

**А.В. Попков**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ  
СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ  
ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННОЙ  
УЧЕБНОЙ ТРАЕКТОРИИ  
СТУДЕНТОВ ВУЗОВ**

Ижевск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего образования  
«Удмуртский государственный университет»  
Институт гражданской защиты

**А.В. Попков**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ  
ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННОЙ УЧЕБНОЙ ТРАЕКТОРИИ  
СТУДЕНТОВ ВУЗОВ**

**Монография**

Ижевск 2018

УДК 004.421:378  
ББК 32.972+74.48-268.4  
П 576

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Д.Ш. Сулейманов*  
(ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»)  
доктор педагогических наук, профессор *Ю.Н. Сёмин*  
(ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет»)

Попков А.В.

П 576 Автоматизированная система построения индивидуализированной учебной траектории студентов ВУЗов: Монография. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2018. 120 с.

В монографии проведена разработка и доказана эффективность математического, методического, алгоритмического, информационного и программного обеспечения для автоматизации управления персонализированными образовательными траекториями студентов на основе освоения компетенций ФГОС ВО.

Книга будет полезна студентам, аспирантам и преподавателям ВУЗов, а также практическим работникам образовательных систем различного уровня.

УДК 004.421:378  
ББК 32.972+74.48-268.4

©А.В. Попков, 2018

## **Введение**

В настоящее время подготовка студентов производится на основании федеральных государственных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) третьего поколения, определяющих требования к результатам освоения образовательных программ (ОП) подготовки в терминах компетентностного подхода. Данный подход описывает лишь результат образовательной деятельности, но не определяет полностью набор дисциплин подготовки.

Четверть ОП носит вариативный характер и зависит от выбора студента, что существенно отражается на результатах формирования различных компетенций. В связи с этим важной является проблема построения персонализированной траектории обучения студента в виде последовательности изучаемых дисциплин, выбора тематики научно-исследовательской деятельности и выпускной квалификационной работы.

Задачам автоматизации формирования учебных планов, процедур тестового контроля, мультимедийных обучающих программ посвящено значительное количество работ. В настоящее время отработаны методы формирования учебных планов и программ. Однако проблеме автоматизации процедур формирования персонализированной учебной траектории в системе профессиональной подготовки уделяется недостаточно внимания.

При этом использование новых информационных технологий в процессе обучения требует пересмотра взгляда на сам процесс подготовки за счет использования мощной аппаратной и программной базы. Не вызывает сомнения необходимость персонализации обучения, особенно для лиц уже имеющих профессиональное образование. Это естественным образом сокращает сроки и повышает качество подготовки специалистов. Основу процессов автоматизации формирования персонализированных учебных траекторий и их динамической корректировки должны составлять адекватные модели процедур тестового контроля и структуризации учебной информации.

Основная **проблема**, выявленная в этом исследовании - отсутствие логики между компетенциями ФГОС ВО и результатами их освоения в

дисциплинах ОП. Важным принципом современного образования является принцип междисциплинарности обучения, направленный в контексте новых стандартов на формирование результатов освоения различных по природе компетенций стандарта на едином содержании в дисциплинах ОП. Поэтому разработка новых моделей и методов для планирования результатов освоения компетенций стандарта, обеспечивающих логику связей между компетенциями стандарта и их конкретными результатами освоения на основе принципа междисциплинарности обучения, и их использование для автоматизации управления персонализированными образовательными траекториями студентов на основе оценок фактически достигнутых ими результатов является весьма актуальной темой.

Целью работы является разработка математического, методического, алгоритмического, информационного и программного обеспечения для автоматизации управления персонализированными образовательными траекториями студентов на основе освоения компетенций ФГОС ВО.

В первой главе **«Исследование проблем, связанных с автоматизацией построения учебных траекторий студентов в условиях перехода на ФГОС ВО»** проведено исследование понятий «образовательная траектория» и «образовательный маршрут». Выполнен анализ подходов к управлению образовательными траекториями.

Проведен анализ ФГОС ВО и существующей концептуальной модели для извлечения результатов освоения компетенций стандарта и выявлены ее недостатки, на основе результатов анализа можно поставить задачу разработки математической модели, определяющей связь между компетенциями стандарта и результатами их освоения на основе принципа междисциплинарности обучения.

Проведено исследование компетенций стандарта и рассмотрены методики разработки составных и составляющих компетенций для освоения в ходе ОП. Проведен анализ подходов к дифференциации знаний, умений и

навыков в профессиональных стандартах, в европейских рамках квалификаций, а также в международных стандартах.

Проведен анализ основных математических методов и моделей процессов обучения и тестового контроля. Проведен анализ функциональных зависимостей моделей научения с точки зрения возможности их использования при моделировании учебного плана.

Во второй главе **«Разработка информационных моделей восприятия и забывания учебной информации»** Проведен анализ и для аппроксимации функции забывания терма предложен класс процессов авторегрессии второго порядка, которые за счет своей параметризуемости позволяют моделировать широкий набор функциональных зависимостей.

Разработана динамическая модель изучения модулей учебного плана в виде сетевой вероятностной модели, которая учитывает неопределенность времен изучения и рассчитывает рекомендуемую учебную нагрузку.

Сформирован критерий эффективности учебного плана, как многокритериальная постановка максимизации усвоения всех термов.

В третьей главе **«Автоматизация построения персонализированной учебной траектории студентов по направлению «Техносферная безопасность»»**. Выполнено формализованное описание процесса обучения и проведена классификация пользователей и компонентов системы с целью формальной декомпозиции системы подготовки. Проведена формализация модели учебного плана в виде нечеткого отношения и построена формальная модель композиции включения модулей в учебный план как нечеткой переменной.

Применены методы и алгоритмы формирования персонализированной образовательной траектории по результатам тестового контроля и структурной связности методических материалов на базе нечетких множеств и нечетких отношений.

Разработана методика подготовки и аттестации студентов, включающая этапы профориентации, входного контроля, непосредственно обучения и выходного контроля.

В четвертой главе **«Программная реализация методики генерации персонализированной образовательной траектории по направлению «Техносферная безопасность»»** Разработана программная среда консультанта с функциями автоматической генерации и интерактивного редактирования образовательной траектории в адаптивной системе подготовки учащихся по направлению «Техносферная безопасность».

Проведена апробация и внедрение методов и алгоритмов в практическое применение в учебном процессе ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет». Показано, что внедрение результатов работы позволяет повысить качество и эффективность процесса подготовки студентов по направлению «Техносферная безопасность».

# **Глава 1. Исследование проблем, связанных с автоматизацией построения учебных траекторий студентов в условиях перехода на ФГОС ВО**

## **1.1. Исследование понятия учебной траектории**

Анализ литературы [3, 12, 22] позволяет сделать вывод о большом количестве трактовок понятия «персонализированная учебная траектория».

С одной стороны, персонализированная учебная траектория рассматривается как индивидуальный путь реализации личностного потенциала каждого обучающегося в образовании. Под личностным потенциалом обучающегося здесь понимается совокупность его организаторских, познавательных, творческих и иных способностей. Процесс выявления, реализации и развития данных способностей обучающихся происходит в ходе их движения по индивидуальным траекториям.

С другой стороны, учебная траектория трактуется как определенная последовательность элементов образовательной деятельности каждого учащегося по реализации собственных целей, соответствующая их способностям, возможностям, мотивации, интересам, осуществляемая при координирующей, организующей, консультирующей деятельности педагога во взаимодействии с родителями [4].

Некоторые ученые (С.А. Вдовина, Г.А. Климов, В.С. Мерлин) рассматривают данное понятие как проявление стиля учебной деятельности каждого обучающегося, зависящего от его мотивации, обучаемости и осуществляемое в сотрудничестве с педагогом.

С другой стороны, учебная программа определяется как персонализированная траектория обучающегося, созданная с учетом его индивидуальных особенностей [19]. Определение учебной программы как индивидуальной траектории является ее ведущей характеристикой и позволяет представить образовательную программу своеобразной моделью путей достижения образовательного стандарта, когда выбор пути реализации

стандарта зависит от индивидуальных особенностей конкретного обучающегося.

Понятие образовательной программы отражает, прежде всего, идеи индивидуализации и дифференциации образовательного процесса. При этом под термином «индивидуализация» понимается учет в процессе обучения индивидуальных особенностей обучающихся во всех формах и методах обучения. «Дифференциация» означает учет индивидуальных особенностей в форме, предполагающей группировку обучающихся на основании выделения определенных особенностей.

Понятие *«персонализированная учебная траектория»* предполагает следующие направления реализации: содержательный (вариативные учебные планы и образовательные программы, определяющие индивидуальный образовательный маршрут); деятельностный (специальные педагогические технологии); процессуальный (организационный аспект).

В условиях перехода на ФГОС ВПО и требования к студентоцентрированности образовательного процесса персонализированная учебная траектория представляет собой целенаправленную образовательную программу, обеспечивающую студенту позиции субъекта выбора, разработки, реализации образовательного стандарта при осуществлении педагогической поддержки, самоопределения и самореализации.

Необходимо предоставить возможность студентам выбора и формирования учебного плана, расписания учебных занятий, построения персонализированной учебной траектории. Решить данную проблему помогает модульное построение основных образовательных программ. Учитывая большой поток студентов и нагрузку на преподавателей - решение этой задачи невозможно без разработки алгоритмов и методов автоматизации, синтеза и управления учебными траекториями студентов.

В соответствии с [5], учебная траектория рассматривается как упорядоченный набор состояний компетентности обучаемого для достижения

результатов освоения компетенций стандарта в ходе реализации основной образовательной подготовки (ООП) выпускников.

В 2011-2012 учебном году российские вузы перешли на федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (ФГОС ВО). ФГОС ВО РФ - это совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ высшего образования образовательными учреждениями, имеющими государственную аккредитацию. Важным отличием новых стандартов от предыдущих стандартов является *использование компетентностного подхода и переход к двухуровневой системе* (бакалавр - магистр) для большинства направлений подготовки высшего профессионального образования в России.

Важнейшим качеством ФГОС ВО является переход от требований, формулируемых на языке объемов учебной нагрузки и фиксирования элементов учебного плана, к языку компетенций и результатов их освоения.

Язык компетенций и результатов их освоения делает содержание образования прозрачным и доступным для всех заинтересованных сторон, позволяет снять барьеры для академической и профессиональной мобильности студентов и выпускников, реализовать академические свободы университетами и студентами в условиях сохранения национальных традиций и разнообразия культур, обеспечивает признание образовательных программ на международном рынке образовательных услуг.

ФГОС ВО определяет минимальный набор требований к образовательной программе, вуз-разработчик вправе дополнять или расширять набор требований к компетенциям выпускника, усиливать требования стандарта. Компетенции, приведенные в ФГОС ВО, являются обязательными для разработки вузом основных образовательных программ. Вуз имеет право предусматривать дополнительные компетенции с учетом направленности (профиля) своей основной образовательной программы. Университеты, имеющие право самостоятельно разрабатывать образовательные стандарты и требования к ним,

самостоятельно определяют профили подготовки бакалавров или реализуют ОП без профилей.

Анализ компетенций ФГОС ВО различных направлений и уровней подготовки показал, что формулировки общекультурных и профессиональных компетенций (ОК и ПК) в стандартах являются рамочными, что дает большую свободу при разработке результатов их освоения в ОП. Характерной особенностью компетенций стандарта является то, что они, как правило, содержат не одну, а несколько взаимосвязанных между собой формулировок.

С точки зрения автоматизации процесса извлечения конкретных результатов освоения компетенции стандарта, наиболее перспективным является подход, в котором разработчики ОП вначале выделяют составные компетенции стандарта, устанавливают для них минимальные (ожидаемые) уровни формирования результатов их освоения, а затем определяют на основе принципа междисциплинарности составляющие компетенции стандарта в дисциплинах (модулях) ОП. *Принцип междисциплинарности* обучения направлен в контексте новых стандартов на формирование результатов освоения различных по природе компетенций стандарта на едином содержании в дисциплинах ОП. «Компетенции, формируемые в ходе освоения конкретной дисциплины (модуля), могут быть разделены на две группы: это - основные и сопутствующие компетенции. Основные компетенции для дисциплины (модуля) - компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины через результаты обучения в виде знаний, умений и навыков на основе предметного содержания дисциплины (модуля). ... Сопутствующие компетенции для дисциплины (модуля) - компетенции, формируемые дополнительно к основным, как результаты применения соответствующих технологий преподавания, обучения и оценивания по дисциплине и не связанные с предметным содержанием дисциплины (модуля). ... Основные и дополнительные компетенции дисциплины (модуля) взаимно дополняют и развивают себя, так основные компетенции формируются на основе развития и применения сопутствующих компетенций к конкретному содержанию

дисциплины. Виды и число компетенций выпускника, формируемых в ходе изучения конкретной дисциплины (модуля), определяются направленностью и содержанием дисциплины (модуля), ее трудоемкостью, а также видами и формами применяемых технологий преподавания, обучения и оценивания»[6].

## **1.2. Исследование методик разработки компетентностных моделей выпускников образовательной программы, реализующей ФГОС ВО**

Компетентностная модель выпускника (КМВ) основной образовательной программы (ОП) представляет собой пакет взаимосвязанных компетенций выпускника ОП и результатов их освоения, ожидаемых при завершении ОП. КМВ ОП описывается на следующих уровнях ее представления:

1. Составные компетенции выпускника ОП;
2. Составляющие компетенции выпускника ОП;
3. Результаты освоения компетенций выпускника ОП.

В ряде случаев компетенция из ФГОС ВО может содержать не одну, а несколько формулировок компетенций, взаимосвязанных совокупным результатом обучения. Каждая такая формулировка является составной для компетенции ФГОС ВО. Методика разработки КМВ ОП включает анализ компетенций ФГОС ВО, определение их составных компетенций и установление требований к ожидаемому уровню их освоения в соответствии с заявленным профилем подготовки. Разработчики при этом могут устанавливать различные требования к ожидаемому уровню освоения составных компетенций выпускника ОП, реализующей ФГОС ВО. Составные компетенции выпускника ОП (читай «составные компетенции стандарта») в КМВ служат основой для разработки составляющих компетенций ФГОС ВО в дисциплинах ОП. Среди составных компетенций выпускника ОП в дисциплине выделяются основные, дополнительные и сопутствующие компетенции. Основные компетенции непосредственно связаны с содержанием предметной области изучения дисциплины, а дополнительные компетенции, как правило, являются компетенциями из других предметных областей обучения (из других

дисциплин), но частично формируются на содержании данной дисциплины. Разработчики рабочих программ дисциплин могут запланировать формирование сопутствующих компетенций, которые непосредственно не связаны с содержанием данной дисциплины, а являются результатом проявления технологий преподавания и обучения, используемых при реализации программы данной дисциплины.

В основе разработки формулировок составных и составляющих компетенций стандарта хорошо известная методика поочередной детализации (уточнения) объектов и видов деятельности выпускника ОП [3]. Для разработки формулировок составных компетенций стандарта рассмотрены следующие варианты деления формулировки компетенции стандарта на составные:

- деление единственной формулировки с уточнением в них объектов и (или) видов деятельности,
- простое деление сложной формулировки,
- деление сложной формулировки с уточнением в них объектов и (или) видов деятельности.

Целесообразность деления компетенции стандарта на то или иное количество составных компетенций определяется разработчиком ОП, исходя из профиля данной программы и различия требований к ожидаемым уровням их формирования.

Требования к ожидаемым уровням формирования составных компетенций стандарта задаются в виде дескрипторов знаний, умений и личностных качеств, определяющих дифференциацию понятий «должен знать», «должен уметь делать» и «должен относиться к осуществляемой деятельности» в соответствии с известными подходами к дифференциации знаний, умений и навыков в профессиональных стандартах, в европейских рамках квалификаций, а также в международных стандартах ABET, CDIO, EUR-ACE и т.п.

В соответствии с «Дублинскими дескрипторами» [2], в структуре квалификаций определены пять основных групп результатов обучения:

- знание и понимание;

- применение знания и понимания;
- принятие решений;
- коммуникация;
- навыки самообучения.

Европейская рамка квалификаций (ЕРК) описывает планируемые результаты обучения в терминах знаний, умений и компетенций и применима для всех типов образовательных программ (основных, дополнительных, программ профессиональной подготовки, программ повышения квалификации). В ЕРК одним из ключевых понятий является «компетенция / компетентность», предполагающее готовность и способность специалиста использовать свой потенциал - знания, умения, опыт и личностные качества - в определенной социальной или профессиональной области. Важными атрибутами компетентности являются ответственность и самостоятельность. ЕРК [1] определяет требования к результатам обучения выпускников магистерских программ следующим образом:

*Знания:*

- иметь глубокие знания в области специализации и использовать их как основу развития оригинального мышления и проведения исследований;
- иметь критическую осведомленность о передовых знаниях и достижениях как в области специализации, так и на стыке различных областей знаний;

*Навыки:*

- уметь решать поставленные задачи, проводить исследования, осуществлять поиск информации с целью получения новых знаний из различных областей и их интеграции;

*Компетенции:*

- управлять сложными и непредсказуемыми ситуациями трудовой деятельности и обучения, требующими использования новых стратегических подходов;
- брать ответственность за вклад в развитие профессиональных знаний и практики и/или оценку стратегической деятельности коллег.

Совет по аккредитации в области техники и технологий (АВЕТ, США), признанный лидер в аккредитации программ в области техники и технологий, был первым агентством, которое стало использовать компетентностный подход при оценке качества и аккредитации образовательных программ. Разработанные АВЕТ Engineering Criteria 2000 являются «мировым стандартом» и используются аккредитационными агентствами многих стран в качестве основы для разработки собственных критериев национальных систем аккредитации. В одной из последних версий критериев аккредитации АВЕТ требования к результатам обучения формулируются следующим образом:

«Образовательные программы в области техники и технологии должны гарантировать своим выпускникам достижение следующих результатов обучения:

- (a) способность применять знания в области математики, естественных наук и в области специализации;
- (b) способность планировать и проводить эксперимент, анализировать и интерпретировать данные;
- (c) способность проектировать системы, компоненты или процессы в соответствии с поставленными задачами;
- (d) способность работать в команде в том числе и по междисциплинарной тематике;
- (e) способность формулировать и решать инженерные задачи;
- (f) осознавать профессиональные и этические обязанности;
- (g) эффективно общаться;
- (h) демонстрировать широкую эрудицию, необходимую для понимания глобальных и социальных последствий инженерных решений;
- (i) понимать необходимость и уметь учиться постоянно;
- (j) демонстрировать знание современных проблем в области профессии;
- (k) применять навыки и современные инженерные методы, необходимые для инженерной деятельности.

Вышеописанные требования к результатам обучения могут дополняться требованиями для каждой конкретной программы с учетом ее направленности (профиля). Достижение результатов обучения должно способствовать достижению целей образовательной программы. В вузе/подразделении должен существовать механизм оценивания результатов обучения (по программе в целом и по отдельным дисциплинам) и документы, подтверждающие их достижение» [8].

Видением проекта CDIO (*Conceive - Design - Implement - Operate*) является предоставление студентам образования, которое подчеркивает инженерные основы, изложенные в контексте жизненного цикла реальных систем, процессов и продуктов «Задумай - Спроектируй - Реализуй - Управляй».

Инициатива CDIO имеет три общие цели - обучение студентов, чтобы они могли продемонстрировать:

1. Глубокие практические знания технических основ профессии;
2. Мастерство в создании и эксплуатации новых продуктов и систем;
3. Понимание важности и стратегического значения научно- технического развития общества.

Инициатива CDIO создает ряд ресурсов, которые могут быть адаптированы и реализованы отдельными программами для вышеуказанных целей. Далее приведен фрагмент требований стандарта CDIO, формулирующий требования к результатам подготовки по инженерной программе:

Инженерное мышление и способность решать задачи:

1. Обнаружение и формулирование проблемы;
2. Моделирование;
3. Оценка и качественный анализ;
4. Анализ с сомнением;
5. Решения и рекомендации.

Рамочные стандарты EUR-ACE разработаны для профессиональной аккредитации образовательных программ. Стандарты содержат требования к

результатам обучения, руководство и процедуру оценивания и аккредитации программ, а также форму для публикации результатов аккредитации. Рамочные стандарты EUR-ACE сформулированы в терминах результатов обучения, которые содержат общие требования к компетенциям выпускников инженерных программ первого и второго уровней. В рамочных стандартах EUR-ACE требования к результатам обучения выпускников структурированы по следующим шести разделам:

- знания и понимание;
- инженерный анализ;
- инженерное проектирование;
- исследования;
- инженерная практика;
- личностные навыки.

Разделы «знания и понимание» и «инженерный анализ» содержат требования к фундаментальным знаниям в области естественных наук, математики и в области специализации и к способности использовать эти знания. Разделы «инженерная практика» и «личностные навыки» описывают общие и специальные навыки, которые должны приобретать выпускники образовательной программы. Разделы «инженерное проектирование» и «исследования» описывают результаты, которые выпускники образовательной программы должны демонстрировать на практике, и предполагают, что в процессе обучения должны быть созданы условия, позволяющие выпускникам продемонстрировать способности к анализу, синтезу и интеграции знаний и умений из различных областей. Требования стандарта EUR-ACE для программ второго уровня в разделе «Знание и понимание»:

Выпускники программ *второго уровня* должны иметь:

- глубокие знания и понимание принципов в области специализации;
- критическую осведомленность о передовых знаниях и достижениях в области специализации.

Результаты освоения компетенций стандарта представляют набор конкретных знаний, умений и навыков (ЗУН), которые должны быть у студента для формирования соответствующих им составляющих компетенций в дисциплине (модуле). ЗУН формулируются в соответствии с ожидаемыми уровнями по тарификатору результатов обучения (компетенций), они содержат только те знания, умения и навыки, которые сможет зафиксировать, измерить и оценить преподаватель данной дисциплины. Для этого у преподавателя дисциплины должны быть соответствующие оценочные средства, обеспечивающие текущий, рубежный и промежуточный контроль всех заявленных результатов освоения компетенций стандарта в дисциплине. При этом характеристики учебной нагрузки являются их важнейшими идентификаторами.

### **1.3. Исследование подходов к построению персонализированных учебных траекторий студентов**

Исследования в области управления образовательными траекториями студентов проводились еще до перехода на ФГОС ВО [4, 5, 6]. Проблема разработки и управления образовательными траекториями студентов связана, прежде всего, с отбором и структурированием содержания ОП, с созданием учебных планов, определяющих порядок и трудоемкость изучения дисциплин ОП, в том числе и вариативных.

На основе проведенного анализа источников литературы и опыта управления образовательными траекториями были выделены следующие подходы:

- подход на основе макротраекторий студентов;
- психодиагностический принцип формирования индивидуальной образовательной траектории;
- управление электронным обучением с учетом функционального состояния обучающегося.

Подход к управлению образовательными траекториями с использованием макротраекторий [21] был разработан еще до ввода ФГОС ВО и основывался на поочередной детализации объектов и видов деятельности для разработки формулировок компетенций в соответствии с концептуальной моделью извлечения результатов освоения компетенций из избыточного содержания образования [20]. В таких формулировках компетенций хорошо прослеживалась причинно-следственная связь между результатами профессиональных и универсальных инструментальных компетенций выпускников, которая определяла макротраекторию обучения выпускников при переходе с предпрофильного на профильный этап подготовки [19].

Сторонники психодиагностического принципа формирования индивидуальной образовательной траектории [4] указывают на связь психодиагностики с учебной деятельностью - это подразумевает помощь в адаптации студента скорее к ситуации обучения в вузе, чем к самому обучению (Смирнов, 1995; Зимняя, 2000; Фокин, 2002). В зависимости от выявленных при тестировании абитуриентов индивидуальных уровней владения знаниями в той или иной области составляется индивидуальный план обучения, позволяющий с опорой на имеющийся потенциал компенсировать выявленные недостатки в индивидуальной системе знаний. «Роль психолога была существенной на этапах составления таких индивидуальных программ обучения, которые подводили студентов с разных стартовых позиций к одинаково высокому уровню владения знаниями и обеспечивали их интеллектуальный рост (Педагогика и психология..., 2002).

Можно сказать, что такая модель, с одной стороны, близка к идее Л.С. Выготского о «зоне ближайшего развития», с другой - реализует принцип индивидуального подхода к обучению. Сомнение вызывает лишь универсально поставленная цель - одинаковый уровень владения знаниями. Такая цель не представляется достижимой, и, более того, она не представляется обязательной» [4].

