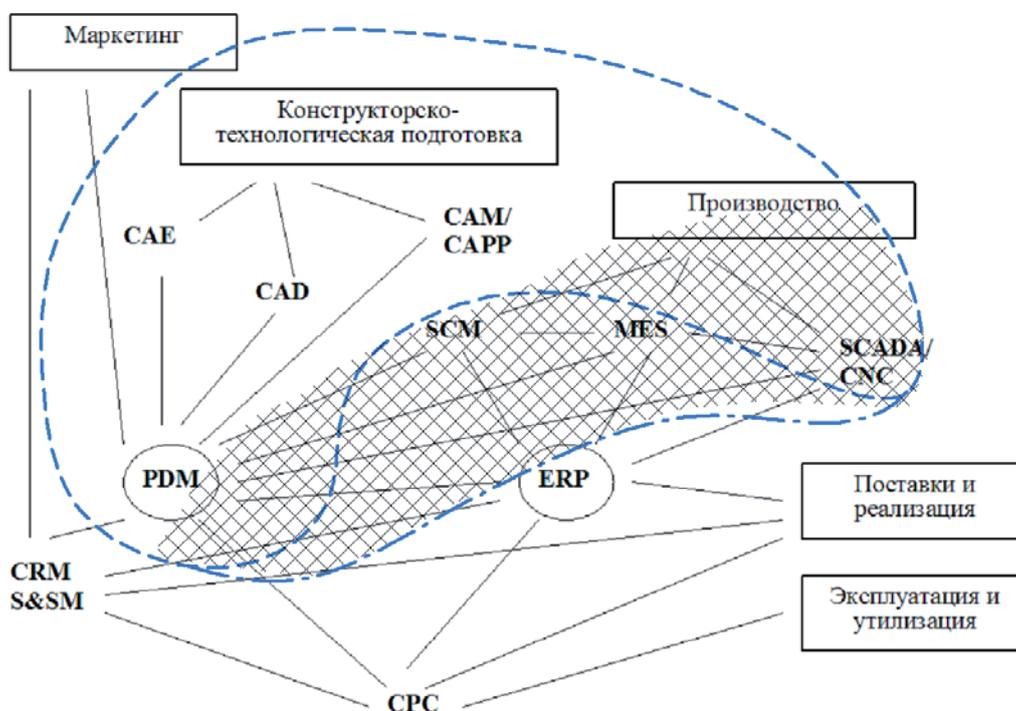


Рисунок 1 - Схема взаимодействия АС в ЖЦ изделий машиностроения

## 2 Онтологическая база учебной САПР

Для формирования предметно-ориентированных БЗ учебного назначения предлагается применять известные квалификационные описания, используемые для подготовки и переподготовки кадров в области АПР. Наряду с образовательными стандартами и учебными планами, учебники и методические пособия содержат в концентрированном и обобщённом виде не только прошедшие предварительный экспертный отбор данные из ПрО, но и системы правил и отношений, связывающих их. Совокупность прошедшей опытную апробацию специализированной методической литературы можно рассматривать как первичную учебную онтологию САПР.

В отличие от научных статей и монографий для учебной онтологии должны быть выбраны первоисточники, достаточно полно раскрывающее содержание ПрО. В дальнейшем процессе концептуализации первичная онтология уточняется и конкретизируется. Для этого целесообразно использовать формализованные (уже в повышенной степени по сравнению с традиционными учебными материалами) нормативные технические регламенты и стандарты, применяемые в промышленности. Главным недостатком использования официальных регламентирующих документов является их быстрое устаревание. Актуальными, но менее точными и упорядоченными с онтологической точки зрения, представляются научные, практико-ориентированные публикации в периодических изданиях, включая сайты компаний разработчиков и публикации в Интернете.

Можно отметить следующие противоречия и концептуальные проблемы создания учебной ПрО АПР. В ПрО АПР часто появляются и активно используются термины, не имеющие закреплённого в стандартах (официального) статуса. Например, ставший почти общеприня-

тым один из базовых терминов *CAD* «моделлер» пока не попал даже в орфографические словари в текстовых редакторах системного окружения САПР. Многие термины и понятия, используемые практикующими специалистами по САПР, ведут происхождение от названий пунктов меню и экранных кнопок, используемых в прикладном программном обеспечении САПР, которые весьма часто и неформально редактируются программистами. Например, в популярной отечественной *CAD*-системе КОМПАС одна из базовых функций 3D-моделирования из «Кинематической» в новой версии превратилась в операцию «Потраектории», поменялись наименования сплайнов и др.

В профессиональных описаниях, составленных специалистами по АС, активно используются англоязычные слова, заменяя национальные термины. При этом зачастую меняются понятийные связи и появляются совершенно новые. Например, относительно новый термин – «рендеринг» (англ. *rendering* — трансляция, отрисовка и пр.) не вытеснил полностью отечественное понятие компьютерной графики «визуализация», а приобрёл узкое смысловое наполнение, обозначающее процесс получения изображения на определённом техническом устройстве по имеющейся геометрической модели с помощью компьютерной программы.