Построение индивидуальных траекторий обучения студентов с учетом функционального состояния студента ведется с целью сохранения здоровья студентов и снижения «стоимости» достигнутого результата обучения [5]. Для этого предложены системы адаптивного электронного обучения, которые способны при формировании индивидуальной траектории обучения учитывать в реальном режиме времени не только уровень подготовки студента, но и его психофизиологическое (функциональное) состояние. Это состояние можно определить по параметрам метода анализа variability сердечного ритма (ВСР). Так как ритм сердца реагирует на все изменения во внешней среде и внутри организма (Баевский Р.М.), то с помощью этого метода хорошо отслеживается уровень напряжения регуляторных систем организма, возникающий в ответ на любое стрессорное, физическое, эмоциональное, интеллектуальное воздействие.

Технология балльно-рейтинговой системы (БРС) оценивания учебных результатов студентов основана на планировании и мониторинге успешного прохождения каждого вида контроля по дисциплине (модулю), выраженного соответствующим числом баллов. БРС используется в ходе текущего и рубежного контроля персонального освоения учебных модулей, а так же итогового контроля дисциплины, способствует планомерной самостоятельной работе студентов за счет формирования положительной мотивации достижения гарантированного успеха.

Анализ автоматизированных балльно-рейтинговых систем (БРС) вузов [6, 8, 25, 37] для планирования и оценивания результатов обучения студентов показал, что на текущий момент планирование и оценивание РО в автоматизированных БРС проводится только для оценивания результативности студентов по дисциплине (модулю) в целом, без привязки этих оценок к компетенциям стандарта. Поэтому ближайшей задачей модернизации таких систем станет доработка технологии, обеспечивающей накопление и обработку оценок не только по дисциплине (модулю), но и по компетенциям стандарта по всем дисциплинам (модулям) ОП.

На основе проведенного анализа литературных источников можно утверждать, что одной из важных и наиболее сложных является проблема оценивания уровня сформированности компетенций студентов [1]. Отечественные и зарубежные ученые считают, что системное оценивание результатов освоения компетенций с целью выявления характера их приращения по времени должно проводиться путем сравнения полученных результатов с нормами, средними величинами или путем сопоставления с результатами предыдущих диагностических процедур. При этом большое внимание уделяется самооцениванию (рефлексии) обучающимся достигнутого уровня сформированности результатов освоения компетенций и корректировке образовательной траектории на основе полученных выводов.

Анализ практики традиционного обучения обнаруживает стихийность, нерациональное использование методов и форм оценки знаний, отсутствие дидактической целенаправленности и систематичности в проведении контроля, произвольность разработки каждым педагогом своей системы проверочных заданий и оценочных шкал [23].

Оценочные средства для компетенций должны контролировать синтез частных знаний, умений и навыков при решении задачи из сферы будущей профессиональной деятельности.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО в БРС предусмотрены следующие виды контроля результатов обучения студентов: текущий, рубежный, промежуточный и итоговый контроль.

*Текущий* контроль проводится с использованием рейтинговой системы и для мониторинга процесса формирования результатов освоения составляющих компетенций стандарта (систематическая проверка знаний и навыков студентов, запланированных в лабораторных работах, групповых упражнениях, контрольных работах, практиках и др.), как правило, осуществляется преподавателем дисциплины ОП.

*Рубежный* контроль: локальное тестирование по завершении одного или нескольких модулей дисциплины (проведение письменных контрольных работ,

выполнение кейсов, решение проектов, презентации, проведение коллоквиумов и т.д.) для установления у студентов соединять результаты обучения для демонстрации сформированности запланированных результатов освоения составляющих компетенций стандарта в дисциплине.

*Промежуточный* контроль устанавливает способность синтезировать полученные знания, умения и навыки для измерения и оценки запланированного уровня сформированности составляющей компетенции стандарта в дисциплине.

*Итоговый* контроль имеет своей целью определение уровня подготовленности выпускника в соответствии с требованиями стандарта по направлению (специальности), объективное (экспертное) оценивание уровня теоретической и практической степени подготовленности к самостоятельной профессиональной деятельности в данной предметной области относительно общих квалификационных требований специальности.

Установление связи результатов обучения и компетенций ФГОС ВО позволит оценивать не только успеваемость студентов, но и сформированность результатов их освоения. В соответствии с критерием открытости методики оценивания компетенций ФГОС ВО, информация должна быть легко контролируемой: механизм мониторинга процесса формирования компетенций ФГОС ВО предполагает иерархию доступа к оценкам компетенций. Преподаватель, ответственный за дисциплину вносит в информационную систему результаты учебных достижений (квант результата) по всем видам учебной работы с интервалом раз в две недели; деканат отслеживает результаты периодической аттестации студентов по группам, потокам, факультету; ректорат получает информацию об образовательном процессе всего университета. Информация об успеваемости может с помощью электронной почты предоставляться родителям студента. Регулярный контроль и накопление данных, хранящихся в СДО при сопровождении БРС, позволяют анализировать оценки сформированности составляющих компетенций ФГОС ВО в дисциплинах, выявлять отклонения от заданных требований, строить

прогнозы и оценивать угрозу несформированности компетенции ФГОС ВО на момент итоговой государственной аттестации, вырабатывать превентивные и коррекционные меры по минимизации отклонений.

Такая модернизация технологии БРС оценивания достижений студентов позволит в дальнейшем решить задачу автоматизации управления образовательными траекториями студентов в новой постановке. Управляющее воздействие в системе должно быть направлено на достижение оценок результатов освоения компетенций стандарта в ходе обучения и к моменту завершения ОП должно быть не ниже, чем установленный вузом минимальный уровень.

#### **1.4. Анализ методов и форм управления обучением**

Информационная технология образования - это формализованное структурированное выражение предметных областей и практического опыта, направленных на рациональную организацию учебного процесса с целью ускорения процесса получения знаний и сокращения расходов на его организацию. Это положение особенно ярко проявляется при реализации концепции всеобщего образования и разработке адаптивных учебных и тестирующих программ.

Применение информационных технологий позволяет реализовать конструктивный подход к проблеме *саморегуляции* в обучении. Обучаемый самостоятельно в диалоговом режиме конструирует принципы регуляции компонентов учения: компетентности, напряженности, решения задач, выбора стратегий.

Цель информатизации образования - глобальная рационализация интеллектуальной деятельности, обеспечивающей автоформализацию культуuroобразующих и менталесозидательных ценностей, а также автономию процесса обучения. Сетевые информационные технологии, компьютерная и телевизионная техника, учебные и тестирующие программы, мультимедиа-технологии становятся важнейшим средством индивидуализации обучения.

Приоритетность уровня ценностей определяет необходимые предпосылки и гарантии для решения остальных базовых задач образования. В целом можно выделить три уровня информатизации:

- физический - технические и программные средства вычислительной техники и телекоммуникационные средства связи;
- логический – информационные технологии проектирования обучающих систем;
- прикладной - пользовательский интерфейс обучающих систем.

Для **физического уровня** характерно, что компьютерная и телекоммуникационная техника связи практически вся разработана за рубежом и в лучшем случае наблюдается лишь ее сборка на отечественном производстве. Совершенствование технической базы сопровождается продвижением современных операционных систем в пользовательскую среду, развиваются открытые информационные системы.

Для **логического уровня** характерно совершенствование существующих, создание и развитие новых информационных технологий. Развивается методология, совершенствуются средства. В рамках базовых технологий получают развитие конкретные технологии, решающие задачи в выбранных предметных областях. Особое место в организации и моделировании процесса обучения занимают модели формализации представления знаний.

На основе базовых разрабатываются **прикладные информационные технологии** в различных областях применения, позволяющие получать конкретные продукты соответствующего назначения в виде средств, систем, сред. В рамках новых технологий в образовании уже в настоящее время получили широкое применение:

- обучающие системы, включающие электронные учебники и учебно-методические пособия, тренажеры, системы тестирования знаний и квалификации;
- системы на базе мультимедиа-технологий;

- интеллектуальные обучающие экспертные системы, которые имеют практическое значение, как для организации процесса обучения, так и в различных научных и производственных исследованиях.
- электронные средства копирования и тиражирования информации;
- электронные библиотеки, позволяющие по новому реализовать доступ обучаемых к мировым информационным ресурсам.

Методически новые информационные технологии в образовании должны быть проработаны с ориентацией на конкретное применение. Часть технологий может поддерживать учебный процесс, другие технологии способны эффективно поддержать разработку новых учебников и учебных пособий.

В связи с практической реализацией системы подготовки разрабатываются **новые методы управления** образовательными учреждениями открытого обучения, включающие:

1. Экономические (экономическое стимулирование, коммерческий расчет, ценообразование образовательных услуг, финансирование, кредитование, снабжение, сбыт, технико-экономическое планирование, экономический анализ, прогнозирование, регулирование, учет и контроль);

2. Организационно-распорядительные или административные (правовое регулирование отношений, применение законодательства, нормативных актов и положений, регламентирование, нормирование, инструктирование, распорядительные воздействия, подбор, аттестация, повышение квалификации и использование педагогических кадров);

3. Социально-психологические (планирование социально - психологического развития коллектива, стимулирование деловой и творческой активности);

4. Научно-методические (разработка научно-методического обеспечения профессионального обучения: новых форм и методов обучения, критериев оценки качества и эффективности обучения, методических пособий, учебников, положений и рекомендаций. Проведение научных экспериментов с целью внедрения в практику новых педагогических технологий).

Другие подходы, классифицированные по формам управления образовательных учреждений, предложил Поташник М.М.

- интуитивный подход - пронизательное, непосредственное видение истины с помощью чувств, чутья; управление без логических доказательств;
- эмпирический подход - управление с использованием проб, анализа ошибок и коррекции, процесса открытого обучения;
- научный подход - управление на основе системного, целевого, обобщающего диагностического анализа.

В целях диагностики стиля деятельности руководства образовательных учреждений открытого обучения целесообразно использовать личностный опросник, предложенный Г.А. Гребенюком в 1996 году. Опросник содержит 110 вопросов, которые подразделяются на пять шкал, описывающих стилевые аспекты работы руководителя:

- первая шкала - ориентация на себя, основная характеристика - степень увлеченности работой;
- вторая шкала - ориентация на «золотую середину», основная характеристика - стремление к надежному среднему уровню;
- третья шкала - ориентация на человека, основная характеристика - создание дружеской атмосферы в коллективе;
- четвертая шкала - ориентация на результат работы, основная характеристика - стремление к быстрому достижению результата любыми средствами;
- пятая шкала - ориентация на участие, основная характеристика - создание у сотрудников установки на высокий результат, на эффективную совместную работу.

Использование этого опросника позволяет выявлять особенности управленческой деятельности руководителя и вносить в нее соответствующие коррективы.

Анализ деятельности руководителей образовательных учреждений выявил, что ряд из них использует эклектичный стиль, т.е. смешение подходов, содержания, форм и методов руководства. Эклектичный стиль не имеет единой

концепции и отличается случайностью. Эклектичный стиль отличается неадекватностью действий руководителя при смене управляемых ситуаций.

### **1.5. Математические методы и модели обучения и тестового контроля**

Разработка основных принципов организации адаптивного обучения возможна лишь при условии включения в систему адекватных математических моделей процесса обучения и тестового контроля.

#### **1.5.1. Модели связности учебных материалов**

При формировании учебного плана всегда стоит задача анализа взаимосвязи дисциплин. Для каждой дисциплины должен быть определен набор базовых дисциплин, из которых берутся основополагающие понятия и определения, необходимые для чтения этой дисциплины. Особенно актуальна проблема формализации учебного плана при реализации системы дистанционного обучения.

В работе [20] предлагается увязка междисциплинарных связей путем введения модулей и термов (терминологических словарей). Обычно дисциплина включает несколько разнородных разделов, поэтому используется понятие модуля, как однородного, функционально законченного раздела дисциплины. Каждый модуль приписан к одной и только одной дисциплине.

Термом является некоторое понятие предметной области, имеющее собственную синтаксическую конструкцию. С каждым модулем связан набор входных и выходных термов. Каждый терм приписан к одному и только одному модулю. Входные термы - это понятия, необходимые для возможности изучения модуля. Они должны быть определены на более ранних этапах обучения. Это соответствие также является задачей анализа плана. Выходные термы - это понятия, которые определяются в соответствующем модуле, и которые могут использоваться в последующих модулях. В результате, модуль рассматривается как оператор преобразования входных термов в выходные.

При таком подходе взаимосвязь дисциплин может быть установлена за счет определения синонимии термов, т.е. установления ссылок входных термов

на выходные. Входные термы могут иметь написание, отличное от выходного, на который он ссылается. В этом случае будем считать их синонимами.

По дисциплине в рамках различных отчетных документов определены различные аспекты, отражающие ее количественный и качественный характер.

Дисциплина представляет структуру:

$$D = \{D_D, S_D, K_D, G_D, H_D, M_D\}, \quad (1.1)$$

где  $D_D$  - название дисциплины;  $S_D$  - семестр;  $K_D$  - кафедра, ведущая дисциплину;  $G_D$  - направленность;  $H_D$  - объем часов;  $M_D$  - упорядоченный список модулей. Элементы  $S_d$ ,  $K_d$  и  $G_d$  введены, для реализации поиска и фильтрации.

$$\text{Модуль представляет структуру: } M = \{D_M, A_M, H_M, F_D\}, \quad (1.2.)$$

где  $D_M$  - наименование модуля;  $A_M$  - аннотация модуля;  $H_M$  - объем часов, выделенных на модуль;  $F_D$  - указатель дисциплины.

$$\text{Терм-множество представляет структуру } W = W^I \cup W^O, \quad (1.3.)$$

где  $W^I$  - множество входных термов;  $W^O$  - множество выходных термов.  $W_w \in W^I$  - терм  $W$  принадлежит множеству входных термов;  $W_w \in W^O$  - терм  $W$  принадлежит множеству выходных термов.

Входные термы определены как:  $W_w^I = \{D_w^I, F_M^I, F_w^I, U_w^I\}$ , где  $D_w^I$  - идентификатор терма;  $F_M^I$  - указатель принадлежности модулю;  $F_w$  - ссылка на терм-источник (для организации синонимии термов);  $U_w$  - коэффициент усиления (определяет увеличение активности использования).

Выходные термы определены как:  $W_w^O = \{D_w^O, F_M^O, F_w^O, Z_w^O\}$ , где  $D_w^O$  - идентификатор терма;  $F_M^O$  - указатель принадлежности модулю;  $F_w^O$  - ссылка на входные термы;  $Z_w^O$  - коэффициент забываемости.

Модель связности термов определяется отношением:

$$W_{w1} \Rightarrow W_{w2} \sim \langle \text{терм } w_2 \text{ ссылается на } w_1 \rangle.$$

Каждому входному терму должен быть определен терм-источник:

$$\forall W_{w1} \in W^I \exists! W_{w2} \in W^O : W_{w1} \Rightarrow W_{w2} \quad (1.4)$$

Каждому выходному терму ставится в соответствие список входных, которые ссылаются на него (вторичные термы):

$$\forall W_{w1} \in W^0 \exists \{W_{wi}\} : W_{wi} \in W^1 \wedge W_{wi} \Rightarrow W_w \quad (1.5)$$

Термы источники и вторичные термы при ведении базы данных выводятся вместе с идентификаторами модуля (он единственный) и дисциплины (она единственная), что позволяет проводить визуальный контроль.

Отношение на множестве термов представляет собой двудольный граф:

$W^0$  являются источниками для  $W^1$  и задаются  $W^0 \Rightarrow W^1$ ;

$W^0$  определяются в модуле на основании  $W^1 W^1 \Rightarrow W^0$ .

Если во втором случае всегда выдержана синхронизация термов по времени, то в первом случае при ведении базы она может быть нарушена. Эта задача и задача анализа связности термов является базовой для анализа связности дисциплин.

Из множества термов представляют интерес подмножества:

$$W^{OE} - W^{OE}_{w \in W^0} : \neg \exists W^1_{wi} W^{OE}_{w \Rightarrow W^1_{wi}} \quad (1.6)$$

$$W^{IE} - W^{IE}_{w \in W^1} : \neg \exists W^0_{wo} W^0_{wo \Rightarrow W^1_w} \quad (1.7)$$

$W^{OE}$  - подмножество висячих термов, которые в дальнейшем нигде не используются. Если это множество не пустое, то термам должны соответствовать термы паспорта компетенций ФГОС.

$W^{IE}$  - подмножество неопределенных термов, не имеющих ссылки на выходной.

Таким образом, связность модулей можно определить на основании связности термов. Выбрав два произвольных модуля, можно пересчитать количество согласованных термов, т.е. выходных первого модуля, которые используются во втором модуле. Чем больше таких термов, тем более сильно связаны модули. Для каждой дисциплины можно опередить меру ее внутренней и внешней связности как множество внутренних связей модулей по термам и внешним.

### 1.5.2. Методы и модели тестового контроля

Классическая теория основана на обработке статистических данных по результатам тестовых результатов. В качестве модели применяется аддитивная модель, в которой на истинный бал накладывается ошибка. В классической теории тестов зарубежные и российские авторы исходили из идеи параллельного измерения интересующего свойства с помощью двух и большего числа тестов, имеющих общее предметное содержание и сходные статистические характеристики [21, 35, 37, 49].

Предполагается, что эмпирически получаемый результат измерения ( $X$ ) представляет собой сумму истинного компонента измерения ( $T$ ), обычно неизвестного, и ошибочного ( $E$ ), также неизвестного:

$$X=T+E. \quad (1.8)$$

Истинный компонент измерения можно выразить как математическое ожидание  $E(X)$ . Ошибочный компонент измерения представляет собой результат влияния случайных ошибок. Среднее арифметическое этих ошибок принимается равным нулю. Дисперсии ошибочных компонентов параллельных тестов равны. Корреляция истинных и ошибочных компонентов по множеству испытуемых равна нулю.

Трудность задания определяется эмпирически, она соответствует доле неправильных ответов:

$$q_j = \frac{W_j}{N}, \quad (1.9)$$

$W_j$  - число неправильных ответов;

$N$  - число испытуемых.

В теории тестов и в практике тестирования традиционно рассматриваются два основных критерия, по которым оценивается качество теста. Первый - это надежность тестов, ассоциируемая обычно с идеей точности измерения. Вторым критерий - это валидность теста, определяемая обычно как способность теста измерять то, что он призван, по замыслу авторов, измерить. При измерении надежности предполагается линейная модель, в которой дисперсия балла равна сумме истинного и ошибочного.

Эффективным называется тест, который лучше других измеряет знания интересующего уровня подготовленности меньшим числом заданий, качественнее, быстрее, дешевле, и все это, по возможности, одновременно; эффективный тест представляет собой не одну какую-либо фиксированную систему заданий, а множество систем заданий, каждая из которых является оптимальной для измерения знаний на требуемом уровне подготовленности.

Более формальной является Item Response Theory (IRT) [27, 34], в которой предполагается существование аналитических выражений (в общем случае нелинейных) для задания вероятностей правильных ответов тестируемых определенного уровня за задачи определенного уровня сложности. Такой подход при описании модели тестируемого позволяет использовать эту модель во множестве аспектов: для модели регрессионного анализа, где численными методами оценивается неизвестный латентный параметр; для моделей классификации, так как IRT-модель дает возможность вычислить параметры распределений гипотетических групп классификации; для использования в имитационных моделях для генерации результатов ответов тестируемого (метод Монте-Карло).

IRT нацелена на оценивание латентных качеств личности и параметров заданий теста на основе математико-статистических моделей. К наиболее значимым преимуществам IRT обычно относят: устойчивые объективные оценки параметра, характеризующие уровень знаний испытуемых; устойчивые, объективные оценки параметра трудности заданий, не зависящие от свойств выборки испытуемых, выполняющих тест; измерение значений параметров испытуемых и заданий теста в одной и той же шкале, имеющей свойства интервальной шкалы; возможность предсказания вероятности правильного выполнения теста любым испытуемым в выборке до предъявления теста группе; возможность оценить эффективность различных по трудности заданий для измерения данного значения латентного параметра испытуемых.

Факторный анализ, так же как и IRT-теория строит модель тестируемого и позволяет моделировать его ответы в зависимости от сочетания параметров

тестируемого и сложности задания. В этом подходе модель является линейной по параметрам. Проблемы возникают в объяснении значимости гипотетических (латентных факторов).

Латентно-структурный анализ в отличие от предыдущих не опирается на построение модели тестируемого и вероятности правильных ответов. Его основная сущность состоит в группировке тестируемых в однородные группы по отношению к результатам ответов на каждое тестовое задание. Суть однородности заключается в существовании центра группы и равновероятности ответов каждым тестируемым на каждое задание. Интерпретация комплектации групп ложится полностью на исследователя.

### **1.5.3. Модели оценки сложности учебной информации**

До сих пор в практике обучения оценка объема и сложности учебной информации остается субъективной, что тормозит решение задач, связанных с оптимизацией учебного процесса и является одной из основных причин возникновения перегрузки или недогрузки обучаемых учебной информацией. Отсюда необходимость построения такой математической модели учебной информации, с помощью которой можно было бы получить числовые характеристики, отражающие объем учебной информации и его сложность.

Интересный подход к измерению учебной информации предложен В.П. Мизинцевым и Ф.П. Мизинцевым. Преимущество этого подхода в том, что при получении количественной характеристики объема информации учитывается большое число параметров, влияющих на сложность материала, делается попытка выявить функциональные зависимости между параметрами.

Следует отметить, что понятие сложности учебной информации в педагогической литературе употребляется для оценки объективной сложности данной информации вне связи с потребителем. Термин «трудность» информации употребляется для оценки усвоения данной информации потребителем, поэтому трудность материала - величина субъективная, которая зависит от запаса знаний, от природных данных и способностей. При расчете

объема информации, содержащейся в одной лекции, учебный материал представляется в виде графа. Представление смысловой структуры учебной информации с помощью графа дает возможность наиболее полно, компактно и наглядно отразить все элементы знаний в данном объеме материала. При графовом моделировании структуры учебного материала вершины графа и соответствующие им связи располагаются иерархическим образом, по ступеням, которые изображаются на моделях параллельными линиями. Учебно-информационные элементы темы представляются в виде вершин неориентированного графа, а логические связи между ними - ребрами графа.

При расчетах количественных характеристик В.П. Мизинцев учитывает такие параметры, как количество используемых при решении задач информационно-смысловых элементов темы, энтропийную характеристику, степень абстрагирования и коэффициент неполноты графа. Объем информации рассчитывается как:

$$V^{(j)}=J_1J_2(V), \quad (1.10)$$

$J_1$  - количество смысловых единиц темы, или количество элементов графа в графовой модели;

$J_2$  - энтропийная характеристика, определяющая степень упорядоченности элементов.

Таким образом, представив учебный материал в виде графовой модели и применив методику В.П. Мизинцева [19], можно в принципе измерить объем учебной информации, изложенной в течение одной лекции, и определить оптимальное значение объема учебного материала, подлежащего изложению на одной лекции.

Кроме того, одной из задач эксперимента было выявление наличия линейной зависимости между объемом усвоенной информации и средним баллом усвоения, полученным в результате анализа письменных работ учащихся. В качестве шкалы оценок выбрана традиционная шкала.

К достоинствам данной модели, прежде всего, следует отнести то, что один и тот же материал будет оценен разными лицами, знакомыми с методикой, одинаково. Разночтения здесь практически исключаются.

К недостаткам относится:

- 1) слабое логическое обоснование конструкции модели;
- 2) возможность такой ситуации, когда увеличение иерархии при прочих равных условиях приводит не к увеличению, а к уменьшению объема информации, хотя интуитивно ясно, что при равных числах семантических единиц (вершин графа) и ребер графа введение дополнительной иерархической ступени должно приводить к увеличению объема информации.

### **Выводы по 1 главе**

1. Проведен сравнительный анализ понятий «образовательная траектория» и «образовательный маршрут». Выполнен анализ подходов к управлению образовательными траекториями.

2. Проведен анализ ФГОС ВО и существующей концептуальной модели для извлечения результатов освоения компетенций стандарта и выявлены ее недостатки, на основе результатов анализа можно поставить задачу разработки математической модели, определяющей связь между компетенциями стандарта и результатами их освоения на основе принципа междисциплинарности обучения.

3. Проведен анализ компетенций стандарта и рассмотрены методики разработки составных и составляющих компетенций для освоения в ходе ОП.

4. Проведен анализ подходов к дифференциации знаний, умений и навыков в профессиональных стандартах, в европейских рамках квалификаций, а также в международных стандартах.

5. Проведен анализ основных математических методов и моделей процессов обучения и тестового контроля. Проведен анализ функциональных зависимостей моделей научения с точки зрения возможности их использования при моделировании учебного плана.

## Глава 2. Разработка информационных моделей восприятия и забывания учебной информации

### 2.1. Моделирование совместного процесса обучения и тестирования

С целью осуществления мониторинга уровня сформированности требуемых характеристик специалиста предлагается использовать комплексный показатель качества психолого-индивидуальных компетенций,

$$Kq = \sum_{i=1}^b Ka_i / b, \quad (2.1)$$

где  $Ka$  – локальные коэффициенты сформированности профессиональных компетенций,  $b$  – число локальных коэффициентов.

Психолого-индивидуальные компетенции представляют собой способности, развиваемые в профессиональной деятельности под влиянием мотивации, которая может, как усиливать, так и ослаблять потенциальные задатки специалиста. В этой связи необходимо осуществлять постоянный мониторинг мотивационной направленности. Для определения критериев сформированности проводится тестирование выборки специалистов, успешных в своей деятельности. Для визуализации локальных показателей используется их представление в виде профилограммы, где приняты обозначения:  $A$  – коэффициент точности внимания;  $E$  – коэффициент продуктивности влияния;  $K_{расп}$  – коэффициент распределения внимания;  $V_m$  – коэффициент объема памяти;  $K_m$  – коэффициент творческого мышления;  $K_{л}$  – коэффициент логического мышления;  $K_v$ . Применение такой модели специалиста на основе процессного подхода и методологии «развертывания функции качества» позволяет снизить уровень неопределенности идентификации и мониторинга рассматриваемых компетенций и повысить качество переподготовки специалистов.

Рассмотренные выше модели обучения и тестового контроля имеют самостоятельный характер. Ряд работ [20, 21, 35, 51] посвящен проблеме построения математических моделей, позволяющих объективно сравнить

результаты обучаемых, начинающих с разного уровня подготовленности. Введено определение темпа прироста результатов:

$$u = \frac{du(x)}{u(x)dx}, \quad (2.2)$$

где  $u$  - уровень знаний,  $x$  - время.

Теоретически бесспорно, что для определенного типа учебной, трудовой, воинской и прочих видов деятельности, имеющих вполне измеримый предел достижений, темп прироста тем меньше, чем выше уровень обученности. Уменьшение темпа может носить линейный или скорее, нелинейный характер. Для упрощения задачи примем гипотезу линейности уменьшения темпа прироста результатов достижений по мере роста обученности. Математически это можно выразить в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{u'(x)}{u(x)} = A - B u'(x), \quad (2.3)$$

где  $A, B$  - два положительных параметра, подлежащие определению в процессе эксперимента.

Если заданы начальные условия  $u(0)=u_0$ , где положительную величину  $u$  можно трактовать как начальную подготовку обучаемого, то интегрируя уравнение, будем иметь:

$$u(x) = \frac{A \cdot u_0 \cdot e}{A + B \cdot u_0 \cdot (e^{Ax} - 1)}, \quad A > 0, B > 0. \quad (2.4)$$

Откуда вытекает первое следствие:

При достаточно большом количестве проведенных занятий (условимся в этом случае считать  $x \rightarrow \infty$ ), независимо от начальной подготовки  $i$ -го обучаемого:  $u_0=0$ ,  $u_1(\infty)=A_1/B_1$ . Отношение  $A_1/B_1$  можно трактовать как прогнозируемый предел достижений данного обучаемого.

Естественно принять дополнительное условие, что начальная подготовленность каждого обучаемого не превышает возможного предела достижений:  $u_0 \leq A/B$ . Смысл положительного параметра  $A$ : положив  $u \rightarrow 0$ ,  $A = \lim_{u \rightarrow 0} \frac{u'(x)}{u(x)}$ , откуда видно что параметр  $A$  - это темп научения при нулевом уровне подготовленности.

Для определения индивидуальных параметров кривой учения  $u_0$ ,  $A$  и  $B$  введено общепринятое условие минимума среднеквадратического отклонения теоретических данных от экспериментальных. В результате получается выражение:

$$Q(u_0, A, B) = \sqrt{\sum_{k=1}^N (u_{ik} - E_{ik})^2}, \quad (2.5)$$

где  $\{E_{ik}\}$  – совокупность экспериментально найденных объемов научения  $i$ -го учащегося, соответствующих периодам  $1, 2, \dots, N$ . Для поиска минимума функции  $Q(u_0, A, B)$  используются алгоритмы поисковой оптимизации.

Предложенная дифференциальная модель использовалась для проверки гипотезы пригодности метода прогнозирования конечных результатов обучения. Если на основании экспериментальных кривых обучения для совокупности учащихся идентифицированы соответствующие каждому из них пары  $(A_1, B_1), (A_2, B_2), \dots, (A_R, B_R)$ , где  $R$  – количество учащихся в группе и начальной подготовленности каждого соответственно была  $u_{10}, u_{20}, \dots, u_{R0}$ , то трудность в оценке индивидуальных достижений каждого учащегося вызвана их различной начальной подготовленностью. При одинаковой начальной обученности  $u_1(0) = u_2(0) = \dots = u_R(0) = u_0$  знание параметров дает возможность предсказать объем научения у каждого обучающегося в заданный период  $N$ . Для обучаемого  $i$  объем учебной информации рассчитывается по следующей формуле:

$$u_i(N) = \frac{u_0 \cdot A_i \cdot e^{A_i N}}{(e^{A_i N} - 1) \cdot B_i \cdot u_0 + A_i}, \quad (2.6)$$

где  $i$  – номер испытуемого;  $u_0$  – условная начальная точка начальной подготовленности;  $N$  – число занятий.

## **2.2. Разработка принципов организации адаптивной системы формирования учебной траектории**

Возможности современных информационных технологий просто колоссальны. Однако нельзя просто в мощный инструмент вложить

традиционные методы обучения и ожидать невиданного скачка эффективности. Нужна новая методика обучения, которая интегрирует весь накопленный арсенал средств автоматизации образовательной деятельности. Системы дистанционного обучения наиболее полно сочетают в себе новые информационные технологии вместе с современными методиками обучения.

Исходя из принципов построения интегрированной программно-моделирующей среды, обладающей характеристиками адаптации тестового контроля и адаптации образовательной траектории, предлагается создание системы, включающей весь спектр программных и математических компонентов.

### **2.2.1. Концепция создания программно-моделирующего комплекса**

В настоящее время в связи с быстрым развитием систем дистанционного обучения одной из самых важных проблем становится проблема эффективности обучения, которую в первом приближении можно описать как соотношение продолжительности и результативности обучения. В системах профессионального образования результат обучения не эквивалентен совокупности полученных знаний, умений, навыков, он должен в основном определяться степенью подготовки учащегося к профессиональной деятельности, и зависит, прежде всего, от содержания обучения.

На сегодняшний день существует три способа формирования содержания образования:

- сверху вниз;
- сверху вниз с вариативной частью;
- снизу вверх по модульному принципу.

В первом случае содержание обучения жестко регламентируется образовательным стандартом. Эффективность такого образования сильно зависит от качества разработки стандартных методик. Поскольку формирование стандартных учебно-методических комплексов требует значительных временных затрат, первый способ мало пригоден для подготовки

специалистов в быстро развивающихся отраслях. Кроме этого, жесткая регламентация затрудняет реализацию принципа индивидуального подхода к учащимся, негативно сказывается на мотивации учения.

С целью преодоления указанных выше недостатков в настоящее время применяется подход, суть которого состоит в выделении в содержании двух частей: базовой и вариативной. Выбор вариативной части зависит полностью от учащегося. Развитие информационных технологий и расширение рынка образовательных услуг привело к появлению систем открытого образования. Системы открытого типа сейчас чаще всего строятся по модульному принципу. Такое построение позволяет обучаемому самому выбирать и проходить последовательность учебно-информационных модулей, то есть самостоятельно строить свою траекторию обучения. В этом случае обучающая система практически не влияет на образовательную траекторию, то есть играет пассивную роль.

Как показали исследования, передача учащемуся полномочий в выборе образовательной траектории приводит к снижению эффективности образовательного процесса. Это обусловлено:

- возможностью рассогласования и несоответствия уровня подготовки учащегося и уровня сложности учебной информации;
- случайным (объективно неосознанным) формированием образовательных потребностей, в том числе под воздействием сиюминутной моды, а также конъюнктуры рынка рабочих мест.

Указанные обстоятельства привели к необходимости разработки и внедрения системы, построенной на основе активной модели выбора образовательной траектории. Основными отличительными особенностями такой системы является воздействие образовательной системы на формирование образовательных траекторий обучаемых, при этом за ними остается право окончательного выбора, т.е. система предлагает учащемуся различные варианты образовательных траекторий, добиваясь осознанной и произвольной реакции со стороны учащегося.

Такое построение системы стало возможно благодаря иерархической структуре образовательных модулей. Система позволяет определить множество образовательных траекторий (совокупность модулей), реализующих тот или иной вид профессиональной деятельности, а также на основе системы тестов найти положение учащегося на образовательной траектории (уровень актуального развития).

### 2.2.2. Интеграция компонентов системы подготовки

Проведенные исследования по анализу педагогических аспектов процессов обучения привели к поэтапной схеме построения информационной технологии дистанционного обучения. Целями данного раздела является систематизация функций и задач, решаемых в системе подготовки.

Основной целью исследований является возможность автоматической генерации персонализированной образовательной траектории, что может быть реализовано лишь на основе использования формализованных моделей структуризации учебно-методических материалов и тестовых заданий.

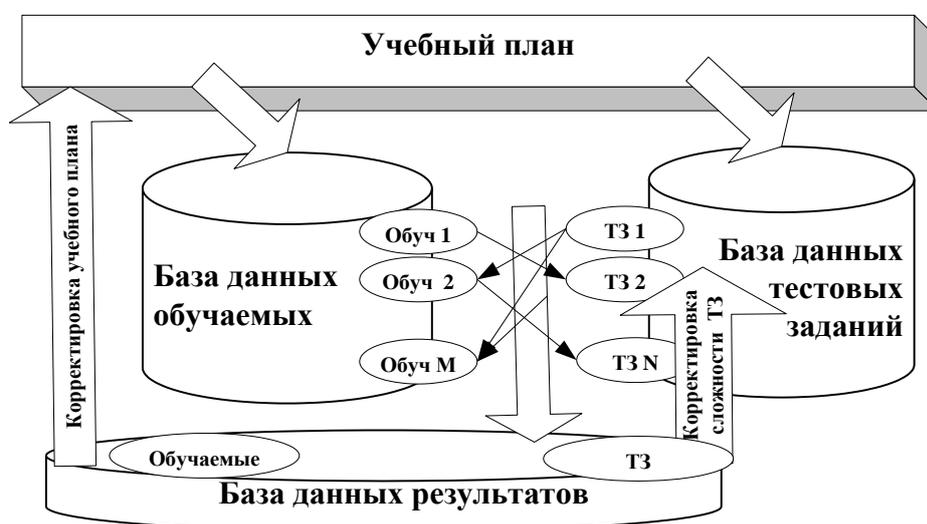


Рисунок 2.1 – Формирование индивидуального учебного плана

Для каждого обучаемого должна храниться вся его предыстория и результаты ответов на все пройденные тесты, что формирует базу данных результатов. В случае организации в системе автоматической привязки тестовых заданий к учебным модулям и наличии формальной модели связности

всех учебных модулей, можно говорить о реализации поисковых функций в базе данных учебных материалов, которые реализуют механизм генерации последовательности модулей, необходимых обучаемому на данный момент времени.

В результате создания параметрических и адаптивных подсистем обучения и тестирования может быть создана подсистема адаптации, которая на качественно новом уровне позволит организовать образовательный процесс с учетом индивидуальных особенностей каждого обучаемого.

Подсистема обучения должна представлять собой среду анализа эффективности построения учебного плана, которая даст основу синтеза плана безотносительно к конкретному обучаемому. Однако в совокупности с результатами ответов конкретного обучаемого по конкретному направлению даст возможность формирования индивидуального плана. Подсистема должна быть полезным инструментом, как для методистов, так и для тьюторов. Разработка структуры базы данных учебных материалов должна исходить из формализованной организации связности учебных элементов в рамках выбранной специализации.

Система должна предоставлять возможности информационно-поисковой системы. Для реализации этих возможностей в систему должен быть заложен развитый пользовательский интерфейс, обеспечивающий эффективный поиск необходимого учебного материала. При этом должна быть выполнена реализация адаптивного интерфейса, что позволит сделать систему удобной для работы всех потенциальных групп пользователей:

- администратору должна представляться краткая информация о готовности учебного материала сразу по всем дисциплинам;
- методисты должны иметь удобные средства подготовки и структуризации учебных материалов по конкретной дисциплине;
- тьюторам необходимы функции быстрого контроля и проверки уровня знаний обучаемых.

Для повышения эффективности разрабатываемых учебных планов и рабочих программ в системе должна быть реализована возможность создания семантической сети знаний, определяющей набор требований к специалисту в виде терм-множества (федеральный государственный образовательный стандарт) и математических методов и моделей оценки качества структуризации учебных планов и рабочих программ. Для формализации процесса обучения предполагается использование понятий входных и выходных терм-множеств, которые определяют динамику обучения и соответствие учебного плана стандартам. Количественный анализ взаимосвязи входных и выходных термов модулей дисциплин даст основу оценки взаимосвязности учебного материала по всем дисциплинам индивидуального учебного плана. Такой количественный анализ весьма полезен для оценки эффективности учебного плана.

Более мощным способом анализа эффективности учебного плана предполагается возможность построения функций накопления и забывания всех вводимых в процессе обучения термов, соответствующих термам семантической сети знаний предметной области. При разработке математических моделей, включаемых в систему, предполагается использование аналитических функций моделей указанных функций учебного материала, построенных на базе психологических исследований.

Подсистема тестирования ставит своей задачей интеграцию всех ранее созданных тестирующих компонентов в рамках мультимедийных обучающих программ, но реализованных в различных инструментальных оболочках. Кроме того, объединение форм конструирования тестовых заданий с адаптивными механизмами их предъявления даст неоспоримое преимущество последней.

С точки зрения конструирования тестового задания предлагается стандартизация формы представления в графическом формате, что позволит использовать различные общесистемные платформы. В результате проведенных исследований показано, что все наиболее распространенные формы, а именно, «закрытая», «на соответствие», «на упорядочение» сводятся к

одной графической форме «на перетаскивание». На основе созданного описания тестового задания конструктор тестовых заданий создает файл, который можно включить в HTML и использовать для режимов тренажера и самоконтроля. Наиболее ценной функциональной возможностью конструктора является динамическая генерация файлов тестовых заданий с регистрацией ответов.

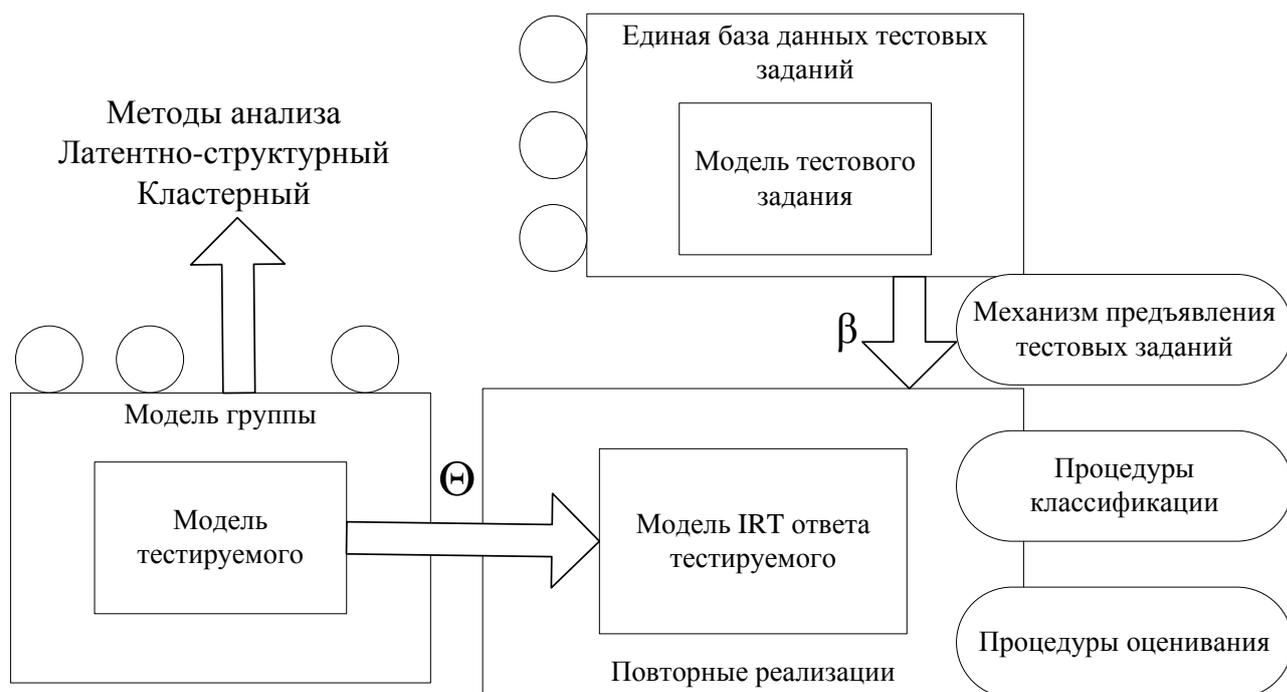


Рисунок 2.2 – Система моделирования тестирования

Адаптивный механизм тестового контроля, позволяющий прозондировать уровень знаний обучаемого в различных направлениях, выполняет параметризацию моделей накопления и забывания, что позволяет динамически корректировать образовательную траекторию обучаемого. Накапливая базу результатов ответов обучаемых с различным уровнем подготовки, разработанные и включенные в систему алгоритмы переоценки сложности заданий позволяют реструктурировать учебный материал.

При разработке концепции системы стартовым этапом предполагалось наличие и последующая интеграция следующих компонентов:

- разработанные мультимедийные обучающие программы, апробированные в процессе обучения, которые представляют методическую основу содержательной части обучения;

- подсистема тестового контроля, обеспечивающая реализацию адаптивных механизмов предъявления тестовых заданий и удобный графический интерфейс при их проектировании;
- подсистема обучения, включающая в свой состав подсистему анализа учебных планов и рабочих программ, основанную на терм анализе предметной области.

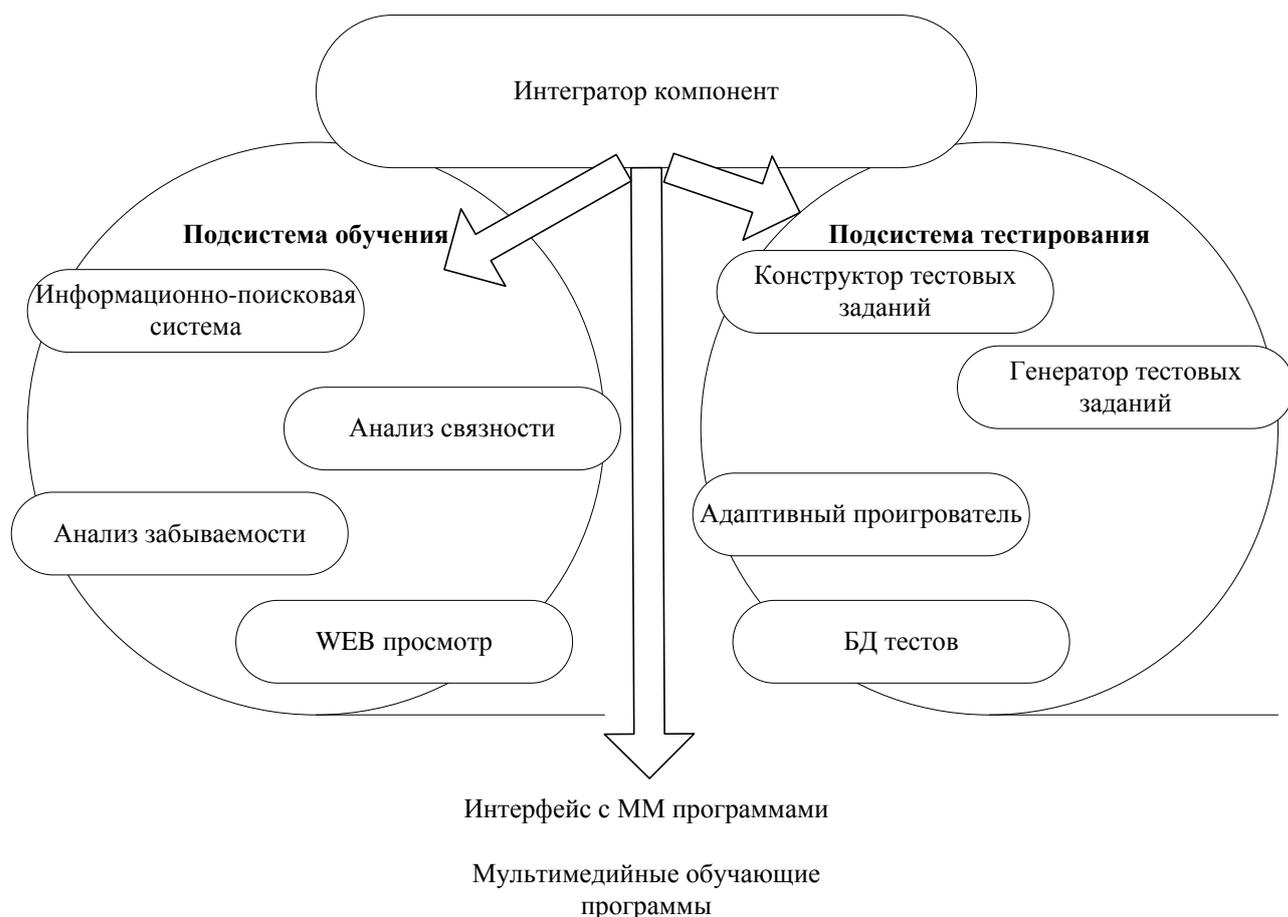


Рисунок 2.3 – Компоненты системы подготовки

Сравнительный анализ процессов функционирования системы и динамических моделей показал, что целесообразно включить непосредственно в систему алгоритмы моделирования процессов тестового контроля и обучения. Интеграция системы с пакетами Statistica и MatCad предоставляет набор алгоритмических методов, необходимых при оценке уровня и знаний и уровня сложности тестовых заданий, которые позволяют тьюторам в автоматизированном режиме рациональным образом формировать график учебного процесса.

Исходными посылками разработки концепции являются сложившихся в мировой практике системы рейтинговых оценок качества системы и критериев эффективности образовательной траектории для конкретного обучаемого. С одной стороны, анализ возможностей системы следует разделить по категориям пользователей: тьюторов, методистов и обучаемых и др. С другой стороны, для каждой категории пользователей можно рассматривать возможности системы в разрезе формирования или изучения: модели специалиста, учебных планов и рабочих программ, мультимедийных курсов и структурированных методических материалов, тестового контроля, организации конференций и т.д.

Приведенные посылки для разрабатываемой системы согласуются с общими тенденциями развития системы подготовки. Однако с точки зрения формализации необходимо дополнить систему аксиом для реализации предложенной методики. С этой целью делается группировка математических моделей в единую среду анализа, а затем дается формальное описание процессов обучения, тестирования и формирования структуры системы.

### **2.2.3. Методы и модели обучения и тестового контроля в системе подготовки**

Анализ педагогических методов и предлагаемых функциональных возможностей системы автоматизации процесса обучения приводит к необходимости систематизации математических методов и моделей и разработке новых с учетом дидактических и педагогических принципов формирования адаптивной системы подготовки.

Считаем, что наиболее полезной будет развитие методологии с позиций перспектив развития системы подготовки и возможности практического приложения интеллектуальных систем. Естественным образом разделение всего множества функций, выполняемых системой является ее декомпозиция на подсистемы обучения, тестирования и адаптации.

С точки зрения формирования *компоненты обучения* интерес представляет структура системы переподготовки, которая сочетает все виды

формирования содержания курсов, а именно: а) сверху вниз; б) сверху вниз с вариативной частью; и) снизу вверх по модульному принципу. Последний вариант вместе с организацией непрерывного процесса компьютерного тестового контроля и избыточным количеством модулей позволяет реализовать механизм адаптации образовательной траектории.