Справочники и словари с существенной разницей трактуют уже устоявшиеся термины и определения. Например, термином *CAD* дословно переводимым как «компьютерно-поддержанное проектирование», заменяют более известную в России аббревиатуру САПР, но понятийно это не является достоверным. По действующему стандарту САПР - это: «Организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации ...» [9]. А специалистами по САПР аббревиатура *CAD* расшифровывается не дословно, а сообразно с современным функциональным назначением - как «подсистемы и технологии автоматизации конструирования и оформления проектной документации». Данное определение в свою очередь опирается на терминологический аппарат, представленный различным образом в информационных источниках.

В учебных БЗ предложено использовать многоступенчатую экспертизу при формировании первичной понятийно-терминологической учебной базы Про АПР. В этом случае рассматривается несколько трактовок с градацией приближения к предполагаемому «идеалу». Например, можно составить следующие выборки в процессе понятийного определения терминов, поэтапно приближающиеся к семантике АПР как специфической области обучения проектной деятельности:

- *проектирование* — «процесс создания проекта прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, ...» [9];
- *проектирование* — «процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или её части» [10];
- *проектирование* — это «процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях ещё несуществующего объекта путём преобразования первичного описания этого объекта, и (или) алгоритма его функционирования...» [9].

Или:

- *конструирование* — «вид инженерной работы, которая осуществляется в различных областях человеческой деятельности...» [9];
- *конструирование* — «процесс разработки конструкторской документации» [12];
- *конструирование* – «стадия конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), выполняемая при помощи *CAD*-системы, в ходе которой создаются 3D-модели всех оригинальных деталей и их 2D-проекция (чертежи) ...» [13].

Продуктивным представляется использование для формирования учебной Про АПР понятий аспектов, которое используется в машиностроительном проектировании. При этом аспект отражает профессионально-технические особенности общего описания объектов с не-

которой предметной или профессиональной точки зрения. Основными аспектами объектов и технологий машиностроения являются следующие.

**Функциональный аспект**, который описывает служебное назначение и принципы действия машин и механизмов. Выделяется функциональное проектирование, а также методы и средства автоматизации, поддерживающие функциональное моделирование и концептуальное проектирование в среде САПР. Сюда относятся хорошо отработанные и известные САЕ-технологии и системы. Тенденции развития САПР предполагают применение здесь технологий искусственного интеллекта и других информационных новшеств, например, параметрической и топологической оптимизации.

**Конструкторский аспект** обеспечивает уточнение и расширение описаний изделий, полученных в результате функционального проектирования. Конструкторское описание изделий машиностроения представляется в форме, утвержденной действующими стандартами единой системы конструкторской документации [14], существенно переработанной в последние годы под влиянием методологии АПР. Выделяется конструкторское проектирование (конструирование), а также технологии и средства автоматизации конструирования.

**Технологический аспект** включает понятийно-терминологический аппарат ранних этапов проектирования (используемый технологами при проектировании оснастки и инструментов), а также инженерно-технологические решения, необходимые для изготовления спроектированных изделий. Основными тенденциями автоматизированного технологического проектирования (САПР-ТП) выступают применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ, *CNC - computer numerical control*), мехатронных устройств. В онтологии обучения АПР необходимо выделить САПР-ТП, САМ-технологии, а в перспективе и «управленческие» подсистемы АСУТП (*SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition*) и др.

В зависимости от решаемых проектировщиками задач и специфики производственных отраслей в общем описании могут быть представлены и другие аспекты. Для представления состава изделия в электронных технических архивах, библиотеках и БД САПР следует выделить **информационный аспект**.

**Организационный аспект** потребуется для описания деятельности проектного персонала в единой информационной среде, а также в специфических средах виртуальных предприятий, развивающихся в соответствии с методологией *CALS*.

С точки зрения обучения АПР необходимо включить **учебно-методический аспект описания**.

Таким образом, онтологическая модель обучения АПР в машиностроении должна включать как необходимые компоненты следующие аспекты АПР.

$$OAP^{Lr} = \{ OAP^{SF} \cup OAP^{SK} \cup OAP^{ST} \cup OAP^{SI} \cup OAP^{SO} \cup OAP^{SM} \}, \quad (1)$$

где  $OAP^{SF}$  – функциональные аспекты;  $OAP^{SK}$  – конструкторские аспекты;

$OAP^{ST}$  – технологические аспекты;  $OAP^{SI}$  – информационные аспекты;

$OAP^{SO}$  – организационные аспекты;  $OAP^{SM}$  – методические аспекты.

Иерархическую структуру уровней машиностроительного проектирования можно представить в виде древовидного графа (рисунок 2).

Целостный по своим целям (создание новой техники) процесс ТПП изделий машиностроения (*PM*) формально можно разбить на три уровня.

- На первом сверху уровне выделяется множество стадий (*PMS*), заданных системой стандартов машиностроения.
- На втором уровне размещаются проектные процедуры (*PMP*), определённые спецификой служебного назначения и конструкцией изделий.

- На третьем уровне целесообразно расположить проектные операции (*PMO*), в том числе предусмотренные технологий изготовления и особенностями технологического оборудования и производственного инструментария.

Первые два базовых, регламентированных стандартами уровня ТПП, являются счётными, как и их онтология. Так, может быть выделено онтологическое ядро учебной онтологии САПР.

Мощность используемых в машиностроении множеств проектных процедур и операций в общем случае не поддаётся исчислению. В учебной версии они могут быть существенно сокращены. Для решения задачи разработки учебной САПР необходимо выделить важные для достижения поставленных учебных целей автоматизированные проектные процедуры, конструкторские, технологические и производственные операции и переходы между ними.

По аналогии с иерархическими уровнями ТПП можно выделить определённую иерархию уровней подготовки пользователей САПР (таблица 1).

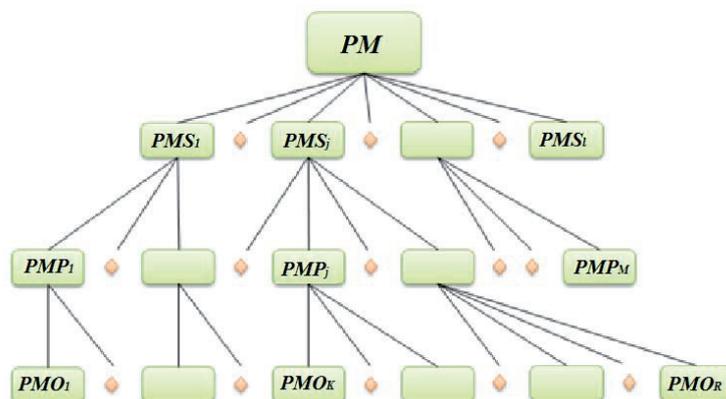


Рисунок 2 – Иерархическая модель уровней процессов АПР

Таблица 1 - Соответствие иерархии моделей АПР и обучения АПР

№	Разделы учебной ПрО АПР	Уровни обучения персонала САПР (Показатели уровня)
1	Автоматизированный комплексный процесс проектирования: $OAP=\{OAPS, OAPP, OAPO\}$	<b>Комплексный инженерный</b> (знания, умения, навыки АПР в интегрированной информационной среде)
2	Автоматизированные проектные стадии: $OAPS=\{aps_i   i=1...L\}$	<b>Локальный инженерный</b> (объектно-ориентированные знания, умения, навыки АПР на отдельных стадиях)
3	Автоматизированные проектные процедуры: $OAPP=\{app_j   j=1...M\}$	<b>Операторские уровни</b> - операторский специальный, или <i>уровень техника</i> (навыки владения типовыми процедурами и операциями); - операторский начальный, или <i>уровень оператора</i> (умения и навыки АПР в среде конкретной системы)
4	Автоматизированные проектные операции: $OAPO=\{apo_k   k=1...R\}$	

На первичном уровне обучения «*операторский начальный*» обучение АПР сводится к освоению пользователями ограниченного множества терминов и понятий, реализованных в конкретных системных решениях. Выделяемый для освоения пользователем объём операций ограничен условиями локального рабочего места или отдельной технологии САХ.

На «*операторском специальном*» (уровень специалиста-техника) – требуется освоить более широкий набор типовых проектных процедур (операций), характерных для целого класса базовых технологий САПР.

Навыки операторской деятельности в среде САПР, полученные на данном уровне, должны быть инвариантны по отношению к различным системным решениям и конкретике используемых программно-технических средств. Обучение САПР на операторском уровне, как правило, ограничивается освоением одного или нескольких программных модулей.

На «*локальном инженерном*» уровне наряду с универсальными навыками владения типовыми проектными операциями пользователь приобретает объектно-ориентированные

знания, умения и навыки из области частных методик и средств обеспечения САПР, необходимые для освоения технологий и средств АПР изделий машиностроения на отдельной стадии проектных работ или автоматизированном рабочем месте.

Уровень «инженерный комплексный» характеризуется широтой кругозора специалиста в предметной и компьютерной областях, а также развитыми умениями и навыками работы в интегрированной информационной среде. На этом уровне пользователю необходимо знание не только комплекса частных методик АПР, но и общей методологии АПР, владение комплексом САх-технологий. Такой уровень подготовки проектного персонала предполагает наличие знаний, умений и навыков АПР в интегрированной САПР на всех стадиях проектных работ.

Из анализа приведённых моделей следует, что для освоения локальных технологий низкого уровня требуется создание специализированных онтологий, а для информационной поддержки формирования инженерных компетенций необходимо опираться на инвариантное ядро общей онтологии САПР.

### 3 Формирование учебной онтологической базы АПР

Разработка учебной онтологической базы АПР предполагает ряд последовательных этапов формирования:

- 1) базового ядра онтологии, отличающегося высокой универсальностью и стабильностью выделенного понятийно-терминологического аппарата ПрО АПР в машиностроении;
- 2) набора расширений базовой онтологии, обеспечивающих целенаправленное развитие обучаемых в течение учебного процесса по профессиональному уровню;
- 3) итоговой онтологии, используемой для промежуточных и итоговых оценок достигнутого уровня профессиональных компетенций персонала САПР.

Онтологический редактор *Protégé* [15] выбран для реализации экспериментальной части работы. Функционал *Protégé* достаточен для отработки связей между экземплярами метаонтологии или её небольшого участка с раскрытием компетенций, заложенных в экземпляры, но формирование и анализ онтологии производится практически вручную.