Интерес представляет механизм оперативного доступа к содержательной части курса и анализа взаимосвязи модулей, который реализован через интерактивный программный интерфейс подсистем формирования учебных планов и программ, в котором предусмотрены удобные графические формы.

Считаем, что методика формирования образовательной траектории должна объединять возможности изучения курса по гипертекстовой информации на сайте, мультимедийных программам, находящимся в личном пользовании обучаемого, в локальной сети и т.д. При этом необходимо полное согласование всех материалов по содержательной части с учетом использования видео, аудио и т.д.

Необходимым аспектом является формирование методов структуризации учебных материалов на базе формализованных моделей с использованием оценок сложности материала, которые в сочетании с результатами тестового контроля позволяют реализовать адаптивный механизм обучения.

Подсистема тестового контроля является неотъемлемой частью каждой системы подготовки. Предполагается, что система должна иметь развитые средства администрирования, конструирования тестовых заданий, формирования алгоритмических структур тестов и их предъявления.

Конструктор должен иметь продвинутое формы представления - и удобный интерфейс формирования тестовых заданий, что существенно влияет на время подготовки тестов. Критерий времени достаточно критичен, так как количество заданий должно быть велико, а содержательная часть заданий по многим предметным областям, очень быстро устаревает. Проигрыватель тестовых заданий должен работать как в локальном, в сетевом варианте, так и Интернет вариантах.

Наиболее эффективными являются адаптивные алгоритмы предъявления заданий с учетом их сложности, поэтому часть диссертационных исследований направлена на разработку методов экспертного оценивания уровня сложности заданий с учетом их последующей корректировки по результатам статистической обработки ответов тестируемых. Включение математических моделей тестируемого и эффективности процедур компьютерного тестового контроля в системы переподготовки позволит моделировать образовательную траекторию с точки зрения эффективности накопления информации, предъявляемой последовательности модулей.

Перспективными являются работы по организации связности методических материалов и тестовых заданий, использующих единый терминологический словарь с оценками сложности термов.

В качестве критерия обучения и организации адаптивного обучения необходимо формализовать вопросы формирования компетенций федерального государственного образовательного стандарта. Считаем, что в общей схеме процесса обучения первичной является модель специалиста, которая определяет цели обучения и диктует требования к содержательной части процесса обучения.

Одним из подходов решения данной проблемы является использование семантической сети понятий предметной области, которые и составляют модель специалиста. Формализованная модель специалиста является основой формирования учебных планов для лиц разной степени начальной подготовленности. Вместе с компонентой тестового контроля семантическая сеть дает возможность реализации гетерогенных тестов.

Основная задача, которую должна решать система подготовки - это персонализация трека обучения, исходя из уровня начальной подготовленности, темпов изучения материала и т.п. Тьюторам невозможно построить индивидуальные учебные планы для каждого обучаемого, поэтому система подготовки должна иметь системные средства настройки и адаптации предоставляемых материалов в соответствии с результатами тестового

контроля. Такой подход концептуально подобен синтезу систем автоматического управления, который может быть использован для синтеза образовательной траектории с ее последующим редактированием тьютором.

Наиболее перспективными являются разработки мультимедийных обучающих программ, которые обеспечивают основополагающий принцип представления учебного материала - наглядность. При сбалансированном сочетании всех выигрышных средств и методов компьютерного представления информации (видео, аудио, фото, анимации и т.д.) такие программы дают наибольший эффект восприятия учебного материала.

Система подготовки должна обеспечивать:

- ограничения прав доступа к отдельным материалам;
  - ведение баз данных обучаемых, тьюторов, методистов и др.;
  - ведения журнала регистрации и успеваемости пользователей и др.;
  - возможность проведения конференций, обмена с тьютором и др.
- Перечисленные компоненты выполняют сервисные функции, их функциональные возможности в большей степени отработаны и они имеют место практически во всех реализованных системах.

В результате проведенного анализа педагогических моделей и их агрегирования возникает задача концептуального решения проблемы взаимодействия математических методов и моделей, основу которых составляют реализации обучающей и тестирующей подсистем, приведенных на рис.2.5. При решении вопросов автоматизации подготовки студентов можно рассматривать как аспекты автоматизации, так и моделирования. Исходя из анализа поставленных задач моделирования учебного процесса и тестового контроля, моделирование предполагает разработку практически всех алгоритмов необходимых для функционирования реальной системы. С другой стороны, система автоматизации для адаптации и реализации функций управления должна иметь модели соответствующих подсистем. В итоге, подсистема моделирования и подсистема автоматизации должны представлять единый комплекс.

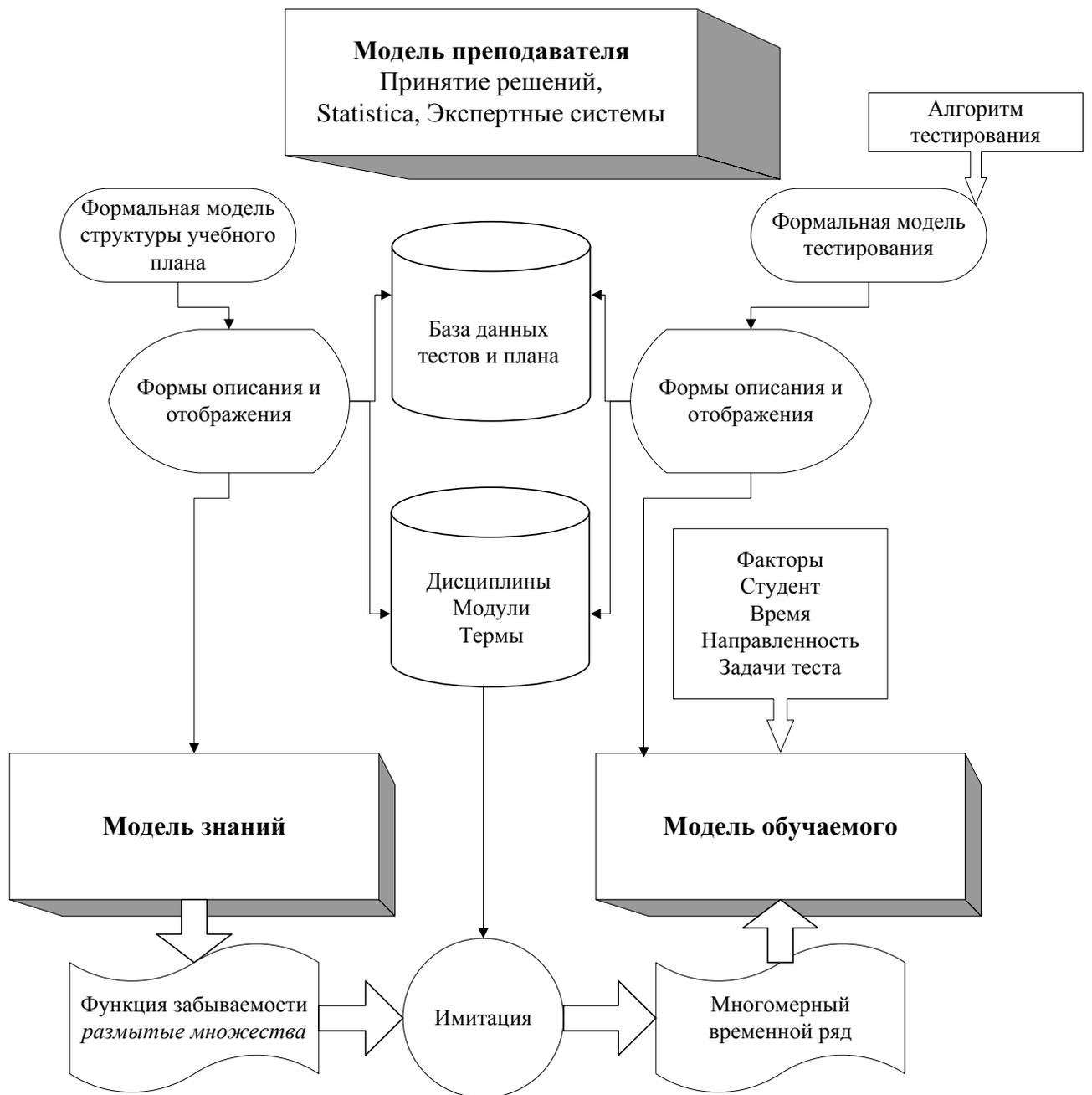


Рис.2.5 – Моделирующий комплекс

Декомпозиция общей структуры методов на обучающую и тестирующую части обусловлены возможностью их формализации, в отличие от управленческих, финансовых и других подсистем, обеспечивающих образовательный процесс.

По мере накопления статистики оценка сложности заданий становится более точной и может быть поставлена задача оптимизации формирования тестов. Это формирование может быть выполнено лишь на основе введения

модели отдельного обучаемого к отдельному заданию. Единственной теорией, которая строит такую формальную модель - это IRT-теория.

В основу реализации механизмов адаптивного тестирования положена IRT-теория (item response theory), которая дополнена согласованной реализацией механизмов оценивания, классификации и стохастической аппроксимации. Реализация поискового алгоритма сводится к последовательному анализу локальной окрестности варьируемых параметров, оценке градиента функционала и последующему переходу в другую окрестность. Аналогичный процесс происходит и в случае тестового контроля. Ответ на каждое тестовое задание формализован случайной величиной. Если ответ верный, то считается, что уровень подготовки выше уровня сложности предъявленной задачи, если ответ неверный, то - ниже.

В общем случае следует разделять механизм предъявления тестового задания и процедуры оценивания и классификации. Механизм предъявления может быть построен на основе статических и динамических планов.

Однако в данном случае возникают проблемы проверки адекватности выбранных аналитических зависимостей для описания вероятностей, а это всегда проблематично.

IRT-модель используется:

- для модели регрессионного анализа, где численными методами оценивается неизвестный латентный параметр;
- для моделей классификации, так как IRT-модель дает возможность вычислить параметры распределений гипотетических групп классификации;
- для использования в имитационных моделях для генерации результатов ответов тестируемого (метод Монте-Карло).

В общем случае следует разделять механизм предъявления тестовых заданий и процедуры оценивания или классификации уровня знаний.

*Механизм предъявления* может быть построен различными способами:

Статический, когда количество заданий различной степени сложности, включенных в тест, определено заранее. Вариации общим количеством заданий

и их распределением по сложности дают различные результаты по точности оценивания уровня знаний, поэтому необходимо решение задач распределения в зависимости от априорной информации об уровне знаний.

Адаптивный механизм предполагает выбор каждого последующего задания из базы тестовых заданий в зависимости от ответов на все предыдущие. В данном случае формирование алгоритма для механизма предъявления дает еще большую свободу в творчестве преподавателя.

Предлагается несколько механизмов, один из них некоторым образом подобен процедурам стохастической аппроксимации.

Механизм предъявления дает лишь последовательность заданий различной сложности. Оценивание уровня знаний тестируемого является следующей задачей. В данном случае имеет место два подхода: классификация, когда количество значений оценок тестируемого определено заранее, и оценивание, когда численное значение оценки может быть произвольным.

Процедуры классификации могут базироваться на использовании теоретических положений дискриминантного анализа и байесовской теории классификации. Модель дискриминантного анализа при использовании в процедуре тестирования концептуально подобна использованию бальной шкалы, поэтому она позволяет провести анализ оценивания с заданием весов тестовых заданий различной степени сложности. Теоретические положения дискриминантного анализа позволяют оценить влияние коррелированности ответов, что не позволяет классическая теория.

Байесовская теория на основе введения понятий апостериорных вероятностей позволяет подобрать наиболее правдоподобную модель для полученной последовательности ответов. В данном случае, используя оценки максимального правдоподобия проводится сравнительный анализ с IRT-теорией.

При моделировании эффективности процедуры в данном случае наиболее информативной характеристикой является матрица ошибочной классификации. Получение численных оценок значений матрицы в некоторых случаях

возможно аналитическим способом, однако, в общем случае, необходимо использование имитационного подхода.

Предлагается динамическая процедура формирования оценки сложности задания. На первом этапе оценка сложности формируется на основе экспертных оценок и терм-анализа предметной области.

После формирования статистики корректировка сложности выполняется на основе следующих предположений: каждого испытуемого можно считать как эксперта по оцениванию сложности, поэтому он определяет собственное бинарное отношение порядка сложности; имея матрицы отношений сложности, взвешенные уровнем компетентности используется метод одномерного статистического шкалирования.

### **2.3. Моделирование процесса восприятия и забываемости информации**

При реализации алгоритмов оценки эффективности численная мера оценки может быть основана на понятиях усвоения и забываемости. Действительно, каждый субъект обучения может лишь усваивать и забывать. Поэтому в качестве интегрального критерия эффективности выступает степень усвоения всех термов. В результате задача распадается на три: первая вычисление числовых оценок по каждому терму, вторая - интеграция термов в классы и третья - решение многокритериальной задачи максимизации усвоения сразу по всем термам.

При компьютерном обучении в основном используются зрение и слух. Правильность восприятия экранного изображения и звуковых образов зависит от многих причин таких как:

1. чувственный опыт и богатство воображения;
2. возрастная категория;
3. физиологические особенности;
4. мотивация и т.п.

Необходимо учитывать, что информация хорошо усваивается тогда, когда найдена оптимальная мера между содержанием учебного материала и возможностями его восприятия. Рассмотрим некоторые из особенностей усвоения и запоминания учебного материала.

К основным функциям переработки информации человеком относятся такие функции: восприятие, осознание, припоминание, реагирование, действие. Эти функции соотносятся с определенными носителями, например, «восприятие» - с органами чувств, «действие» с мускулатурой.

Основным условием процесса обучения является получение информации из окружающего мира. Информация поступает на органы чувств в форме оптических, акустических, тактильных (осязательных), термических, слуховых и вкусовых раздражителей. Под мощностью органов чувств понимается тот максимум информации, который эти органы способны передать в течение единицы времени в сенсорную память.

В результате оценки индивидуальных свойств формируется функция забывания учебной информации. Для построения модели этой функции в работе выделен ряд характеристических свойств.

Пусть  $G(t) = M\xi(t/S_0)$  – функция научения (забывания), как тренд случайного нестационарного процесса, где  $S_0$  - начальный уровень знаний. Предполагается, что функция  $G(t)$  непрерывна на всем интервале моделирования. Процесс научения является *безинерционным*, если  $\forall t > 0 G(t) = 0$ . Это условие выполняется лишь в случае идеальной памяти. Процесс является *инерционным*, если:

$$\exists t^* > 0: G(t^*) \neq 0 \text{ и } \lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = 0. \quad (2.7)$$

Условие существования предела выполняется в силу существования стационарного распределения исследуемого процесса. Для процессов научения достаточно типичны монотонные тренды. Свойства монотонности дают возможность исследовать качественные характеристики процессов. Для идентификации функций в работе используется отношение стохастического

порядка между случайными величинами  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , которое определяется соотношением:

$$\xi_1 < \xi_2 \Leftrightarrow \Phi_1 < \Phi_2, \quad \Phi_1 < \Phi_2 \Leftrightarrow \forall x, \quad \Phi_1(x) \geq \Phi_2(x), \quad (2.8)$$

где “<” - отношение стохастического порядка;  $\Phi_1, \Phi_2$ - функции распределения случайных величин  $\xi_1$  и  $\xi_2$ . Случайный процесс научения  $\xi(t)$  является *монотонно возрастающим по t относительно “<”* при начальных условиях  $S_0$ , если:

$$\forall t_1, t_2 \quad t_1 \leq t_2 \Rightarrow \xi(t_1 | S_0) < \xi(t_2 | S_0). \quad (2.9)$$

Это свойство также представляет свойство *внутренней монотонности* процесса. Процесс *монотонный* - если  $t_1 > t_2 \Rightarrow G(t_1) > G(t_2)$ . Процесс является *монотонно инерционным* - если существует интервал  $(0, t^*)$ , на котором  $G(t)$  сохраняет значение  $G(0)$ , а на интервале  $(t^*, \infty)$  определен монотонный процесс. Случайный процесс представляет *монотонный процесс с запаздыванием*, если:

$$\exists t^* > 0: \forall t \in (0, t^*) G''(t) > 0 \wedge \forall t > t^* G''(t) < 0. \quad (2.10)$$

В общем случае, переходный процесс восприятия материала является монотонным процессом с запаздыванием.

Для моделирования такого класса процессов в диссертации предлагается использование функций Лагерра, которые представляют ортонормированный базис в пространстве функций с интегрируемым квадратом  $L_n(x) = L_n^*(x) \cdot e^{-x}$ , где  $L_n^*(x)$  - полином n-ой степени. Для процесса научения и забывания предлагается использовать двухпараметрическую функцию:

$$L(t|c, m) = e^{-ct} \cdot \sum_{k=0}^m \frac{(ct)^k}{k!}. \quad (2.11)$$

Параметр  $c$  - определяет временные характеристики затухания процесса, а  $m$  – запаздывание процесса. На рис. 2.6 представлен график этого семейства функций для различных порядков полиномов. Так для процесса забывания информации значение  $m$  может быть достаточно велико, в то время как для научения оно достаточно мало.

Пусть точка  $t_f$  – точка изменения состояния процесса, т.е. переход от наличия модуля на данном интервале, где использовался терм  $W$ , к отсутствию такого, либо, наоборот, от отсутствия к наличию. Тогда рекуррентная схема построения функции забывания имеет вид:

$$R(t|cz, mz) = R(t_f) \cdot L(t - t_f|cz, mz). \quad (2.12)$$

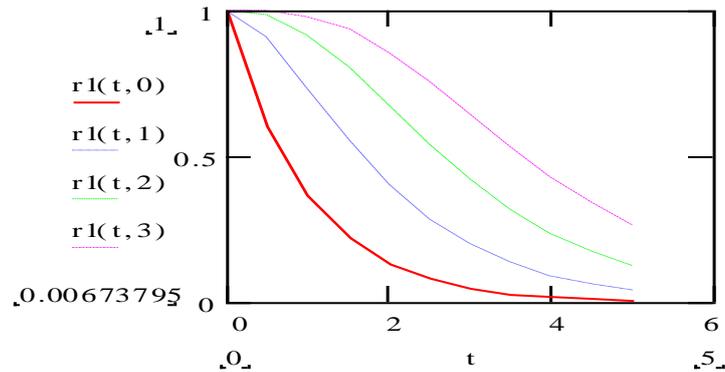


Рисунок 2.6 – Семейство функций забывания и научения

В то время, как функция научения на заданном интервале до следующего изменения состояния будет определяться:

$$R(t|cu, mu) = R(t_f) + [1 - R(t_f)] \cdot [1 - L(t - t_f|cu, mu)], \quad (2.13)$$

где  $cu, mu$  – показатели функции научения, а  $cz$  и  $mz$  – показатели функции забывания.

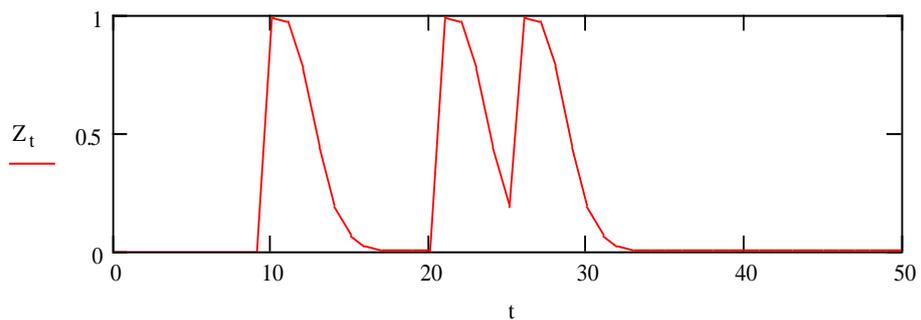


Рисунок 2.7 – Межмодульная функция забывания

В результате, построенная модель позволяет строить кусочно-функциональные зависимости для каждого термина с учетом отсутствия либо наличия его в некоторых учебных модулях на текущий момент времени.

Таким образом, на основании построенных моделей каждому терму учебного плана, введенному в некотором модуле на каждый момент времени

ставится в соответствие числовое значение определяющее степень его понимания. На основании полученных моделей функции забывания, в работе предлагается использование следующего критерия эффективности учебного плана  $\forall i F_i(T) \rightarrow \max$ , где  $F_i(T)$  – значение функции забывания  $i$ -го термина на момент завершения изучения всех модулей  $T$ . Это классическая многокритериальная задача. Основой формирования интегрального критерия является свертка всех функций по группам классифицирующих признаков принадлежности модуля некоторому направлению. Каждому направлению присваиваются весовые коэффициенты, которые переносятся на все термины направления. В общем случае в программный комплекс включен ряд известных методов решения многокритериальных задач (метод идеальной точки, метод последовательных уступок и др.). После определения критерия эффективности, появляется возможность сравнения планов, а, следовательно, и возможность построения процедуры оптимизации.

Показатели, в данном случае термины, располагаются в порядке их важности  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , (предположим, что необходимо максимизировать все функции научения на момент окончания процесса подготовки).

На первом шаге ищется решение  $X^* = \arg \max_{x \in D} f_1(X)$ ,  $f_1^*(X^*) = f_1^*$ . Затем, исходя из практических соображений и точности экспертных оценок (они в данном случае невелики), назначается некоторая уступка  $\Delta f_1$ , на которую согласны эксперты (методисты) для максимизации критерия  $f_2^*$ , т.е. для решения задачи:  $f_2 \rightarrow \max, f_1 > f_1^* - \Delta f_1$ . На втором шаге решается задача:

$$X^*_1 = \arg \max_{x \in D_1} f_2(X) \quad D_1 = \{X: X \in D, f_1(X^*) = f_1^* - \Delta f_1\}, \quad (2.14)$$

Аналогично назначается уступка  $\Delta f_1$ , и ставится новая задача оптимизации. Затем процедура повторяется для каждого термина в порядке их значимости:

$$X^*_k = \arg \max_{x \in D_{k-1}} f_k(X) \quad D_k = \{X: X \in D_{k-1}, f_k(X^*) = f_k^* - \Delta f_k\}. \quad (2.15)$$

Как правило, в окрестности максимума одного критерия функционал относительно другого – квадратичный, поэтому увеличение второго критерия на порядок больше уступки.

На данной основе разработана методика формирования персонализированных учебных планов, используемых в системе подготовки по направлению «Техносферная безопасность». Выполнена формальная декомпозиция инструментальных средств создания связной структуры учебных модулей, определены управляющие и информационные связи, что позволяет сделать систему открытой для включения новых методов, моделей и данных, тем самым сформировать функционал программных приложений. Совместное использование введенных операций при наличии формализованного описания приложений и данных позволяет генерировать программные методики создания учебного контента.

### **Выводы по 2 главе**

1. Проведен анализ и для аппроксимации функции забывания терма предложен класс процессов авторегрессии второго порядка, которые за счет своей параметризуемости позволяют моделировать широкий набор функциональных зависимостей.

2. Разработана динамическая модель изучения модулей учебного плана в виде сетевой вероятностной модели, которая учитывает неопределенность времен изучения и рассчитывает рекомендуемую учебную нагрузку.

3. Сформирован критерий эффективности учебного плана, как многокритериальная постановка максимизации усвоения всех термов.

## Глава 3 Автоматизация построения персонализированной учебной траектории студентов по направлению «Техносферная безопасность»

### 3.1. Разработка методики формирования индивидуальных учебных планов

Подготовка представляет собой взаимосвязанный комплекс отдельных учебных дисциплин. Семантические и логические связи между этими дисциплинами во многом определяют последовательность их изложения (или их фрагментов), т.е. временную развертку процесса обучения. С внешней точки зрения, т.е. с точки зрения будущей деятельности специалиста, роль отдельных дисциплин различна, поэтому интегральная характеристика (рейтинг) освоения курса есть «взвешенная сумма» степени освоения ее составляющих.

С формальной точки зрения это означает, что итоговая оценка процесса обучения, для конкретного обучаемого есть функция его оценок по отдельным дисциплинам:

$$R=f(r_1, r_2, \dots, r_n), \quad (3.1)$$

где  $r_j=r_j(s)$  – частная оценка (рейтинг) по дисциплине  $dis_j$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ .

При этом влияние остальных компонент и параметров системы оценивания сказываются в ограничениях на вид функции  $f$  при выборе параметров, определяющих характер зависимости. Например, в случае аддитивной оценки:

$$r=wr_1+wr_2+\dots+w_nr_n, \quad (3.2)$$

где параметр  $w_j$ , - характеризует вес (роль, важность, влияние) дисциплины  $dis_j$ .

Для того чтобы сказанное выше было осмысленным необходимо дать спецификацию функции  $f$  и параметров  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , в частном случае для линейной зависимости.