Для проверки полноты и валидности сформированных онтологических моделей, а также проведения онтоанализа, был разработан специализированный программный продукт - подсистема *DialogApp* [16] (рисунок 3), написанная на языке *Python* [17].

На рисунках 4 и 5 приведены фрагменты онтологических структурных схем учебной ПрО САПР обучения АПР.

Авторский программный модуль позволяет автоматизировать решение задачи выявления и оптимизации индивидуальной и/или целевой (для групп) траектории обучения специалиста по САПР в соответствии с определёнными целевыми установками. Для выявления рациональных учебных траекторий использован алгоритм решения задачи коммивояжёра, имеющий целью отыскание кратчайшего пути из одной точки в другую по методу Дейкстры [18].

Вариативный модуль позволяет выбрать два режима оптимизации целевой траектории:

- «MINIMUM», который формирует кратчайший путь для минимизации продолжительности пути освоения всей ПрО САПР.

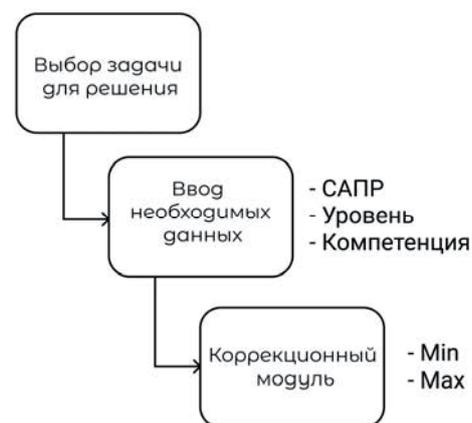


Рисунок 3 – Структура модульной системы программы *DialogApp*

- «MAXIMUM», реализующий поэтапный процесс обучения, позволяющий охватить определённый набор сущностей Про, необходимых для достижения определённых квалификационных требований.