Это означает, что необходимо указать шкалу возможных значений для оценок  $r_1, r_2, \dots, r_n$ , и весов  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Отметим, что абстрактная спецификация функции имеет вид:

$$f^{st}: D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \rightarrow D \quad (3.3)$$

где:  $D_j$  - шкала частной оценки для дисциплины  $dis_j$ ;

$D$  - итоговая шкала, причем  $D$  и  $D_j$  - упорядоченные множества, а функция  $f$  должна быть монотонной по каждому аргументу. Таким образом,  $f^{st}$  или коэффициенты  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , в линейном случае служат параметрами схемы контроля и оценок (в линейном случае шкалы  $D, D_j$  - аддитивны).

Заметим, что для такой схемы итоговой оценки система дисциплин представляет собой просто их неупорядоченный набор:

$$Dis = \{dis_1, dis_2, \dots, dis_n\}, \quad (3.4)$$

где  $dis_j$  - индекс дисциплины, т.е. связь между дисциплинами не учитывается. Учет связей приводит к необходимости формализации понятия системы дисциплин например, в виде:

$$SD = \langle Dis, R^{sd} \rangle, \quad (3.5)$$

где  $SD$  - система дисциплин;

$is$  - множество дисциплин;

$R^{sd} = \{R_u^{sd}\}_{a \in A}$  - семейство бинарных отношений между дисциплинами.

Эти отношения могут быть самыми разными, например отношениями: «изучаться раньше», «быть логическим основанием» и т.п. Наличие некоторого бинарного отношения  $R$ :

$$R \subseteq Dis \times Dis, \quad (3.6)$$

приводит к появлению системы «корреляционных» оценок:

$$r_{ij} = r(dis_i, dis_j) \in D_{ij}, \quad (3.7)$$

где  $D_{ij}$  - шкала корреляций, учитывающих степень согласованности по парам дисциплин. Учет этих оценок преобразует вид исходной функциональной зависимости интегральной оценки:

$$r = f(r_1, r_2, \dots, r_n), \quad (3.8)$$

$$r = \tilde{f}(r_1, r_2, \dots, r_n, r_{1,2}, \dots, r_{n-1,n}), \quad (3.9)$$

Получение итоговой оценки сводится к получению частных оценок по отдельным дисциплинам. По отношению к данной дисциплине эта оценка является итоговой, т.к. представляет собой оценку весьма длительного процесса изучения большого объема материала. Сама учебная дисциплина с внутренней

точки зрения представляет собой некоторое структурное единство, важнейшими элементами которого являются основные понятия или термины, конкретные факты и законы (эмпирические и фундаментальные), связывающие эти понятия.

Традиционно логическую структуру учебной дисциплины представляют в виде иерархически организованной системы разделов. С формальной точки зрения это означает, что логическая структура дисциплины представляется деревом. При этом могут задаваться и другие «перекрестные» типы отношений и связей.

Отдельные разделы могут характеризоваться рядом параметров, такими как «объем» (нормативное число часов, выделенное на изучение), «вес» (важность данного раздела в рамках учебной дисциплины) и др. Формально это означает задание на множестве разделов функций типа:

$$\text{vol: Sec} \rightarrow \text{Vol}, \quad (3.10)$$

$$\text{wtSec} \rightarrow \text{WT}, \quad (3.11)$$

где  $\text{Sec} = \{\text{sec}_1, \dots, \text{sec}_m\}$  - класс всех разделов;

Vol - шкала измерения объема;

WT - шкала измерения веса.

Эти функции распределены по дереву в том смысле, что их выбор не может быть совершенно произволен. Так, объем представляет аддитивную характеристику раздела:

$$v(\text{sec}) = \sum_{XS \in \text{sec}} v(xS), \quad (3.12)$$

т.е. объем данного раздела есть сумма объемов составляющих его подразделов.

С точки зрения задачи оценивания непосредственно раздел представляет собой достаточно «крупную» единицу изучаемого материала. В соответствии с принципом непрерывности, т.е. распределенности контроля по объему и времени, представляется важным выделение порций, т.е. минимальных «логически-замкнутых» фрагментов разделов, подлежащих контролю и оценке. Порция характеризуется объемом и временным промежутком контроля.

Суммарный рейтинг по дисциплине есть функция от оценок по отдельным разделам:

$$r^{(a)}(dis) = f^{(dis)}(r(sec_1), r(sec_2), \dots, r(sec_m)), \quad (3.13)$$

где  $sec = \{sec_1, sec_2, \dots, sec_m\}$  - класс разделов, составляющих дисциплину  $dis$ ;

$r^{(a)}(dis_j)$  - оценка по разделу  $sec_j$ .

В случае аддитивной шкалы:

$$r^{(a)}(dis) = \sum_{sec_j \in Sec} w(sec_j) r^{(s)}(sec_j), \quad (3.13)$$

где  $w(sec_j)$  - вес раздела.

Так же как и в случае системы дисциплин в общем рейтинге по дисциплине можно учитывать «корреляции» в связях между разделами.

Приведенная схема получения общей оценки по дисциплине статична в том смысле, что для ее получения необходимы значения оценок по всем разделам. Однако желательно иметь значения «текущего» рейтинга, используемого как оперативную характеристику контроля знаний. Реально изучение дисциплины (и всей системы дисциплин) имеет определенную временную последовательность.

Формально для данной дисциплины такая последовательность изучения реализуется в виде структурного обхода дерева дисциплины и представляется в виде последовательности разделов, а в рамках данного раздела - последовательностью порций. Правые концы интервалов контроля порций  $r_k^i$ ,  $k=1,2,\dots$  раздела  $sec_j$ , а также концы периодов  $T_{sec_j}$ , отводимых на изучение разделов  $sec_j$  являются контрольными точками или точками пересчета текущего рейтинга. Последовательность этих точек называется контрольным графиком. В этом случае рейтинг есть динамическая величина изменяющаяся со временем. Для данного обучаемого  $s \in S_k$  ( $S$  - группа) значение рейтинга в контрольной точке  $t_{i+1}$  определяется по текущему рейтингу, относящемуся к контрольной точке  $t_i$ , с учетом результата оценки порции  $pt_{i+1}$  с интервалом контроля  $t_{i+1}$  где:

$$\tau_{i+1} = [t_{i+1}^n, t_{i+1}^k], \quad (3.15)$$

т.е., контрольная точка  $t_{i+1}^k$  есть конец интервала контроля  $\tau_{i+1}$ . Таким образом:

$$r(s, dis, t_{i+1}) = \psi(r(s, dis, t_i), r^p(pt_{i+1})), \quad (3.16)$$

$\psi: D^{(t)} \times D^{(p)} \rightarrow D$  - функция пересчета рейтинга;

$D^{(t)}, D^{(p)}$  - шкала для текущего рейтинга и шкала для оценки порции.

Если  $t_{dis}^k$  - конечная контрольная точка для данной дисциплины  $dis$ , то итерация функции пересчета  $\psi$  даст итоговый рейтинг обучаемого по данной дисциплине, зависящей от начального рейтинга к моменту начала изучения данной дисциплины и последовательности оценок по разделам или составляющим их пропорциям.

На функцию  $\psi$  накладывается основное ограничение в виде монотонности по каждой из переменных. Для аддитивной шкалы  $D^{(t)}$  функция  $\psi$  представляет:

$$\psi(x, y) = x + g(y), \quad (3.17)$$

где  $\psi: D^{(p)} \rightarrow D^{(t)}$  - функция, определяющая приращение рейтинга.

Таким образом, в динамической схеме вычисления рейтинга задача сводится к получению оценки конкретной порции. Контроль порции осуществляется посредством предъявления тестовых заданий, позволяющих с достаточной степенью уверенности судить об усвоении материала данной порции. Тестовые задания делятся по категориям (например, задачи относящиеся к статическим компонентам (терминам, законам) или к динамическим (операциям, алгоритмам)). Каждое задание характеризуется некоторой мерой «сложности», задаваемой методистом или получаемой в результате экспертной оценки. Результат решения задания оценивается по некоторой шкале. В тестовых схемах эта оценка есть функция «веса» задачи и полученного ответа из заранее заданного списка альтернативных ответов.

В автоматизированных схемах для избегания решения проблемы эквивалентности возможных ответов-решений используется тестовая схема с заранее заданным списком ответов.

Итак, формально, для каждой порции  $pt$  задается ее задачник  $TS_{pt}$ :

$$pt \rightarrow TS_{pt} = \bigcup_{i=1}^n TS^i_{pt} \quad (3.18)$$

где  $TS_{pt}^i$  - класс задач категории (типа).

Каждая задача  $t_s$  характеризуется:

- 1) априорной сложностью -  $c(t_s) \in Com$  шкала априорной сложности;
- 2) относительным весом -  $w(t_s)(w: TS_{pt} \rightarrow w^{(ts)})$ ;
- 3) списком альтернативных ответов -  $A_{ns}(t_s)$ ;
- 4) шкалой корректности и функцией корректности возможных ответов:

$$cor(s): A_{ns} \rightarrow Cor \subseteq [0,1] \subseteq R. \quad (3.19)$$

При этом множество  $A_{ns}$  обычно считают линейно упорядоченным множеством с максимальным моментом, соответствующим абсолютно правильному решению и с минимальным элементом, соответствующим абсолютно неправильному ответу. Таким образом, для ответа  $a_n$ , на задачу  $t_s$  степень правильности есть вещественное число  $cor(a_n)$  и  $0 \leq cor(a_n) \leq 1$ . При этом для минимального элемента  $a_{n-} \in A_{ns}$ :  $cor(a_{n-})=0$ , а для максимального  $a_{n+} \in A_{ns}$ ,  $cor(a_{n+})=1$ .

### **3.2. Разработка моделей взаимодействия компонентов системы подготовки**

При реализации функций системы выделим классы пользователей: администратор, методист, консультант (Р) и обучаемый (О). Все эти категории пользователей отличаются по их отношению к учебным материалам (U), которые определяют совокупность неделимых единиц учебной информации, соответствующих структуре знаний специализации, и тестовым заданиям (Т), которые необходимы для контроля уровня знаний обучаемых.

Функциональная декомпозиция учебного процесса, протекающего при организации системы подготовки, определяется отображением всевозможных сочетаний вершин графа на рис.3.1.

При описании всех функций системы очевидно следующее разбиение функций:

- подготовка и формирование базы данных методических материалов, поддерживающих выбранные направления и специализации, в которых участвует администратор, методист и группа программистов.
- ведение непосредственно процесса обучения со всеми видами контрольных мероприятий.

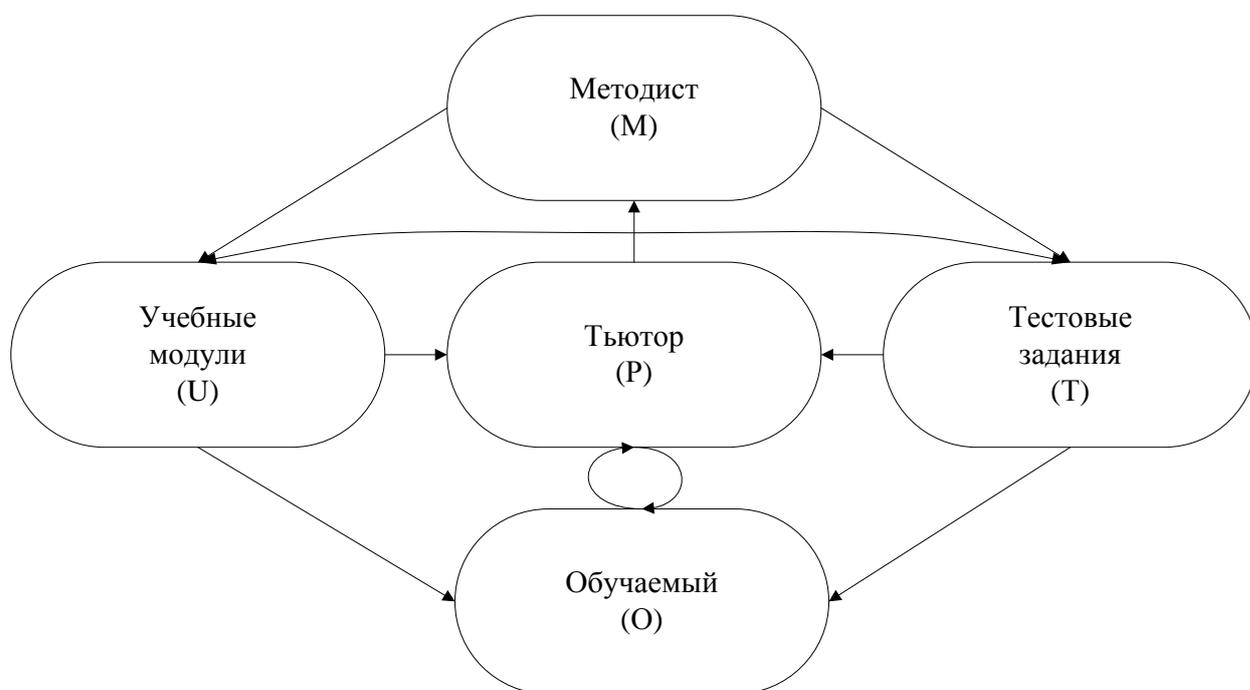


Рисунок 3.1 – Отображение сочетаний вершин функционального графа

На этапе подготовки учебных материалов самым активным пользователем системы является методист. На этапе процесса обучения более активны консультанты.

В представленном графе имеют место все множества подмножеств отношений:  $\langle U, P, O, T \rangle$  - общий план подготовки специалистов;  $\langle U, P, O \rangle$  - процесс обучения в соответствии с учебным планом;  $\langle T, P, O \rangle$  - процесс тестирования в соответствии с учебным планом;  $\langle U, O, T \rangle$  - самостоятельная работа;  $\langle U, T \rangle$  - семантическая связь связности лекций и тестовых заданий. Для каждого типа пользователей отметим их отношение к отдельным базам данных.

**Администратор** обеспечивает весь сервис и функционирование системы в целом, поддерживает работоспособность и выполняет синхронизацию всех баз данных. При наличии сформированных баз данных учебных материалов  $U$ ,  $T$ ,  $U \times T$  он обеспечивает ведение баз данных первого порядка  $O$  и  $P$ .

**Методист** формирует базы данных  $U$ ,  $T$ ,  $U \times T$ . Для обеспечения этих функций используется соответствующая инструментальная среда. С формированием множества  $U$  связан конструктор лекций. С множеством  $T$  - конструктор тестовых заданий. С множеством  $U \times T$  — администратор курсов.

**Обучаемый** изучает учебные материалы с использованием мультимедийного пользовательского интерфейса с базами  $U$ ,  $T$  и  $O \times P$ , которая поддерживает реализацию диалога обучаемого с консультантом. База данных учебных материалов  $U$  используется для организации прямой связи, т.е. предъявления учебного материала,  $T$  - для обратной, т.е. контроля знаний по изучаемым разделам, а  $O \times P$  - для корректировки процесса обучения. Обучаемый является основным объектом системы, на которого направлены все информационные потоки.

**Консультант** обеспечивает коррекцию обучения студента, которая основана на просмотре баз  $O \times T$  и  $O \times P$  и предполагает редактирование  $O \times U$  и  $O \times P$  на основе субъективных оценок консультанта относительно качества усвоения учебного материала.

Отношение  $P \times O$  формируется динамически и определяет закрепление обучаемого к конкретному консультанту, а также обмен информацией между ними. Оно является производной и формируется на основе связей  $P \times U$  и  $U \times O$ .

Отношение  $P \times U$  также определяет возможность оценки сложности конкретного учебного модуля.

Отношение  $P \times T$  определяет возможность оценки сложности тестового задания консультантом.

Тройное отношение  $P \times O \times T$  определяет наблюдение конкретного консультанта за результатами тестового контроля конкретного обучаемого.

Тройное отношение  $P \times O \times U$  определяет возможность редактирования конкретным консультантом образовательной траектории  $O \times U$  конкретного обучаемого, первоначальный вариант которой формируется автоматически.

$O \times U \times T$  определяет тестирование по конкретному направлению и автоматически формируется на основе отношений  $(O \times U) \cup (U \times T)$ .

Таким образом, в системе должны присутствовать практически все пересечения баз. Для их формализованного описания далее под  $X \rightarrow Y$  будем понимать некоторое управляющее действие  $X$  на  $Y$  (формирование или редактирование), которое поддерживается некоторой программной компонентой. Под  $X \Rightarrow Y$  будем понимать информационный поток из  $X$  в  $Y$  под управлением некоторой программной компоненты. Под  $\nabla$  алгоритмическую реализацию процедур. Рассмотрим всевозможные варианты взаимодействия компонентов системы и классов пользователей.

В предложенной формализации в системе предусмотрены реализации функций:

$P \times O \Rightarrow O$  ( $O \rightarrow P \times O$ ) - формирование вопросов и просмотр ответов консультантом;

$P \Rightarrow O$  - возможный просмотр обучаемым информации о консультантах;

$P \times O \Rightarrow P$  - просмотр вопросов обучаемых;

$T \times O \Rightarrow P$  - просмотр результатов успеваемости;

$U \times O \Rightarrow P$  ( $P \rightarrow U \times O$ ) - просмотр и редактирование индивидуальной траектории;

$O \Rightarrow P$  - просмотр обучаемым информационной карты консультанта (интерфейс аналогичен  $O \Rightarrow A$ ).

Для представления информации обучаемому должны быть разработаны пользовательские приложения:

– проигрыватель лекций обеспечивает воспроизведение сформированной лекции  $U \Rightarrow O$  ( $U \Rightarrow P$ );

– проигрыватель тестовых заданий обеспечивает воспроизведение тестовых заданий на рабочей станции. Последовательность заданий определяется администратором и его алгоритм либо таблица лежат только на сервере. Кроме

проигрывания единственной функцией является занесение в таблицу  $O \times T$  результата ответа на конкретное задание  $T \Rightarrow O$  ( $T \Rightarrow P$ );

– проигрыватель курсов имеет возможность формирования индивидуальной образовательной траектории и обеспечивает выбор из простого меню курса по усмотрению обучаемого.

– рассмотренные выше отношения сведены в таблицу, которая представляет соответствие всех отношений и программных приложений администратора, методиста, консультанта и обучаемого.

Таблица 3.1 – Функциональные приложения системы

1.	$M \rightarrow U1$	конструктор лекций
2.	$U1 \Rightarrow P \cup O$	проигрыватель лекций
3.	$M \rightarrow Tt$	конструктор тестовых заданий
4.	$Tt \Rightarrow O$	проигрыватель тестовых заданий $\nabla(T \times O) \Rightarrow O$
5.	$U_p \Rightarrow P \cup O$	проигрыватель учебных модулей
6.	$T_p \Rightarrow O$	проигрыватель тестов $\nabla(T \times O) \Rightarrow O$
7.	$\nabla O \rightarrow U \times O$	формирование характеристик учебной траектории
8.	$\nabla O \rightarrow T \times O$	формирование БД результатов тестирования
9.	$M \rightarrow U_p$	администратор учебных модулей
10.	$M \rightarrow T_p$	администратор тестов
11.	$M \rightarrow U \times T, U_p, T_p$	администратор связности лекций и тестов
12.	$A \rightarrow P \rightarrow P \cup O$	регистрация и просмотр консультантом
13.	$A \rightarrow O \rightarrow P$	регистрация и просмотр обучаемых
14.	$P \rightarrow (U \times O)$	ред. образовательной траектории $((U \times O) \cup (U \times T)) \rightarrow (U \times O)$
15.	$(T \times O) \Rightarrow P$	просмотр результатов тестирования $\nabla(T \times O) \Rightarrow P \cup O$
16.	$P \cup O \rightarrow (P \times O)$	обмен информацией между консультантом и обучаемым
17.	$(U \times P) \Rightarrow P$	оценка сложности модуля каждым консультантом $(U \times P) \rightarrow U$
18.	$(T \times P) \Rightarrow T$	оценка сложности теста каждым консультантом $(T \times P) \rightarrow T$
19.	$\nabla((U \times O) \cup (U \times T)) \rightarrow (U \times O)$	автоматическая генерация образовательной траектории
20.	$\nabla(T \times O) \Rightarrow P$	подсистема визуализации результатов тестирования

21.	$\nabla(U \times P) \Rightarrow U$	программа переоценки сложности модулей
22.	$\nabla(T \times P) \Rightarrow T$	программа переоценки сложности тестов
23.	$\nabla(T \times O) \Rightarrow O$	алгоритмы механизмов тестирования
24.	$P \rightarrow U \times T \times P$	оценка связности учебных модулей и тестов консультантом

Бинарные отношения на системе элементов учебных курсов и тестовых заданий обеспечивают поддержку формирования персонализированной образовательной траектории

$U \times T$  - представляет таблицу множественной связи между модулями и тестовыми заданиями. Формирование и редактирование таблицы осуществляется только методистом.

...	...
Тестовое задание $i$	Модуль $k$
...	...
Тестовое задание $j$	Модуль 1
...	...

$O \times T$  - формируется в процессе тестового контроля на всех этапах обучения и определяет результаты ответов на тестовые задания.

...	...	...
Тестовое задание $i$	Обучаемый $k$	Признаки решения
...	...	...
Тестовое задание $j$	Обучаемый 1	Признаки решения
...	...	...

Признаки решения содержат время, правильность решения тестового задания и другие вспомогательные признаки.

$O \times U$  персонализированная образовательная траектория формируется на основе таблиц  $O \times T$  и  $T \times U$ . Автоматическая генерация траектории определяется функциональным отображением или композицией отношений  $((O \times T) \cup (T \times U)) \rightarrow (O \times U)$ , которая может просматриваться и редактироваться консультантом  $P \rightarrow (O \times U)$ ,  $(O \times U) \Rightarrow P$ .

Обучаемый $k$	Модуль 1	Параметры
Обучаемый $k$	Тест 1	Параметры

Обучаемый k	Модуль 2	Параметры
Обучаемый k	Модуль 3	Параметры
Обучаемый k	Тест 2	Параметры
...	...	...
Обучаемый 1	Модуль 4	Параметры
...	...	...

С другой стороны таблица тестовых заданий для каждого обучаемого ( $O \times T$ ) формируется на основании ( $U \times T$ ) и персонализированной образовательной траектории и определяется отображением  $(O \times U) \cup (U \times T) \rightarrow (O \times T)$ .

Если таблица  $U \times T$  статическая и формируется только методистом, то  $O \times T$  и  $O \times U$  - динамические и определяют взаимно сцепленные процессы. Организация процесса обучения без консультанта предполагает взаимосвязь таблиц, представленной на рис.3.2.

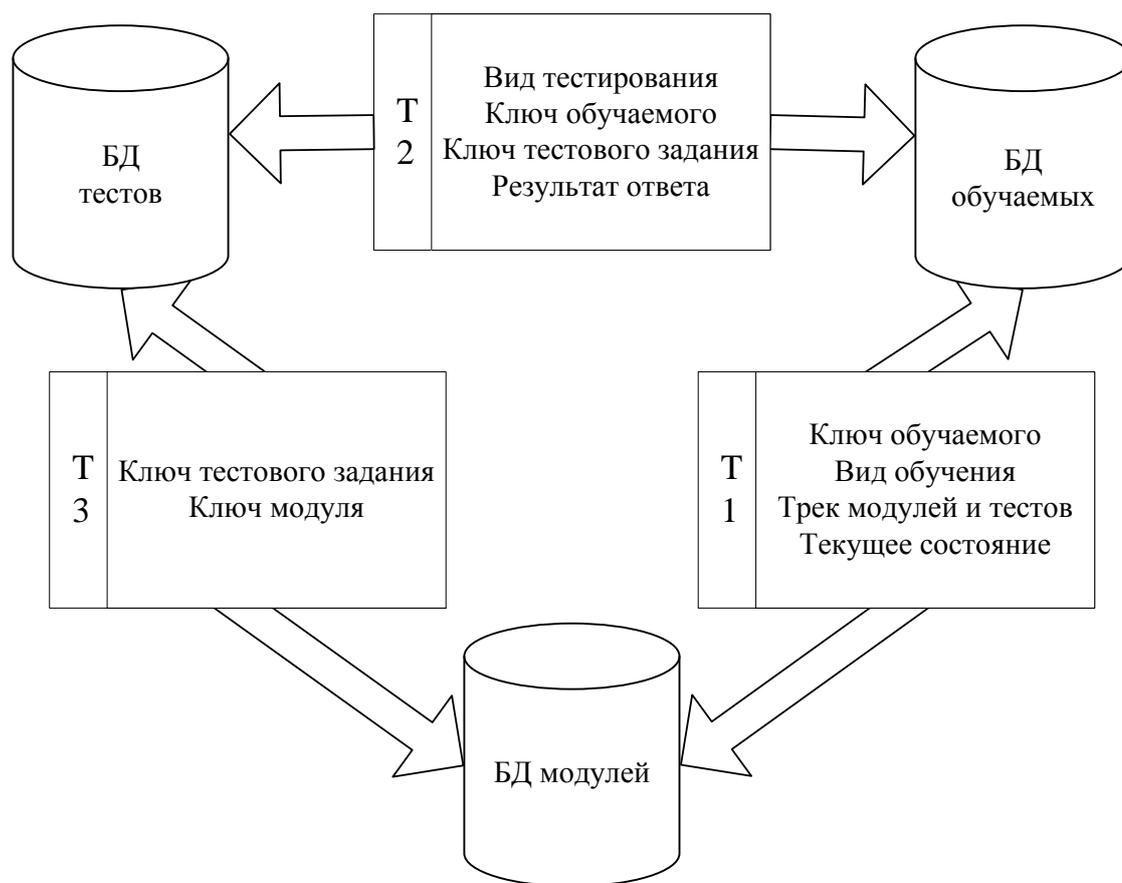


Рисунок 3.2 – Формирование персонализированной траектории

Созданные модели и концепция формирования системы позволяет выполнить автоматическую генерацию образовательной траектории для каждого обучаемого на основе статистических данных по результатам ответов на тестовые задания и связность учебного материала.

Однако полученная автоматической генерацией индивидуальная траектория обучения не является окончательной. Считаем, что консультант на основании своих субъективных соображений может вмешаться в процесс формирования плана и поэтому для него должна быть сформирована программная среда поддержки конструирования индивидуального плана.

Разработка индивидуальных графиков предоставляет возможность выбрать наиболее эффективную стратегию познавательной деятельности обучаемого на весь период обучения и своевременно вносить в нее необходимые коррективы. Такой подход обеспечивает реализацию прав обучаемых на максимальную самостоятельность в процессе обучения.

Основная задача работы заключается в автоматизации формирования отношения  $(O \times U)$ , т.е. представления обучаемому определенных учебных материалов. Идея генерации состоит в следующем. Результаты тестового контроля  $(O \times T)$ , связность учебных материалов  $(U \times U)$  и связность тестовых заданий и учебного материала  $(T \times U)$  как бинарные отношения формально определяют операцию композиции  $(\circ)$ , например:

$(O \times T) = (O \times U) \circ (U \times T)$  - формирование теста по заданным разделам;

$(O \times U) = (O \times T) \circ (T \times U)$  - формирование персонализированной траектории обучения по результатам тестового контроля без учета связности учебного материала.

Большой теоретический интерес представляет композиция  $(O \times U) = (O \times T) \circ (T \times U) \circ (U \times U)$ , которая учитывает связность учебных материалов  $(U \times U)$ . Бинарное отношение  $(U \times U)$  будем формировать в виде графа, вершины которого являются модулями учебного материала.

### 3.3. Алгоритм формирования учебной программы на основе композиции

Итак, пусть множество модулей представляет собой граф  $G=(M, E)$ , где отношение порядка  $E$  определяется на основании связности термов.  $W_j > W_i$  означает, что выходной терм  $W_i \in W^\circ$  необходим для понимания входного термина  $W_j \in W^I$ . Отношение порядка между термами определяет отношение порядка на модулях, что задается отношением:

$$M_j > M_i \equiv \exists i_l, j_l : (W_{j_l} > W_{i_l}), W_{j_l} \in M_j, W_{i_l} \in M_i \quad (3.20)$$

которое должно обладать свойствами антирефлексивности, антисимметричности и транзитивности. Перечисленные свойства исключают возможность цикличности транзитивного замыкания.

Алгоритм автоматической генерации траектории обучения основан на первоначальной оценке необходимости включения модулей в траекторию обучения, что определяется результатами тестового контроля  $(O \times T)$ . Композиция  $(O \times T)^\circ (T \times U)$  дает оценку нечеткого вектора  $SM^{(0)} = (SM_1^{(0)}, \dots, SM_n^{(0)})$ , где  $SM_i^{(0)}$  определяет степень необходимости включения данного модуля ( $0 \leq SM_i^{(0)} \leq 1$ ) в учебную программу без учета связности. Отношение порядка  $E \in (U \times U)$  на множестве модулей представляет нечеткое отношение.  $E_{ij}$  определяется количеством выходных термов  $i$ -го модуля  $N_i^\circ = \text{Card}(W_i^\circ)$ , количеством входных термов  $N_j^I = \text{Card}(W_j^I)$  и мощностью пересечения  $N_{ij} = \text{Card}(W_i^\circ \cap W_j^I)$ , т.е.  $E_{ij} = N_{ij} / (N_i^\circ \cdot N_j^I)$ . Нечеткое отношение более высокого порядка связности определяется композицией нечетких отношений. При этом:

$$E^2 = E \bullet E \equiv E_{ij}^{(2)} = \max_k \min(E_{ik}, E_{kj}). \quad (3.21)$$

Отношение  $E^{(2)}$  определяет модули второго порядка  $E^{(3)} = E \bullet E^{(2)}$  - третьего и т.д. Нечеткая композиция  $SM^{(0)}$  и  $E$  дает нечеткий вектор  $SM^{(1)}$ , т.е. необходимость включения дополняющих модулей первого порядка.  $SM^{(2)} = SM^{(0)} \bullet E^{(2)}$  дает нечеткий вектор необходимости включения модулей поддержки второго порядка и т.д. Нечеткая модель включения модулей в

персональную учебную траекторию определяется нечетким объединением  $SW = \bigcup_k SW^{(k)}$ .

Таким образом, определяя детерминированное пороговое значение уровня значимости включения модуля в программу, алгоритм реализует автоматическую генерацию образовательной траектории без участия консультанта.

Рассмотрим более подробно формирование нечеткого отношения на множестве модулей. Пусть имеется множество модулей  $M = \{M_i\}$ . С каждым модулем связаны множества входных  $W_i^I$  и выходных  $W_i^O$  термов, что схематично представлено на рис.3.3.

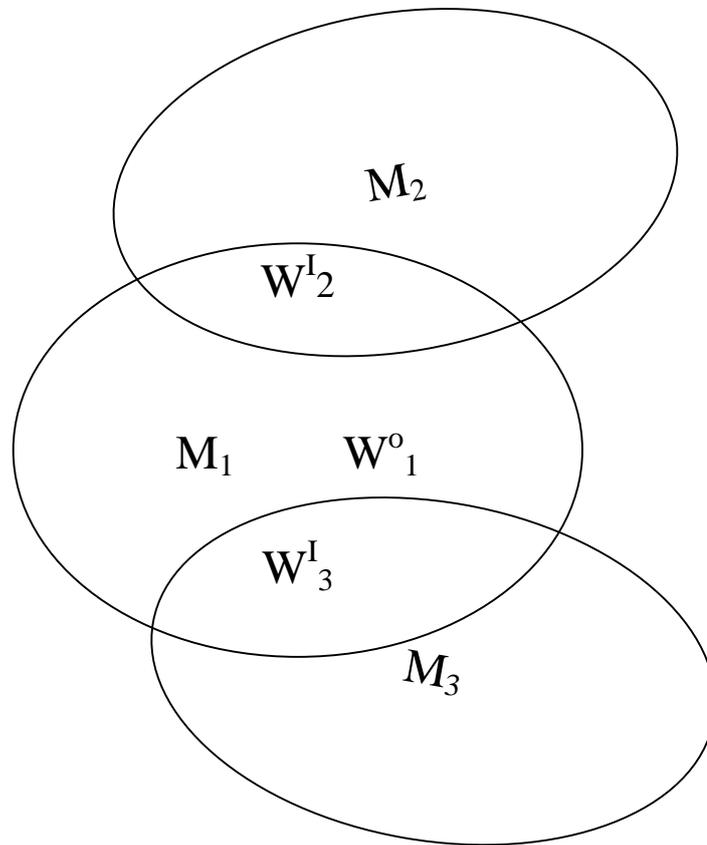


Рисунок 3.3 – Формирование меры связности модулей

Отношение порядка  $E \in (U \times U)$  на множестве модулей представляет нечеткое отношение.  $E_{ij}$ , которое определяется количеством выходных термов  $i$ -го модуля  $N_i^O = \text{Card}(W_i^O)$ , количеством входных термов  $N_j^I = \text{Card}(W_j^I)$  и мощностью пересечения  $N_{ij} = \text{Card}(W_i^O \cap W_j^I)$ . При этом в качестве меры

связности можно выбрать величину  $E_{ij}=N_{ij}/N_i^o \cdot N_j^l$ , которая определяет долю выходных термов предшествующего модуля, используемых в последующем модуле. С другой стороны, в качестве такой меры можно использовать величину  $E_{ij}=N_{ij}/N_i^o \cdot N_j^l$ , которая также зависит и от доли входных термов последующего модуля, вводимых предшествующим модулем.

Таким образом, для любой пары  $(M_i, M_j)$  определено пересечение входных и выходных термов, которое и определяет меру связности. Количественная характеристика меры определяется числом в интервале от 0 до 1, поэтому интерпретация отношения связности может интерпретироваться как нечеткое отношение на основании теоретических положений нечетких множеств и нечетких отношений.

Определение нечеткого отношения на множестве модулей строится на понятиях теории графов и лингвистических переменных. Пусть  $x$  и  $y$  две нечеткие переменные:

$$x \in E_1 \quad y \in E_2 \quad (3.22)$$

Подмножество  $G: \forall (x,y) \in E_1 \times E_2: \mu_G(x, y) \in M$  является нечетким графом, где  $M$  - функция принадлежности, определенная на декартовом произведении  $E_1 \times E_2$ . В дискретном случае  $G = \{(x_i, y_i) | \mu_{ij}\}_{ij=1 \dots N}$ .

Использование нечеткого отношения всегда проявляется в реальных ситуациях, когда выполняется некоторый сравнительный анализ. Например, сравнивается «уровень знаний» двух тестируемых. В этом случае термины «выше», «ниже», «много выше» являются термами этого нечеткого отношения.

Одной из задач, которая ставится при идентификации тестовых заданий, это его принадлежность к некоторым модулям на основе включения ссылок на некоторые термы. Принадлежность терма определенному направлению не является однозначной. Для решения задачи соотнесения можно использовать аппарат нечеткой композиции отношений.

Пусть каждому терму ставится в соответствие некоторый конечный вектор, набор направлений:

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_n), \quad (3.23)$$

компоненты которого определяют субъективную оценку принадлежности этого термина к каждому из направлений. Т.е. этот вектор можно рассматривать как некоторое нечеткое множество. Универсальным множеством в данном случае является числовое множество  $V_i$ .

$V_i$  степень принадлежности  $i$ -го термина к направлению.

На основании оценок экспертов можно считать заданным соответствие принадлежности.

$H = \{H_i\} \ i=1..n$ - термов;

$B = \{B_i\} \ i=1..m$ - направлений.

Каждая пара  $B_j, H_i$  имеет вес  $w_{ij}$ , что сведено в общую матрицу.

Таблица 3.2 – Принадлежность термов направлениям

Блоки объекты	Б1	Б2		Бm
H1	$W_{11}$	$W_{12}$		$W_{1m}$
H2	$W_{21}$	$w_{22}$		$w_{2m}$
Hn	$W_{n1}$	$wn2$		$w_{nm}$

В результате для определения степени принадлежности термина  $B_j$  направлению, можно использовать правило композиции нечетких отношений.

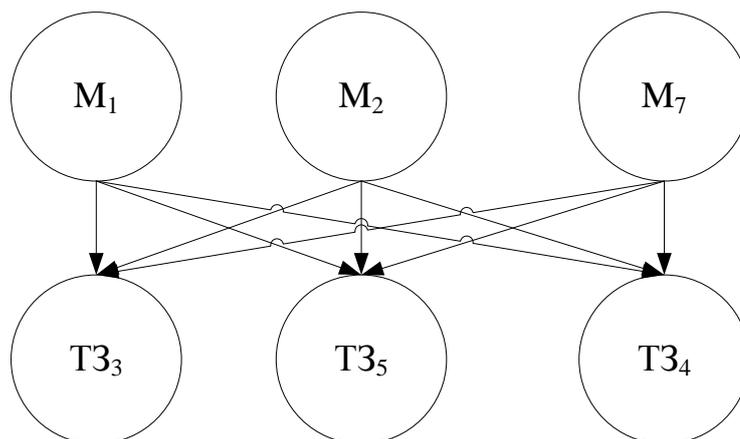


Рис. 3.4 – Отношение связности тестовых заданий и модулей

В результате будет сформировано нечеткое отношение  $(T \times U)$ , которое является аналогом детерминированного двудольного графа, схематично представленного на рис.3.4., дуги которого взвешены числовой оценкой в интервале от 0 до 1.

Начальный вариант анализа тестового контроля предполагает оценку правильности решения тестовых заданий. С одной стороны эта оценка может быть определена как да-нет и определяться либо как 0 либо 1. С другой стороны в заданиях на соответствие может быть определена более подробная дифференциация, как доля правильных соответствий, что также будет определять лингвистическую переменную правильности решения тестовых заданий.

Таким образом, лингвистическая переменная правильности решения тестовых заданий, определенная на декартовом произведении  $(O \times T)$  и отношение связности тестовых заданий и модулей, определенное на декартовом произведении  $(T \times U)$ , формально определяет композицию  $(O \times T) \circ (T \times U)$ , которая дает оценку нечеткого вектора принадлежности модуля индивидуальной траектории  $SM^{(0)} = (SM_1^{(0)}, \dots, SM_N^{(0)})$ , где  $SM_i^{(0)}$  определяет степень необходимости включения данного модуля ( $0 \leq SM_i^{(0)} \leq 1$ ) в учебную программу без учета связности модулей.

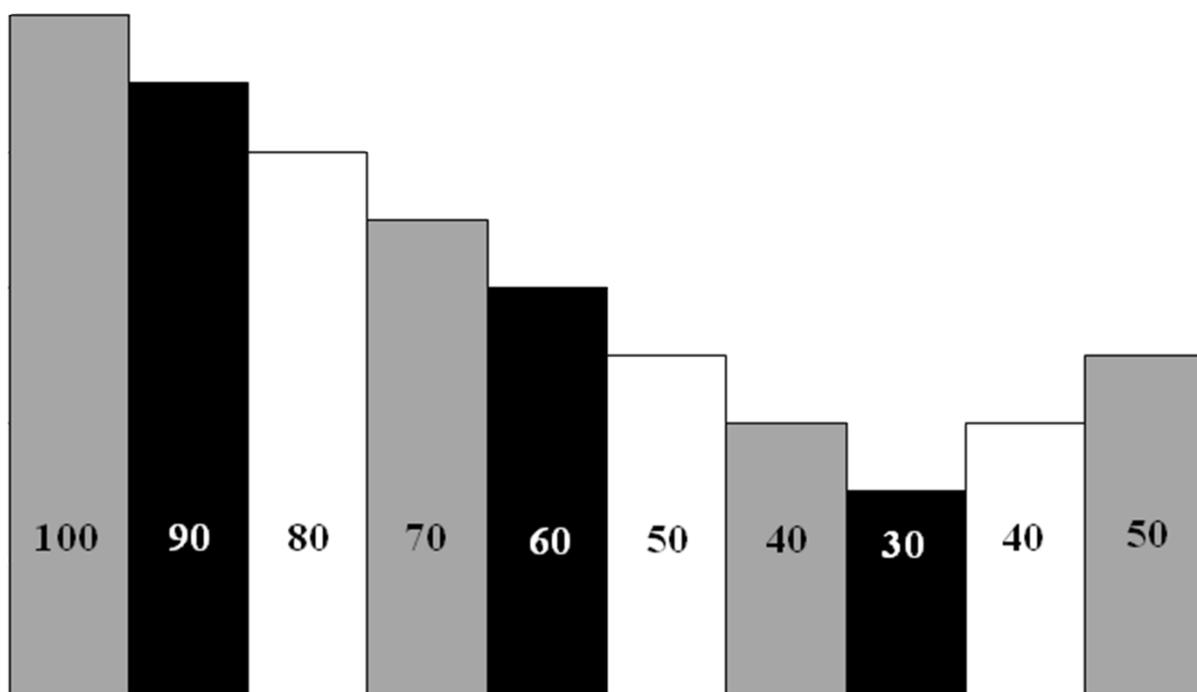


Рис. 3.5 – Степени принадлежности включения модулей

Лингвистическая переменная определена на множестве всех модулей и представляет дискретную лингвистическую переменную.

Как отмечалось выше, более адекватной моделью формирования персональной траектории является композиция  $(O \times U) = (O \times T) \circ (T \times U) \circ (U \times U)$ , которая учитывает связность учебных материалов  $(U \times U)$ . Это отношение было определено, как нечеткое отношение и теория нечетких множеств дает формальные модели композиций нечетких отношений.

Для нечетких отношений, как и для нечетких переменных определены подобные теоретико-множественные операции:

$$\begin{aligned} U_x &\Leftrightarrow \max_x & \cap_x &\Leftrightarrow \min_x \\ \mu_1(x) &= U_y \mu(x, y) & \Leftrightarrow & \mu_1(x) = \max_y \mu(x, y) \\ \mu_2(x) &= U_y \mu(x, y) & \Leftrightarrow & \mu_2(x) = \min_y \mu(x, y) \end{aligned} \quad (3.24)$$

проекция нечеткого отношения -  $\mu^1_R(x) = U_y \mu_R(x, y)$ ,

глобальная проекция -  $h(R) = U_x U_y \mu_R(x, y) = U_y U_x \mu_R(x, y)$

В общем случае, если имеются два нечетких отношения на множестве модулей  $R_1$  и  $R_2$ , то отношение  $R = R_1 \bullet R_2$  (где « $\bullet$ » - знак композиции) определяется на основании соотношения:

$$\mu_R(x, y) = \max_z (\min(\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z))) \quad (3.25)$$

Операция композиция является основной операцией на нечетких отношениях, которая его принципиально отличает от операций над нечеткими переменными (в дискретном случае композиция аналогична матричному произведению, и произведению линейных операторов).

В результате композиция реализуется по обычным правилам матричной алгебры, где вместо операции умножения « $\times$ » используется операция взятия минимума « $\min$ », а вместо операции суммы « $+$ » используется операция взятия максимума « $\max$ ». В результате формула интерпретируется следующим образом:

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} \cdot b_{kj} \Rightarrow c_{ij} = \max_k (\min(a_{ik} \cdot b_{kj})). \quad (3.26)$$

Пусть матрица нечеткого отношения связности модулей равна:

$$R = \begin{bmatrix} (1,1)|1 & (1,2)|0.5 & (1,3)|0 & (1,4)|0 \\ (2,1)|0.5 & (2,2)|1 & (2,3)|0.5 & (2,4)|0 \\ (3,1)|0 & (3,2)|0.5 & (3,3)|1 & (3,4)|0.5 \\ (4,1)|0 & (4,2)|0 & (4,3)|0.5 & (4,4)|1 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Тогда используя правило композиции, получим:

$$R \bullet R = \begin{bmatrix} (1,1)|1 & (1,2)|0.5 & (1,3)|0.5 & (1,4)|0 \\ (2,1)|0.5 & (2,2)|1 & (2,3)|0.5 & (2,4)|0.5 \\ (3,1)|0.5 & (3,2)|0.5 & (3,3)|1 & (3,4)|0.5 \\ (4,1)|0 & (4,2)|0.5 & (4,3)|0.5 & (4,4)|1 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Из приведенного примера видно, что если в начальной схеме связность модулей  $M_1$  и  $M_3$  отсутствовала, то в результате композиции она стала равной 0,5.

В случае связности модулей, по мнению экспертов (методистов), возможно использование не только  $\min \times \max$ -композиции, но и других:

$$\text{max} - * \text{- композиция } \mu_{R_1 \bullet R_2}(x, z) = \cup_y [\mu_{R_1} * \mu_{R_2}],$$

$$\text{max} - \cdot \text{- композиция } \mu_{R_1 \bullet R_2}(x, z) = \cup_y [\mu_{R_1} \cdot \mu_{R_2}].$$

Итак, пусть в результате тестового контроля построено нечеткое множество принадлежности модулей индивидуальному учебному плану  $SM^{(0)} = (SM_1^{(0)}, \dots, SM_N^{(0)})$  - вектор принадлежностей, где  $SM_i^{(0)}$  определяет степень необходимости включения данного модуля ( $0 \leq SM_i^{(0)} \leq 1$ ) в учебную программу без учета связности. Схематично степени принадлежности в процентном отношении показаны на рис.3.5.

Таким образом, в нашем случае первой компонентой нечеткой композиции является вектор, а вторым отношение, поэтому будем использовать композиционное правило вывода, иллюстрация которого приведена на рис.3.6.

Будем использовать их для построения алгоритма оценки связности. Итак, пусть  $SM(x)$  - нечеткое множество, а  $R(x, y)$  - нечеткое отношение

1. Получаем цилиндрическое продолжение  $SM(x, y)$  нечеткого множества  $SM(x)$  на всю плоскость, где для любого  $y$   $SM(x, y) = SM(x)$ .

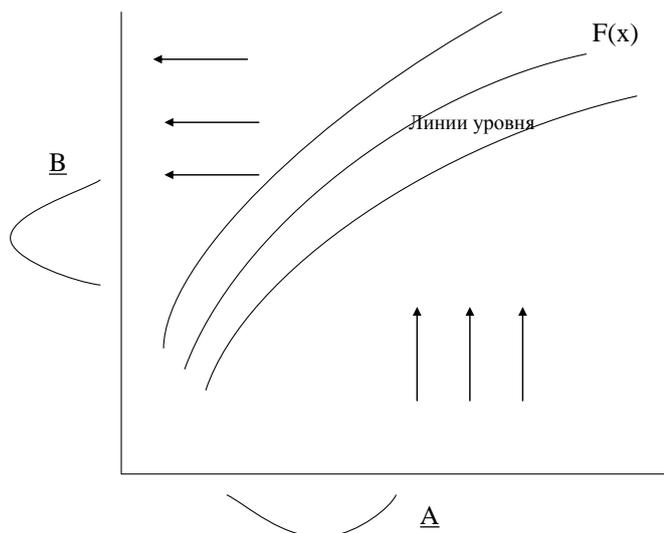


Рис.3.6 – Композиционное правило вывода

2. Используем правило композиции размытых отношений:

$$\mu_{v \wedge w}(x, y) = \mu_v(x, y) \wedge \mu_w(x, y) \quad (3.29)$$

3. Проектируем размытое отношение на ось  $OY$ :

$$\mu_{vw}(y) = \bigvee_x (\mu_v(x, y) \wedge \mu_w(x, y)) \quad (3.30)$$

В результате последнее соотношение дает новые значения степеней принадлежности модулей с функцией принадлежности  $\mu_{vw}$ .

Пусть  $SM$  - вектор степеней принадлежности четырех модулей учебного плана  $SM=(0,5; 1; 0,7; 0,1)$ ,  $R$ - нечеткое отношение связности:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.7 & 1 & 0.9 & 0.3 \\ 0.4 & 0.6 & 1 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Тогда результат композиции будет определяться следующим образом:

$$\begin{bmatrix} 0.5 \\ 1 \\ 0.7 \\ 0.1 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.7 & 1 & 0.9 & 0.3 \\ 0.4 & 0.6 & 1 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7 \\ 1 \\ 0.7 \\ 0.7 \end{bmatrix}^T \quad (3.32)$$

Из последнего примера видно, что на первом этапе степень принадлежности четвертого модуля индивидуальному плану была равна - 0,1, однако после композиции связности стала равна 0,7, что значительно выше.

В общем случае модель связности определяет не только первый порядок связности, но и опосредованную связность, что формально ставит задачу поиска транзитивного замыкания нечеткого отношения связности, которое формируется как:

$$Tr\underline{R}=\underline{R}\cup\underline{R}^2\cup\underline{R}^3\cup\dots, \text{ где } \underline{R}^2=\underline{R}\bullet\underline{R}, \underline{R}\bullet\underline{R}\subset\underline{R}, \dots \quad (3.33)$$

В результате получена формальная модель формирования индивидуальной траектории как нечеткой переменной принадлежности модулей. Переход к детерминированному варианту учебного плана может быть выполнен на основе выбора некоторого порогового значения уровня значимости, который будет определять границу включения.