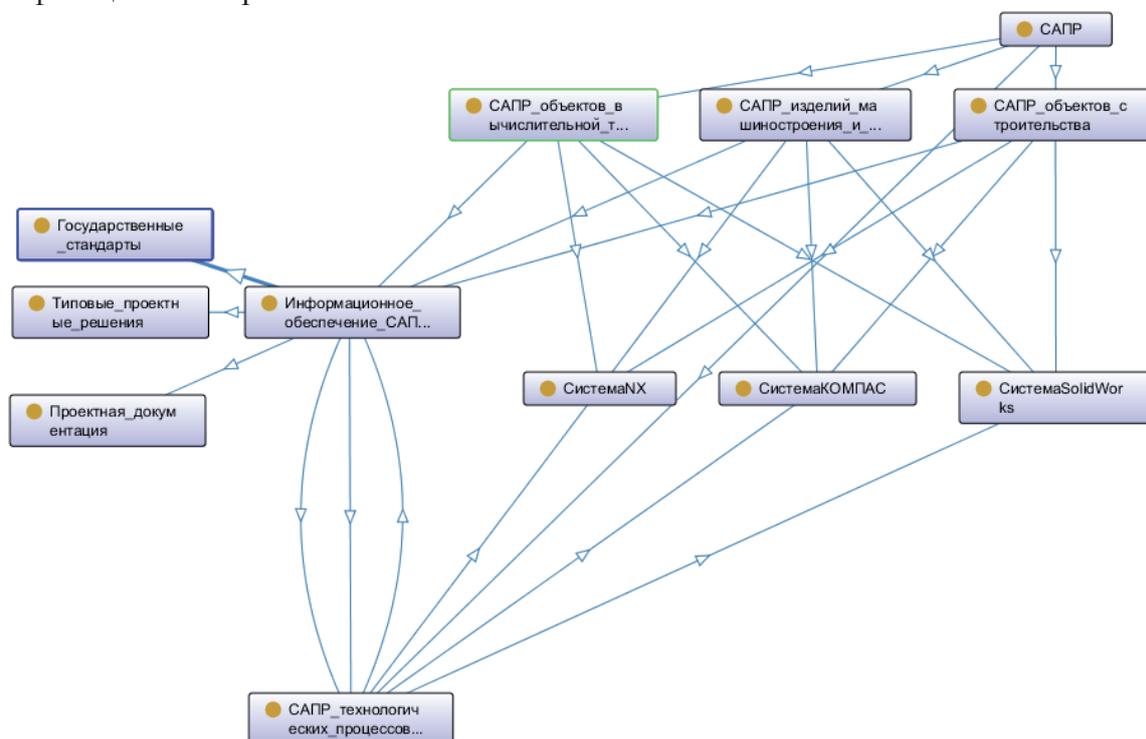


Рисунок 4 – Онтологическая схема учебной Про САПР верхнего уровня

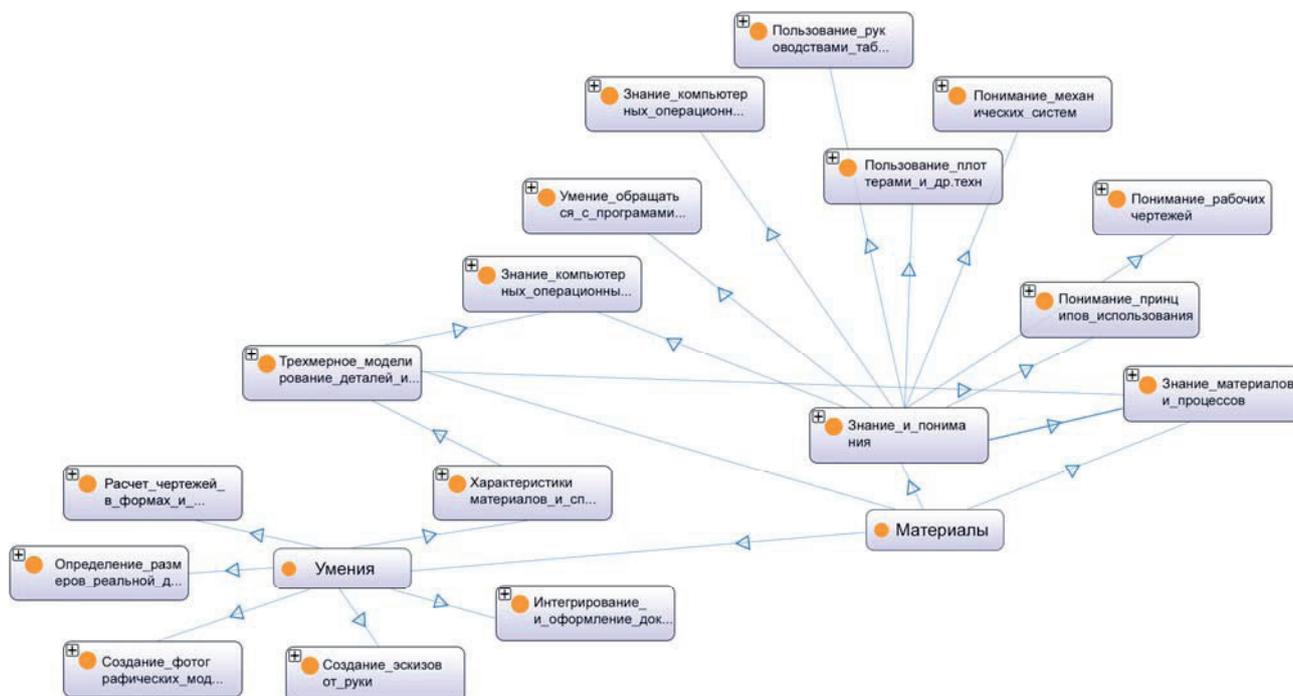


Рисунок 5 – Фрагмент возможного расширения онтологической базы с учётом уровней обучения

Для решения первой задачи необходимо последовательно изучить все необходимые сущности в рамках выделенной Про. В общем случае возможно множество путей освоения

ПрО. Чем более развитой является онтологическая БЗ, тем больше возможных траекторий обучения. Обучаемому необходимо последовательно обойти все сущности и, желательно, по кратчайшему пути. Сначала должны быть освоены базовые понятия и только затем вытекающие из них знания.

Для иллюстрации результатов работы алгоритма *DialogApp* приведён тестовый вариант траектории обучения базовым технологиям геометрического моделирования в САПР. Последовательность освоения укрупнённых дидактических единиц обучения (аспектов) и соответствующие им примеры приведены в таблице 2 (фрагментарно).

Таблица 2 – Целевая траектория (фрагменты) освоения ПрО САПР

№	Укрупнённые дидактические единицы (аспекты)	Типовые примеры дидактических единиц (сущности)	Трудоёмкость [уч. час]
1	2D -моделирование	2D1У – геометрические примитивы. 2D2У – привязки. ...	32
2	3D – твёрдотельное моделирование	3D1У – эскизы твёрдотельных операций. 3D2У – твёрдотельные операции. ...	16
3	3D – поверхностное моделирование	3D35У – эскизы поверхностных операций. 3D36У – поверхностные операции. ....	32
4	Сборки	3D41У – сопряжения. 3D42У – создание детали в контексте сборки. ...	16
5	Кинематика	3D51У – сопряжения. 3D52У – создание детали в контексте сборки. ...	8
6	Рендеринг	3D61У – источники освещения. 3D62У – фактура поверхности. ....	4
Итого			108

Целевая учебная онтология АПР формируется с использованием функций *Protégé*. Примеры поэтапного расширения онтологических структурных схем показаны на рисунках 5–7.

Граф онтологии ПрО обучения САПР приведён на рисунке 6. Тестовая БЗ включает шесть аспектов, состоящих из 94 основных сущностей, которые связаны отношениями. Прогнозируемая трудоёмкость освоения учебного материала может быть определена на основании рабочих программ курсов, предлагаемых в учебных центрах.

При обучении решению в среде САПР частных проектно-конструкторских задач траектория может быть оптимизирована за счёт сокращения учебного материала (рисунок 7).

В эксперименте был взят набор сущностей, который необходим для освоения навыков 3D моделирования на третьем уровне подготовки специалиста по САПР объектов машиностроения. В процессе оптимизации было выделено три аспекта, включающих 10 основных сущностей. Данная траектория позволила сократить трудоёмкость обучения более чем на 30% по сравнению с полноформатным вариантом курса.