Таким образом, на основании построенных моделей каждому выходному терму, введенному в некотором модуле на каждый момент времени ставится в соответствие числовое значение определяющее степень понимания терма. На основании полученных моделей функции забывания каждого терма, в работе предлагается использование следующего критерия эффективности учебного плана:

$$\forall i F_i(T) \rightarrow \max, \quad (3.34)$$

где  $F_i(T)$  - значение функции забывания  $i$ -го терма на момент завершения изучения всех модулей  $T$ . Это классическая многокритериальная задача. Основой формирования интегрального критерия является свертка всех функций по группам классифицирующих признаков принадлежности модуля некоторому направлению. Каждому направлению присваиваются весовые коэффициенты, которые переносятся на все термы направления. В общем случае в программный комплекс включен ряд известных методов решения многокритериальных задач (метод идеальной точки, метод последовательных уступок и др.). Определив критерий эффективности появляется возможность сравнения планов, следовательно и возможность построения процедуры оптимизации.

Пусть в заданном интервале времени  $\Delta=[0, T]$ , определяющем период подготовки необходимо изучить  $N$  модулей. Пусть модуль представляет

тройку  $(\tau_j, r_j, f_j)$ , где  $\tau_j$  - длительность изучения,  $r_j \geq 0$  - учебная нагрузка,  $f_j = f_j(t)$ ,  $t \in [0, T]$  - ожидаемый эффект повышения активности понимания термов, как функция времени  $t$ . Предполагается, что изучение модуля идет непрерывно, однако возможна и параллель с другими.

В интервале  $\Delta$  выделяем моменты времени  $0 \leq T_1 \leq T_2 \dots \leq T_m = T$ , определяющие соответственно интервалы:

$$\Delta_1 = [T_0, T_1], \dots, \Delta_i = [T_{i-1}, T_i], \dots, \Delta_m = [T_{m-1}, T_m] \quad (3.35)$$

Пусть  $t_j$  - время завершения  $j$ -го модуля и соответственно  $(t_j - \tau_j)$  - время его начала. Тогда варьируя временами начала при условии непрерывности каждого модуля будем иметь  $S = \{t_j(S)\}$  - непосредственно структуру учебного плана. Введем функционал:

$$g_i(S) = \sum_{j=1}^N g_{ij}(t_j(S)) \quad (3.36)$$

где  $g_{ij}(t_j(S)) = R_j |\Delta_i \cap [t_j(S) - \tau_j, t_j(S)]|$  - объем нагрузки на интервале  $\Delta_i$  в процессе изучения  $j$ -го модуля.

Допустимые общие объемы нагрузок на каждом интервале  $\Delta_i$  определяются заданными уровнями  $g_i^0$ ,  $i=1..m$ . Задача заключается в поиске  $S = \{t_j(S)\}$ , доставляющая максимальный эффект при ограничениях на величину нагрузки на каждом интервале, что формально записывается:

$$G_0(x) = \sum_{j=1}^N g_{0j}(x_j) \rightarrow \max \quad (3.37)$$

при ограничениях:

$$G_i(x) = \sum_{j=1}^N g_{ij}(x_j) \leq g_i^0, \quad i=1..m \quad (3.38)$$

где  $g_{0j}(x_j) = f_0(t_j)$

Обычные в теории расписаний ограничения на сроки начала  $(t_j - \tau_j) \geq T$  и сроки завершения  $t_j \leq T$  легко уточняются посредством введения дополнительных функций  $f_j(t_j)$ . Последовательное приближение плана строится начиная с некоторого начального. Пусть  $X$  - базовое множество.

$P(X)$  - множество конечных последовательностей вида:

$$p = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_{kp}) \quad x_i \in X, \quad 1 \leq i \leq kp. \quad (3.39)$$

В  $X$  выделено некоторое подмножество допустимых последовательностей  $W(X) \subseteq P(X)$ . В  $W(X)$  выделено подмножество полных допустимых последовательностей  $W^l(X) \subseteq W(X)$ .

$p_i = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_l)$  - начальный отрезок последовательности;

$p^q = (x_{i_1}, \dots, x_i, \dots, x_{l_3})$  - конечный отрезок последовательности.

При  $q=l+1$  одна из них продолжает другую. Такие последовательности в теории расписаний называются сопряженными.

Рассмотрим две произвольные допустимые последовательности  $p_1$  и  $p_2$  выделим в  $p_1$  начальный отрезок  $p_{1/l_1}$  и сопряженный ему конечный отрезок  $p_1^{l_1+1}$ , а в  $p_2$  выделим  $l_2$  - начальный отрезок  $p_{2/l_2}$  и сопряженный ему конечный отрезок  $p_2^{l_2+1}$ . Функционал  $\Phi$ , определенный на множестве  $W(X)$  будет монотонно-рекурсивным, так как он обладает свойством

$$p_{1/l_1} \in W(X), p_{2/l_2} \in W(X), p_1^{l_1+1} \equiv p_2^{l_2+1}, \Phi(p_{1/l_1}) < \Phi(p_{2/l_2}) \Rightarrow \Phi(p_1) < \Phi(p_2) \quad (3.40)$$

Пусть  $\Phi^* = \sup_{p \in W^n} \Phi(p)$ . Последовательность  $p^*$  будет максимальной, если:

$$\Phi(p^*) = \Phi^* \quad p \in W^l. \quad (3.41)$$

Для заданной допустимой последовательности  $P$ ,  $p$ -родовым множеством назовем подмножество  $R(p) \subseteq W^l(X)$ , состоящее из тех полных допустимых последовательностей, у которых  $p$  является начальным отрезком. Множеством продолжений  $P(p)$  будет совокупность всех конечных отрезков элементов  $p$ -родового множества, сопряженных с  $p$ .

Обобщенный принцип оптимальности состоит в утверждении. Пусть заданы монотонно-рекурсивный функционал  $\Phi$  и две допустимые последовательности  $p_1$  и  $p_2$ , причем

$$\Phi(p_1) < \Phi(p_2) \quad R(p_1) \subseteq P(p_2) \quad (3.42)$$

Тогда элементы множества  $R(p_1)$  не могут быть максимальными.

Таким образом, метод определения максимального элемента для монотонно-рекурсивных функционалов сводится к следующему:

1. Рассматривается некоторое ограниченное число допустимых последовательностей таких, что объединение их родовых множеств и тех из

рассматриваемых последовательностей, которые являются полными допустимыми, в совокупности дает все множество полных допустимых последовательностей.

2. На основе обобщенного принципа оптимальности исключается часть родовых множеств; из рассматриваемых полных допустимых последовательностей оставляются только те, которые дают наибольшее значение функционалу; исключаются из рассмотрения последовательности, для которых родовое множество пусто.

3. Выбирается некоторая допустимая последовательность из числа рассмотренных, для которой родовое множество не пусто и не исключалось. Рассматривается некоторое ограниченное число допустимых последовательностей, являющихся продолжением выбранной последовательности и таких, что объединение их родовых множеств и тех из них, которые являются полными, в совокупности дают родовое множество выбранной последовательности.

4. Для множества, состоящего из вновь образованных в п.3. допустимых последовательностей и неисключенных и непродолженных ранее допустимых последовательностей, производятся операции, указанные в п.2.

Далее пп. 2, 3, 4 циклически повторяются. Если на каком-то этапе процесса решения не останется ни одной допустимой последовательности с непустым или неисключенным родовым множеством, то процесс решения завершен и в качестве решения берется одна из рассмотренных полных допустимых последовательностей с небольшим значением функционала. На каждом этапе процесса решения требуется помнить множество полных последовательностей, остающихся для дальнейшего продолжения.

Решением задачи является последовательность  $x=\{x_j; j=1..N\}$ . Решение является допустимым, если  $\forall i G_i(x)\leq g_i^0$ .

$X_n=(x_1 \dots, x_i, \dots, x_n)$  - начальный отрезок длины n.

$X_n$  - допустимый начальный отрезок, если

$$\forall i=1..m \quad G_i(X_n)=\sum_{j=1}^n g_{ig}(x_j)\leq g_i^0 \quad (3.43)$$

Пусть задан начальный отрезок  $X_n$ . Значения функций  $G_i(X_n)$   $i=1..m$  являются параметрами начального отрезка, а  $(m+1)$  - мерный вектор с компонентами  $G_i(X_n)$  - параметрами решения задачи корректировки планграфика.

Пусть даны  $X_n^1$  и  $X_n^2$ .  $X_n^1$  мажорирует  $X_n^2$  ( $X_n^1 \prec X_n^2$ ), если выполнены неравенства  $G_i(X_n^1) - G_i(X_n^2) \leq 0$ ,  $i=1..m$  (причем хотя бы одно из них - строгое).

В процессе итераций допустимые начальные отрезки упорядочиваются так, что:

$$G_0(X_n^1) \leq G_0(X_n^2) \leq G_0(X_n^3) \leq \dots, n=1..N, \quad (3.44)$$

тогда первый по порядку допустимый начальный отрезок длины  $N$  является искомым решением задачи корректировки.

Пусть  $W_n$  - множество всех допустимых отрезков длины  $n$ . Пусть  $W_n^0, W_n^1$  - подмножества  $W_n$ , такие, что

1.  $\forall Y_n \in W_n^0 \exists X_n \in W_n^1 \Rightarrow X_n \prec Y_n$
2.  $\neg \exists X_n \in W_n^1, Z_n \in W_n^1 \Rightarrow X_n \prec Z_n$
3.  $W_n^0 \cup W_n^1 = W_n, W_n^0 \cap W_n^1 = \emptyset$

Процедура выделения в  $W_n$  всех начальных отрезков принадлежащих  $W_n^0$  заключается в выполнении:

1. В  $W_n$  помечаются все начальные отрезки  $X_n^s$  для которых  $X_n^l \prec X_n$ ;
2. Начиная с первого по порядку непомеченного начального отрезка  $X_n^s$  помечаются все непомеченные ранее  $X_n^{s+l}$ , для которых  $X_n^s \prec X_n^{s+l}$ ;
3. Пункт 2 повторяется до тех пор, пока для некоторого  $s$  все  $X_n^{s+l}$  окажутся помеченными или список начальных отрезков будет исчерпан.

Помеченные отрезки принадлежат множеству  $W_n^0$ , непомеченные -  $W_n^1$ .

Элементы  $X_1$  образуют начальный отрезок длины 1. Начальные отрезки  $X_{n+1}^s$  длины  $(n+1)$  образуются как упорядоченные пары  $X_{n+1} = (X_n, x_j)$ , где  $x_j = 1..T$ .

В результате, начальные отрезки длины  $N$  являются решениями задачи. Сам алгоритм представляет  $N$ -шаговый процесс, на каждом шаге которого

производится генерация допустимых начальных отрезков и последовательная проверка условия мажорирования для полученных пар.

### **3.4. Методика организации системы подготовки**

Проведенный анализ методов подготовки показал целесообразность многоэтапной системы включающей этапы профотбора, входного контроля, непосредственно обучения и аттестации учащихся. Разработанные принципы и программные компоненты, приводят к возможности организации различных вариантов формирования образовательного процесса.

На первом этапе после регистрации сотрудник направляется в учебный центр для профориентации. На этом этапе система должна предоставлять просмотр краткого содержания специализаций и отражать специфику как можно большего числа специализаций, которые затребованы на настоящий момент на предприятии. Естественно, что при просмотре информации о специализации должно быть реализовано максимально наглядное представление ее особенностей, что может быть достигнуто только на основе использования всего разнообразия мультимедийных компонентов: видео, звук, анимации и т.д.

По каждой специализации составляется определенное количество тестовых заданий составляющих тест. После просмотра заинтересовавших специализаций, сотрудник выполняет тестовые задания по каждой из них. Результаты тестирования являются основой для профотбора. В результате просмотра ответов на тестовые задания по каждой специализации администратор определяет список возможных специализаций для конкретного обучаемого.

После выбора специализации начинается второй этап - этап входного тестирования. Входное тестирование осуществляется на основании предъявления тестовых заданий по всем модулям, которые требуют изучения в рамках выбранной специализации. С целью качественной оценки уровня подготовленности, количество тестовых заданий должно быть достаточно

велико. В этом случае возможна точная идентификация уровня подготовки по каждому модулю, включенному в учебный план.

В результате прохождения входного тестового контроля, имеется полная информация для формирования его персонализированной образовательной траектории. Модули, которые он знает достаточно хорошо могут быть исключены из его программы. Модули, которые он знает слабо, должны быть обязательно включены, а которые он практически не знает должны еще подкрепляться дополнительными базовыми модулями.

Имея формализованную структуризацию всего учебного материала, возможна автоматическая генерация его индивидуальной учебной программы с выдачей студенту информации, максимально полезной для него на текущий момент.

Третий этап (этап обучения) начинается после закрепления за студентом консультанта, который отслеживает весь процесс его обучения. Консультант может оставить учебный план, построенный автоматически, а может его модифицировать на основе своих собственных субъективных соображений, которые появляются на основе наблюдения за результатами выполнения графика учебного процесса. При этом возможны различные варианты представления учебного материала. В первом случае студенту открываются все модули и он может на свое усмотрение в предлагаемой для него последовательности обучения изучать содержимое модулей и проходить тестовый контроль. Во втором случае консультант на каждом шаге обучения открывает студенту лишь один модуль, а после успешного прохождения тестового контроля открывает для него следующий модуль. В третьем варианте, он наиболее общий, консультант открывает для студента небольшое подмножество модулей всего курса. В этом случае студент имеет возможность собственного выбора тем изучения в зависимости от его эмоционального настроения.

Процесс обучения заканчивается после изучения всех модулей, подкрепляющих знание теоретических аспектов выбранной специализации и

согласием консультанта допустить студента для прохождения выходного контроля.

Выходной контроль является четвертым этапом методики обучения. При проведении выходного контроля, как и в случае входного контроля, количество предъявленных тестовых заданий должно быть достаточно велико. Однако цели входного и выходного контроля различны. Если цель входного - максимальная точность оценки уровня знаний по всем направлениям, включая подкрепляющие базовые модули, для формирования персональной учебной программы, то цель выходного - максимально точная оценка уровня подготовки по дисциплинам, определяющих сформированность компетенций.

После успешного завершения выходного тестирования студент получает допуск к аттестации. В случае неудачного прохождения тестирования выполняется повторная организация входного контроля с целью выявления недостаточно полно изученных модулей. Формирование его персональной траектории полностью повторяет начальный этап. Однако, вероятнее всего количество модулей, которые будут включены в индивидуальную учебную программу, будет незначительно. После этого этап обучения повторяется, а затем заново выполняется процедура выходного контроля.

Таким образом, в предложенной схеме реализовано четыре этапа обучения: профотбор; входной контроль; непосредственно обучение; выходной контроль.

Несмотря на то, что функциональное назначение всех приведенных этапов существенно различаются, их реализация в системе строится на основе единой технологии. На рис. 3.7 приведена технологическая схема, реализующая предложенную методику.

Регистрация студента выполняется в подсистеме «Регистрация» и выполняется администратором. В базе данных «Обучаемых» студенту приписывается тип «профессиограмма». Администратор формирует для него индивидуальную программу с включением специализаций, которые затребованы и в которых заинтересован студент. С точки зрения

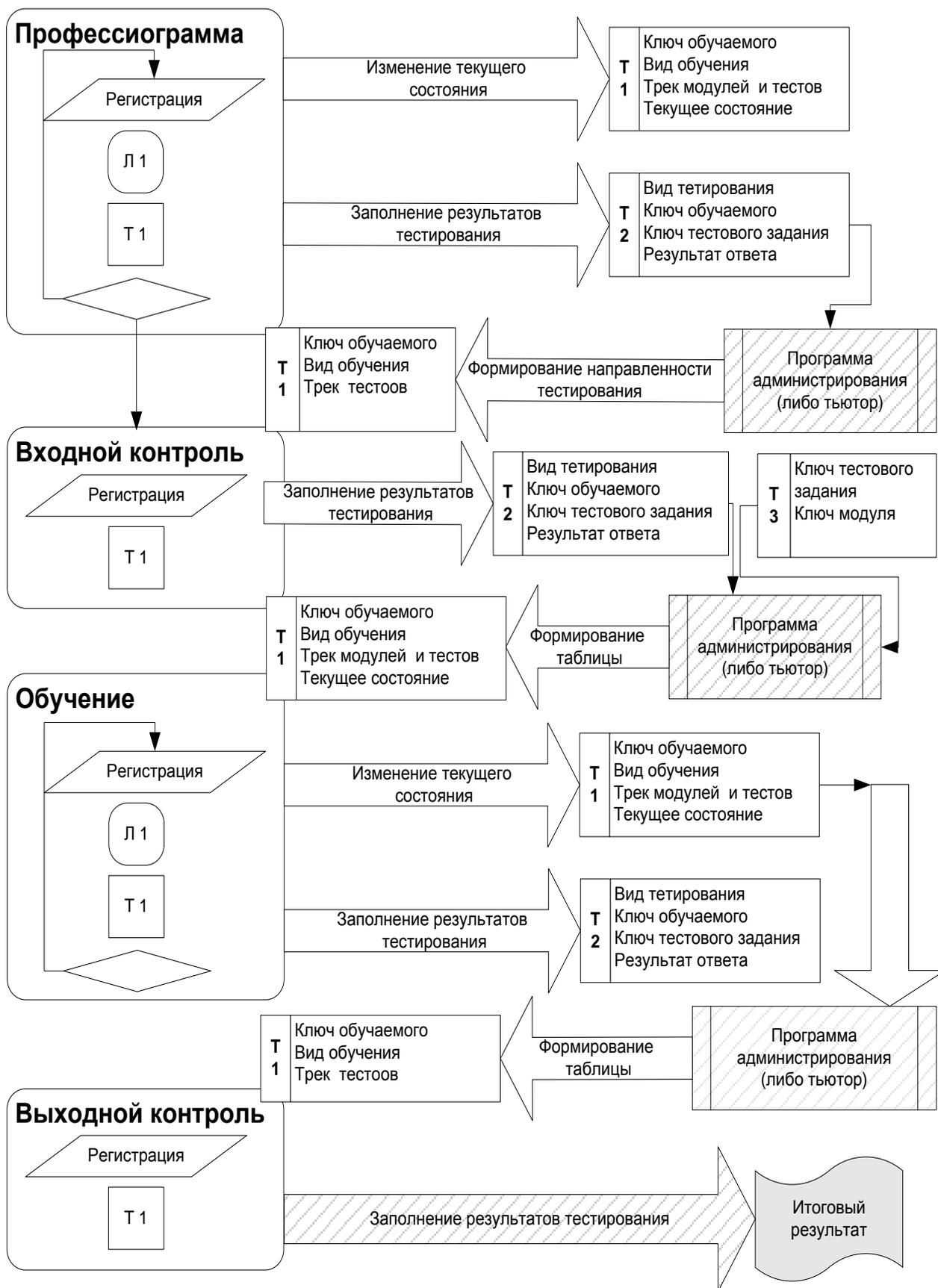


Рисунок 3.7 – Методика формирования персонализированной учебной траектории

программной реализации формируется таблица «Т1», включающая соответствующие модули профиограммы. Профиограмма в общей базе данных учебных материалов представлена отдельной «Дисциплиной», а ее модули соответствуют различным специализациям.

В процессе знакомства со спецификой специализации студент просматривает лекции модулей (программа «Клиент», окно «Проигрыватель лекций») и выполняет тестовые задания (программа «Клиент», окно «Проигрыватель тестовых заданий»). В ходе процесса обучения формируются таблицы «Т1» с отметками о времени и количестве входов в каждый модуль и таблица «Т2», отражающая результаты решения тестовых заданий.

После окончания знакомства с выбранными специализациям студент обращается к администратору и заявляет желание обучаться по выбранной специализации. Если результаты тестового контроля соответствуют начальному уровню оценки пригодности для освоения специализацией, то администратор генерирует образовательную траекторию, состоящую из всех модулей учебной программы, соответствующей данной специализации, т.е. формируется таблица «Т1». Статус студента в базе данных «Обучаемых» меняется на «входной контроль».

Программа «Клиент» в данном случае выполняется аналогично режиму «профиограмма», однако студенту предъявляются только тестовые задания модулей. В процессе тестирования заполняется та же таблица «Т2», которая хранит результаты выполнения всех тестовых заданий. По окончанию тестового контроля опять выполняется программа генерации персонализированной образовательной траектории, которая формирует таблицу «Т1».

За студентом закрепляется консультант (выполняется в программе «Обмен»). Статус студента переключается в режим «Обучение». В процессе обучения используется та же программа «Клиент» для просмотра лекций и выполнения тестовых заданий. В ходе всего процесса формируются таблицы

«Т1» и «Т2», которые являются основой для динамической корректировки образовательной траектории консультантом.

Выходной контроль начинается на основании прохождения студентом всех лекций всех модулей и соответствующих и тестовых заданий, а также после допуска консультантом, который ведет студента. Формирование траектории аналогично входному контролю, однако в данном случае выходной тест может представлять отдельный модуль, где тестовые задания подобраны таким образом, чтобы более тщательно оценить профессиональную готовность студента.

### **Выводы по 3 главе**

1. Выполнено формализованное описание процесса обучения и проведена классификация пользователей и компонентов системы с целью формальной декомпозиции системы подготовки.
2. Выполнена формализация модели учебного плана в виде нечеткого отношения и построена формальная модель композиции включения модулей в учебный план как нечеткой переменной.
3. Применены методы и алгоритмы формирования персонализированной образовательной траектории по результатам тестового контроля и структурной связности методических материалов на базе нечетких множеств и нечетких отношений.
4. Разработана методика подготовки и аттестации студентов, включающая этапы профориентации, входного контроля, непосредственно обучения и выходного контроля.

## Глава 4. Программная реализация методики генерации персонализированной образовательной траектории по направлению «Техносферная безопасность»

### 4.1. Проектирование структуры программного комплекса

При разработке структуры программного комплекса основной задачей было создание открытой системы с адаптивным интерфейсом и возможностью организации информационных связей с другими инструментальными средствами формирования учебных планов и курсов лекций.

При реализации функций системы выделим классы пользователей системы: администратор, методист, консультант и обучаемый. Все эти категории пользователей отличаются по их отношению к учебным материалам, которые определяют совокупность неделимых единиц учебной информации, соответствующих структуре знаний специализации, и тестовым заданиям, которые необходимы для контроля уровня знаний обучаемых. Все указанные категории пользователей работают в одном информационном пространстве. Кроме того, руководители должны иметь возможность оперативного просмотра результатов переподготовки, что приводит к задаче сопряжения с системой мониторинга.

Таблица 4.1 – Список таблиц: базы данных

Название	Назначение таблицы
Cycle	Информация обо всех циклах обучения
Direction	Информация обо всех направлениях учебного процесса
Tutor	Полный список консультанта
Discipl	Список дисциплин
Modul	Список модулей
Study	Список лекций, практических и контрольных заданий
Resource	Список книг, литературы, электронных изданий, адресов в сети Интернет.
Res_use	Таблица связи модулей и учебных материалов (Resource).

Term	Список всех термов, используемых в учебном процессе.
TermLink	Таблица связи модулей и термов
Prof	Список профессий, которые могут быть получены в результате изучения имеющихся учебных материалов
DiscProf	Список дисциплин, изучение которых необходимо для получения определенной профессии
TermProf	Список термов (понятий) для каждой дисциплины, которые необходимо изучить для получения профессии
TermProfLink	Связь между реально изученными термами и требуемыми для овладения профессией

Проведенный анализ и формализация структуры связей показали целесообразность создание структуры базы данных в виде, представленном на рис.4.1.

На рис.4.2. представлена схема связи данных таблиц, описывающих дисциплину. Основные данные располагаются непосредственно в таблице дисциплин (Discipl), также информация о цикле получается из таблицы циклов (Cycle), путем указания системного ключа цикла (c\_id).

Базовым элементом является таблица Модуль (Modul). Посредством ключевого поля (m\_id), имеется возможность получить информацию о всех учебных элементах (лекциях, практических и контрольных заданиях). Структура информации о модуле имеет более сложный вид. Это связано с более сложной смысловой и методической нагрузкой на понятие модуль.

Доступ к термам (Term), осуществляется опосредовано, через таблицу-связку (TermLink), при этом если привязка входного термина производится на основе уже существующего выходного термина, то обязательно в поле (from\_m) таблицы-связки указывается идентификатор модуля, где данный терм является выходным. Аналогично получению информации о терминах, осуществляется доступ к информации об учебных материалах (Resource) через таблицу-связку (Res\_use).