## Заключение

Предложено использовать онтологический подход к формированию БЗ МтО и целевых траекторий обучения персонала САПР. Сформирована онтологическая БЗ обучения АПР.

Проведён онтологический анализ обучения АПР в машиностроении, позволяющий формирование траекторий целевого или индивидуального обучения.

Для автоматизации построения и оптимизации траекторий индивидуального обучения специалистов по САПР разработано специальное программное обеспечение, интегрированное с онтологическим редактором *Protégé*.

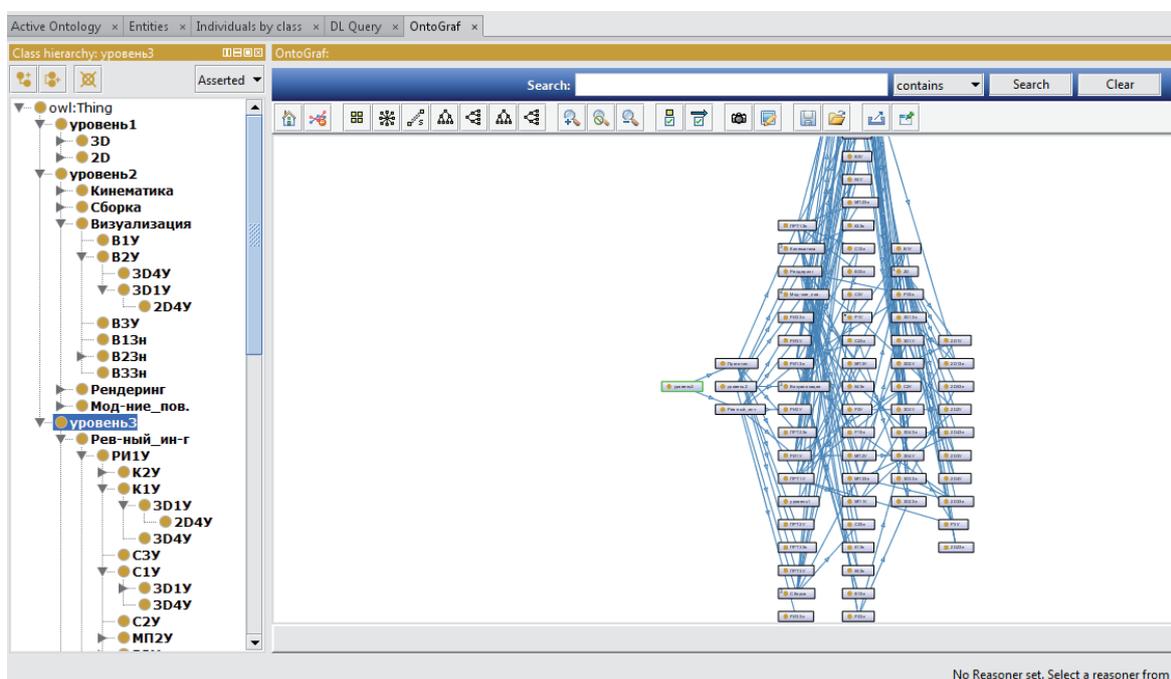


Рисунок 6 – Граф онтологии Про обучения САПР

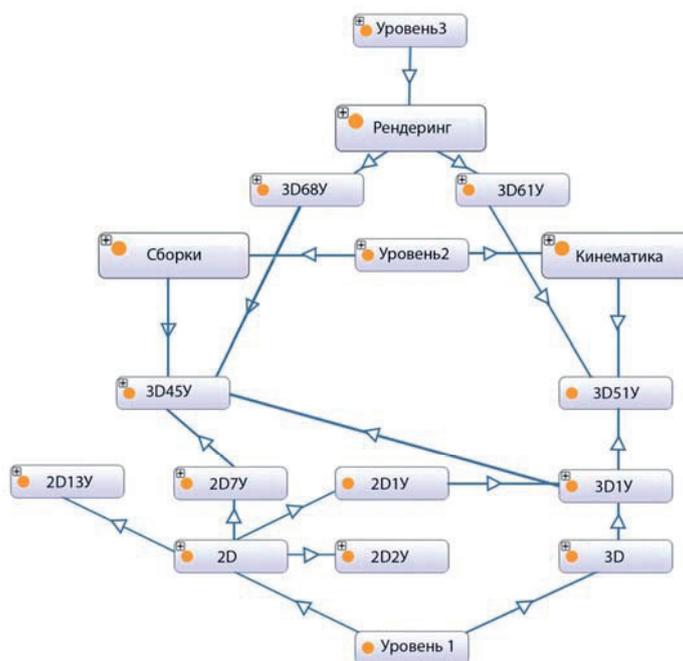


Рисунок 7 - Минимизированная Про для обучения САПР на третьем уровне обучения

## Благодарности

Разработка была поддержана грантом Фонда В. Потанина (2019-2020 гг).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Хилл, Н. Думай и процветай / Н. Хилл; [пер. с англ. С.М. Богданова]. Москва: Эксмо, 2001. – 240 с.
- [2] *Cherepashkov, A.A.* Ontological Approach to Training Personnel for Complex Automated Industrial Systems / A.A. Cherepashkov, A.G. Sharaukhova // XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Russia, Samara, 2019. P.104-107. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976822.
- [3] Электронная энциклопедия PLM. <http://plmpedia.ru/>.
- [4] *Черепашков, А.А.* Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учебник / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. Санкт-Петербург: Проспект науки, 2018. 592 с.
- [5] *Колчин, А.Ф.* Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.В. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
- [6] *Dankwort, C.W.* Engineers' CAx education – it's not only CAD / C.W. Dankwort, R. Weidlich, B. Guenther et al. / Computer-Aided Design, No36, 2004. P.1439–1450.
- [7] *Самойлов, П.А.* ИТ для планирования производства в российских реалиях: отраслевой опыт / П.А. Самойлов. Isicad: Российский информационно-аналитический портал, 12 марта 2019. [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=20382](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20382).
- [8] *Шараухова, А.Г.* Виртуальное учебно-научное предприятие в системе инженерного образования в машиностроении / А.Г. Шараухова, А.А. Черепашков, Н.В. Носов, Е.А. Якубович // Машиностроение: инновационные аспекты развития. Санкт-Петербург, 2019. 6 с.
- [9] ГОСТ 22487-77 Проектирование автоматизированное: термины и определения: изд. офиц. введ. 01.07.1978. Москва: Издательство стандартов, 1978. – 14 с.
- [10] Большая Советская энциклопедия. <http://bse.sci-lib.com/>.
- [11] ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering - Vocabulary ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Разработка программного обеспечения и системотехника. Словарь. 418 с.
- [12] РД 09-167-97. Методические указания по организации и осуществлению надзора за конструированием и изготовлением оборудования для опасных производственных объектов в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Введены 01.02.98. <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/4JC.html/>.
- [13] Р 50.1.031-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции: изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 2001. 27 с.
- [14] ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения. Введение 2014-06-01. <http://docs.cntd.ru/document/1200106859>.
- [15] Protégé. <http://protege.stanford.edu>.
- [16] Свидетельство № 2020664999 Российской Федерация. «DialogApp»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / А.Г. Шараухова, А.А. Черепашков; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО СамГТУ (RU). Зарегистрировано ФС РФ по интеллектуальной собственности 20.11.2020.
- [17] *Beazley, D.* Python: Essential Reference / David Beazley, Guido Van Rossum // New Riders Publishing, 1999.
- [18] *Dijkstra, E.W.* A note on two problems in connexion with graphs / E.W. Dijkstra // Numerische Mathematik, 1959. Vol. 1, Iss. 1. P.269-271. DOI:10.1007/BF01386390.

## Сведения об авторах



*Черепашков Андрей Александрович*, 1959 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1982 г., д.т.н. (2014). Заведующий кафедрой «Инженерная графика» Самарского государственного технического университета. В списке научных трудов более 100 работ в области САПР, в т.ч. учебник «Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении». Author ID (РИНЦ): 472164; ORCID: 0000-0001-9945-3859, Scopus ID: 57203862254, ResearcherID (WoS): E-2369-2014. [eg@samgtu.ru](mailto:eg@samgtu.ru).



*Шараухова Анастасия Григорьевна*, 1992 г. рождения. Окончила Самарский государственный технический университет (бакалавриат 2013, магистратура 2015, аспирантура 2020). Научные интересы в области САПР. Author ID (РИНЦ): 1100770, ORCID: 0000-0003-0357-5128. [anshag13@yandex.ru](mailto:anshag13@yandex.ru).

Поступила в редакцию 30.11.2020, после рецензирования 20.03.2021. Принята к публикации 25.03.2021.

## The Ontological basis for teaching CAD staff

**A.A. Cherepashkov, A.G. Sharaukhova**

*Samara State Technical University, Samara, Russia*

### Abstract

The urgency and significance of the application of the ontological approach in teaching computer-aided design is substantiated. Training and retraining of personnel is one of the important stages in the implementation of automated systems for industrial purposes, and methodological support tools are necessarily present in the portfolio of all leading manufacturers of computer-aided design systems (CAD). Principles and approaches to the formation of the ontological base of the subject area of teaching computer-aided design are proposed. To highlight the structure of educational ontology, it is proposed to use the concepts of aspects of mechanical engineering design. The hierarchy of levels of training for CAD users is determined. At the operator level, training comes down to mastering a limited set of terms and concepts implemented in specific system solutions. At the technician level, it is required to master a wider set of standard design procedures typical for a whole class of basic CAD technologies. At the engineering levels, the user acquires the knowledge necessary to master the technologies and CAD tools in the complex of all stages of technical preparation of production. The article describes the method of ontological analysis of the studied subject area, which ensures the formation of target trajectories for training and retraining specialists, providing for a number of sequential stages in the formation of an ontological base. The article describes the method of ontological analysis of the subject area of education, which ensures the formation of target trajectories of training and retraining of specialists and provides for a number of successive stages of the formation of an ontological base. To optimize the individual trajectories of training CAD specialists, special software has been developed, integrated with the Protégé ontological editor.

**Key words:** *ontology, knowledge base, CAD, onto analysis, training*

**Citation:** *Cherepashkov AA, Sharaukhova AG. The Ontological basis for teaching CAD staff [In Russian]. Ontology of designing. 2021; 11(1): 51-63. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-51-63.*

**Acknowledgment:** *The development was supported by a grant from the V. Potanin Foundation (2019-2020).*

### List of figures and table

- Figure 1 - The scheme of interaction of automated systems in the life cycle of mechanical engineering products
- Figure 2 - Hierarchical level model of CAD processes
- Figure 3 - The structure of the modular system of the DialogApp program
- Figure 4 - Ontological schema of the educational subject area of the top-level CAD system
- Figure 5 - Fragment of a possible expansion of the ontological base, taking into account the levels of education
- Figure 6 - CAD learning domain ontology graph
- Figure 7 - Minimized subject area for CAD training at the third level of learning
- Table 1 - Correspondence between the hierarchy of CAD models and CAD training
- Table 2 - Target trajectory (fragments) of studying the CAD subject area

### References

- [1] **Hill N.** Think and grow rich [In Russian]. Trans. from English S.M. Bogdanov. Moscow: Eksmo, 2001. 240 p.
- [2] **Cherepashkov AA, Sharaukhova AG.** Ontological Approach to Training Personnel for Complex Automated Industrial Systems. XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Russia, Samara, 2019. P.104-107. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976822.
- [3] PLM: an electronic encyclopedia. <http://plmpedia.ru/>.
- [4] **Cherepashkov AA, Nosov NV.** Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering [In Russian]. St. Petersburg: Prospect of Science, 2018. 592 p.
- [5] **Kolchin AF, Ovsyannikov MV, Strekalov AV, Sumarokov SV.** Product lifecycle management [In Russian]. Moscow: Anacharsis, 2002. 304 p.

- [6] **Dankwort CW, Weidlich R, Guenther B. et al.** Engineers 'CAx education - it's not only CAD. *Computer-Aided Design*, 2004; 36: 1439-1450.
- [7] **Samoilov PA.** IT for production planning in Russian realities: industry experience [In Russian]. Isicad: Russian information and analytical portal. Novosibirsk: LEDAS Group of Companies, 2019. [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=20382/](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20382/).
- [8] **Sharaukhova AG, Cherepashkov AA, Nosov NV, Yakubovich EA.** Virtual educational and scientific enterprise in the system of engineering education in mechanical engineering [In Russian]. *Mechanical engineering: innovative aspects of development*. Saint Petersburg, 2019.
- [9] GOST 22487-77 Automated design: terms and definitions [In Russian]. 07/01/1978 Moscow: Publishing house of standards, 1978 14 p.
- [10] Great Soviet Encyclopedia [In Russian]. <https://bse.slovaronline.com/>
- [11] ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering - Vocabulary ISO/IEC/IEEE 24765:2010. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
- [12] RD 09-167-97 Guidelines for the organization and implementation of supervision over the design and manufacture of equipment for hazardous production facilities in the chemical, petrochemical and oil refining industries [In Russian]. 01.02.98. <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/4JC.html/>.
- [13] R 50.1.031-2001. Information technology to support the life cycle of products. Terminological dictionary [In Russian]. Part 1. Stages of the product life cycle. Moscow: Standards Publishing House, 2001. 27 p.
- [14] GOST 2.001-2013. Unified system for design documentation. General principles [In Russian]. 2014-06-01. Moscow: Standartinform, 2018. <http://docs.cntd.ru/document/1200106859>.
- [15] Protégé. <http://protege.stanford.edu>.
- [16] Certificate No. 2020664999 Russian Federation. "DialogApp": certificate of state registration of a computer program [In Russian]. A.G. Sharaukhova, A.A. Cherepashkov; applicant and copyright holder SamSTU (RU). Registered by the Federal Assembly of the Russian Federation for Intellectual Property on November 20, 2020.
- [17] **Beazley D, Rossum G.** Python: Essential Reference. New Riders Publishing, 1999.
- [18] **Dijkstra EW.** A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*. 1959; 1(1): 269-271. DOI:10.1007/BF01386390.

## About the authors

**Andrei Aleksandrovich Cherepashkov** (b. 1959) graduated from the Korolyov aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1982. DScTech. (2014). The Head of the department of Engineering Graphics at the Samara state technical university. He is a co-author of about 100 scientific articles and abstracts in the field of CAD. The author of the university textbook "Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering". Author ID (РИНЦ): 472164; ORCID: 0000-0001-9945-3859, Scopus ID: 57203862254, ResearcherID (WoS): E-2369-2014. [eg@samgtu.ru](mailto:eg@samgtu.ru).

**Anastasia Grigorievna Sharaukhova**, (b. 1992) graduated from the Samara State Technical University with bachelor's degree (2013), master's degree (2015), postgraduate study (2020). Scientific works in the field of CAD. Author ID (RSCI): 1100770, ORCID: 0000-0003-0357-5128. [anshag13@yandex.ru](mailto:anshag13@yandex.ru).

Received November 30, 2020. Revised March 20, 2021. Accepted March 25, 2021.