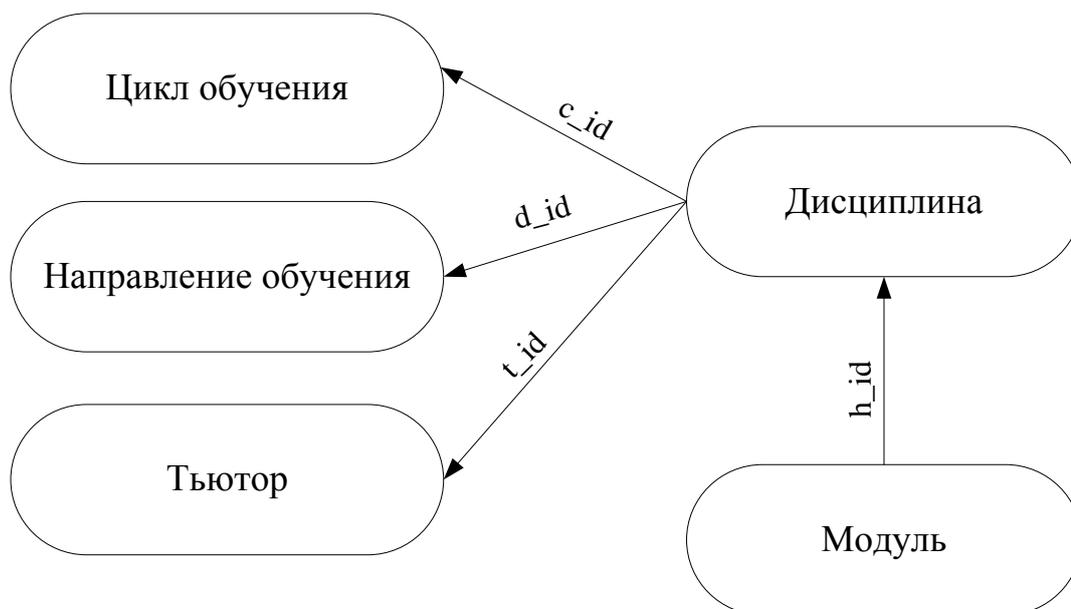


Рисунок 4.2 – Связь данных таблиц в описании дисциплины

Для работы системы в режиме карты требований к специализации создан набор таблиц, указанный на рис.4.3.

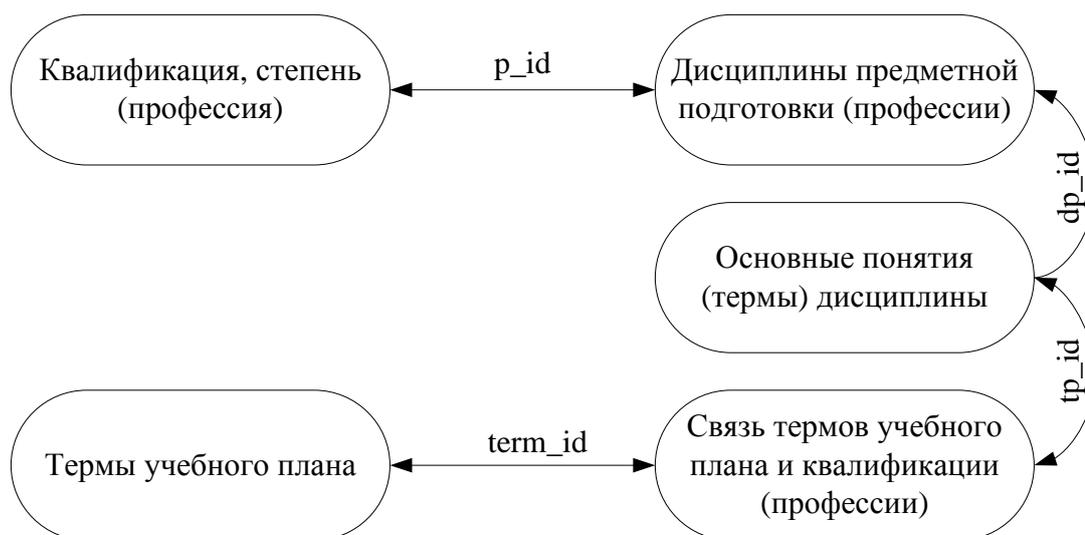


Рисунок. 4.3 – Связь данных таблиц карты требований

Данный набор данных предназначен для соотнесения требуемых знаний для получения профессии (таблица Prof) и реальными знаниями, которые включаются в учебный план. Сравнение осуществляется на основе базовых понятий (термов) и количества часов.

Необходимость ведения функций контроля вызывает необходимость проработки системы защиты как информации о результатах аттестаций, так и учебно-методических материалов. Разделение доступа в приложениях, управляющих базами данных, преследует две основные цели - недопущение

(жесткое или мягкое) пользователя к тем функциям приложения, которые не входят в круг его функциональных обязанностей и предотвращение злоумышленного доступа к данным или их разрушения. Разрабатываемая система призвана решать преимущественно первую задачу разделения доступа, а также вторую на уровне возможностей конкретной версии сервера БД. Основная идея - дать конкретному пользователю в определенный момент времени ровно столько привилегий, сколько ему необходимо для полноценной работы. Структура доступа представлена на рис.4.4.

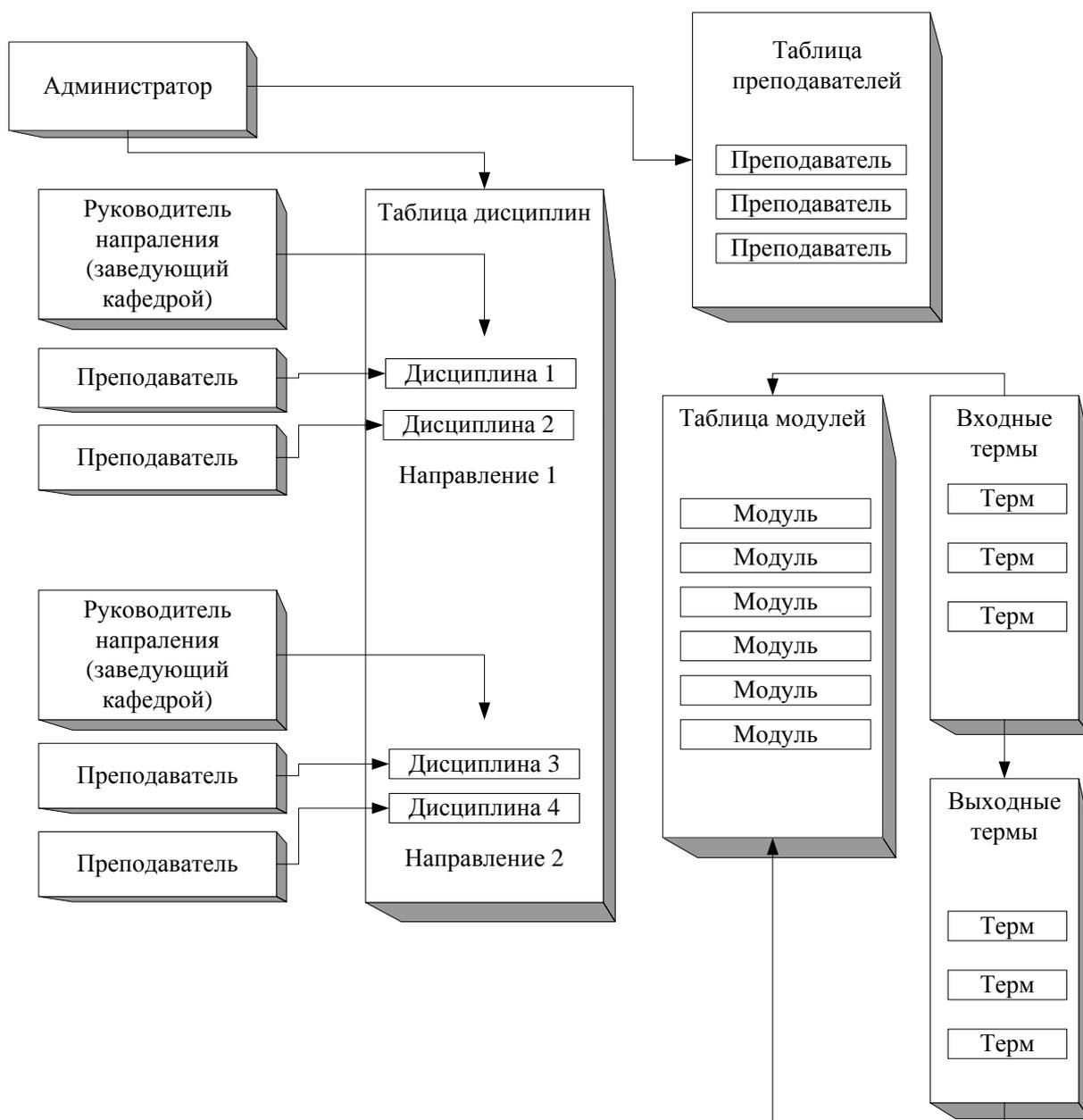


Рисунок 4.4 – Структура доступа

Права доступа к базе определяются на уровне сервера БД. Для облегчения работы администратора системы создан ряд таблиц и хранимых процедур, позволяющих автоматизировать процесс предоставления привилегий. Каждый преподаватель имеет свое имя пользователя и пароль. Каждый преподаватель имеет право изменять только свою дисциплину, либо, если он является руководителем направления, то и все остальные дисциплины этого направления. Все данные о преподавателях хранятся в таблице преподавателей. Единственным, кто имеет право изменять эту таблицу, является администратор. Администратор также имеет право изменять любую дисциплину. Также любой преподаватель, руководитель дисциплины либо администратор имеет право просматривать любую дисциплину, терм, модуль.

В диссертации реализованы механизмы интерфейсного взаимодействия с базовыми программными компонентами системы подготовки и структуризации учебных материалов, которыми являются «Конструктор тестовых заданий», «Конструктор лекций» и «Конструктор курсов».

**Конструктор тестовых заданий** представляет инструментальную среду разработки мультимедийных тестовых заданий («закрытое», «открытое», «соответствие», «на перетаскивание», их комбинации и др.).

**Конструктор лекций** представляет инструментальную среду формирования лекций, как последовательности мультимедийных фрагментов, реализованных в различных инструментальных средах. Основная функция - формирование лекции, сбалансированной по форме представления учебного материала.

**Конструктор курсов** представляет инструментальную среду структуризации лекций в рамках единого учебного курса.

**Среда Администратора** позволяет регистрировать обучаемых, консультантов и методистов, изменять их личные данные и сведения результате прохождения аттестаций. Администратор также управляет взаимодействием обучаемых, консультантов, методистов между собой и их привязкой к учебному материалу.

**Среда** консультанта обеспечивает контроль процесса обучения каждого сотрудника. Позволяет проводить групповые и индивидуальные консультационные занятия и т.д.

**Среда обучаемого** обеспечивает все необходимые функции доступа к учебным материалам и взаимодействия с консультантами.

#### **4.2. Программная поддержка функциональных возможностей консультанта при организации учебного процесса**

Инструментальная среда консультанта, с одной стороны, предназначена для автоматизации просмотра результатов обучения, формирования временных характеристик просмотра каждого предъявленного модуля, а также результатов ответов на тестовые задания. С другой стороны, основная задача консультанта - формирование индивидуальной образовательной траектории для каждого обучаемого. Система обеспечивает автоматическую генерацию последовательности модулей, тестовые задания которых не были решены, а также базовых модулей, которые необходимы для усвоения предъявленных на основе автоматического анализа связности. Среда позволяет консультанту администрировать образовательный процесс каждого закрепленного за ним обучаемого.

##### **4.2.1. Обратная связь с консультантом**

Педагогическое общение соответствует логике педагогического процесса, что позволяет выделить определенные стадии его развития.

Взаимодействие и взаимозависимость прямой и обратной связи представлены на рисунке 4.6. Рассмотрим различные ситуации в процессе коммуникации в дистанционном обучении:

1. Прямая связь: Консультант направляет обучаемому методические указания об использовании пакета обучающих материалов, о порядке обучения по индивидуальной учебной программе.

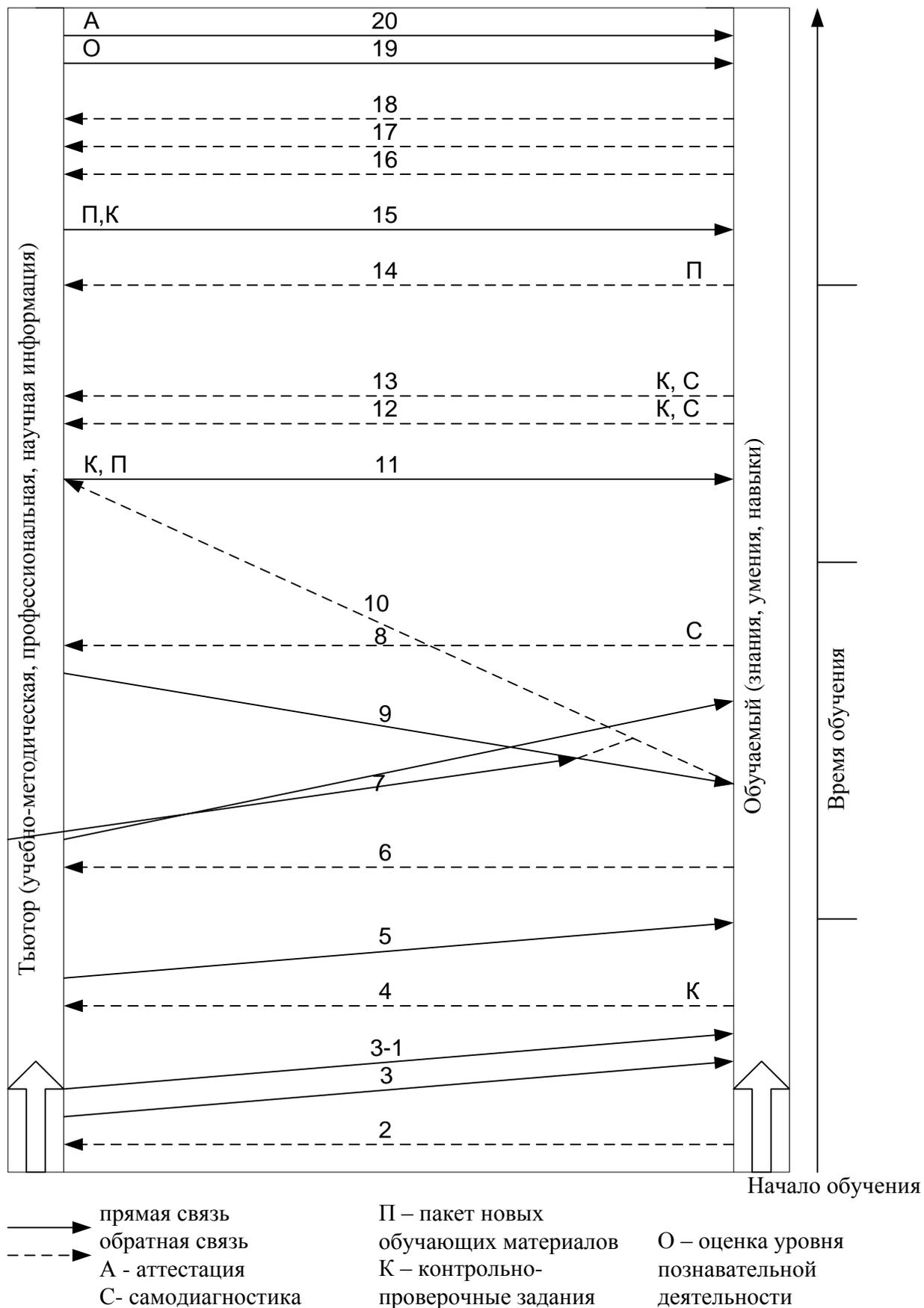


Рис. 4.6 – Прямая и обратная связь в открытом (дистанционном) обучении.

Обратная связь: Обучаемый через 3-4 дня после начала обучения сообщает консультанту о готовности выполнить первые проверочные задания по изучаемой программе, а также о необходимости представления дополнительных учебных материалов в связи с тем, что у обучаемого выявились пробелы в знаниях, умениях и навыках, которые необходимо срочно устранить.

3. Прямая связь: Консультант направляет обучаемому контрольные задания со сроком исполнения два дня. Учитывая, что ответ обучаемого не поступил в установленные сроки, консультант повторно сообщает о задании.

4. Обратная связь: Обучаемый информирует о результатах выполнения первого контрольного задания.

5. Прямая связь: Консультант, учитывая результаты выполненного задания, принимает решение не вступать в диалог с обучаемым в течение двух недель. Познавательная деятельность осуществляется на основе самообучения, саморегуляции, самоопределения, самокоррекции.

6. Обратная связь: Обучаемый через пять недель после начала обучения ощущает потребность в дополнительных учебно-методических, информационных и справочных материалах, необходимых ему к концу второго месяца обучения, и сообщает об этом консультанту.

7. Прямая связь: Консультант направляет обучаемому необходимые материалы и методические указания о проведении самодиагностики качества процесса самообучения. Материалы до консультанта не дошли, и консультант повторно направляет затребованные обучаемыми учебные материалы и методические указания.

8. Обратная связь: Обучаемый информирует консультанта о результатах самодиагностики, показывающих, что обучаемый не полностью усвоил учебные темы, предусмотренные программой обучения в середине второго месяца обучения. Все это обязывает консультанта изменить спроектированную индивидуальную образовательную траекторию.

9. Прямая связь: Консультант, учитывая возникшую ситуацию, корректирует процесс обучения и направляет обучаемому указания вернуться к изучению учебного материала, неусвоенного обучаемым ранее.

10. Обратная связь: Обучаемый интенсифицирует собственную познавательную деятельность. Выполнив указания консультанта, обучаемый запрашивает дополнительные учебные, методические, информационные и справочные материалы.

11. Прямая связь: Консультант допускает ошибку. Без проведения диагностики направляет обучаемому избыточный объем учебных материалов вместе с контрольным заданием. После этого в течение месяца консультант не вступает в диалог с обучаемым. Учебный процесс осуществляется на основе самообучения, саморегуляции, самоопределения, самоконтроля и самокоррекции.

12.13. Обратная связь: Обучаемый информирует консультанта о ходе собственной познавательной деятельности, позитивных результатах самодиагностики, выполнении контрольных работ, осуществлении самокоррекции познавательной деятельности.

14. Обратная связь: Обучаемый, учитывая пожелания работодателя о необходимости дополнительного приобретения новых профессиональных знаний, умений и навыков, которые не предусмотрены изучаемой учебной программой, делает заявку консультанту о направлении пакета новых обучающих материалов.

15. Прямая связь: Консультант направляет обучаемому новые обучающие материалы и методические указания о технологии их использования, а также контрольные задания с целью проверки качества сформированных профессиональных знаний, умений и навыков.

16.17.18. Обратная связь: Обучаемый представляет информацию о ходе познавательной деятельности на основе самообучения без вмешательства консультанта, о результатах самодиагностики приобретаемых знаний, умений и навыков, саморегуляции, самокоррекции процесса обучения.

19. Прямая связь: Аналитическая оценка уровня познавательной деятельности обучаемого.

20. Прямая связь: Комплексная диагностика, успешное выполнение которой дает основание для доступа к аттестации.

#### 4.2.2. Просмотр результатов обучения

В режиме просмотра образовательной траектории на дисплее отображается детальная информация о каждом модуле, входящем в образовательную траекторию, а именно:

- название дисциплины;
- название модуля;
- дата и время первого просмотра;
- дата и время последнего просмотра;
- общее время просмотра;
- число просмотров;
- признак доступности.

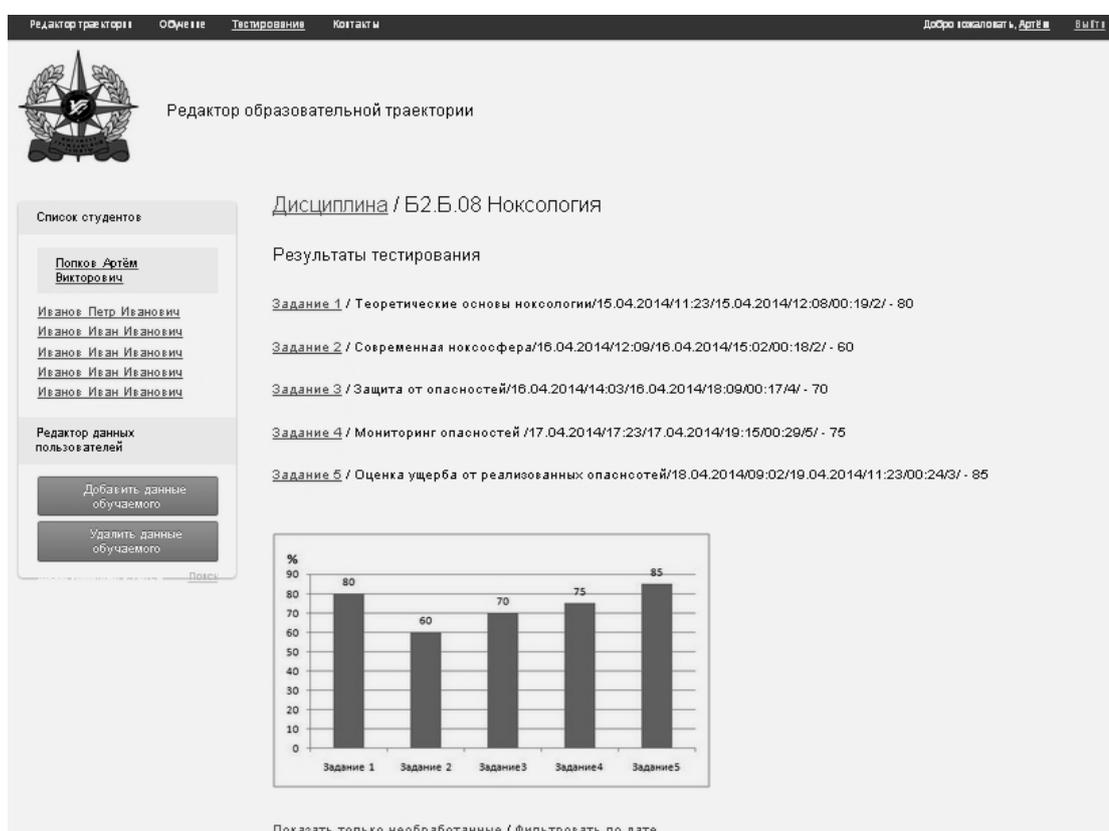


Рисунок 4.7 – Экран просмотра результатов тестового контроля

Правая панель отображает список модулей учебного материала. Она предназначена для выбора модуля учебного материала, который требуется включить в образовательную траекторию. В нижней части панели расположены элементы управления поиском модулей. Они предоставляют следующие возможности:

- отображение всех модулей, зарегистрированных в базе данных, или только тех, которые относятся к некоторой выбранной дисциплине;
- сортировка модулей по порядку их следования в дисциплине;
- сортировка модулей по названию.

#### **4.2.3. Обмен информацией между пользователями системы**

В системе реализована компонента прямого обмена информацией между консультантом и обучаемыми. За каждым консультантом закреплен один или несколько обучаемых, каждый из которых имеет возможность задать интересующий его вопрос.

Среда имеет полноэкранный пользовательский интерфейс, представленный тремя основными панелями, доступность и наполнение которых зависят от категории работающего в данный момент со средой пользователя и от выбранного режима работы. Со средой могут работать: администраторы, методисты, консультанты и обучаемые. Верхняя часть экрана отображает фамилию, имя, отчество выбранного обучаемого.

Левая панель отображает список консультантов. В зависимости от категории пользователя левая панель имеет следующее состояние и наполнение:

**Администратор или методист.** Панель видима и отображает список всех консультантов.

**Консультант.** Панель невидима; данный консультант считается текущим выбранным.

**Обучаемый.** Панель видима и отображает только тех консультантов, которые закреплены за данным обучаемым.

Панель предназначена для выбора консультанта, перед которым ставится вопрос.

Правая панель отображает список обучаемых. В зависимости от категории пользователя правая панель имеет следующее состояние и наполнение:

**Администратор или методист.** Панель видима и отображает список всех обучаемых.

**Консультант.** Панель видима и отображает только тех обучаемых, которые закреплены за данным консультантом.

**Обучаемый.** Панель невидима, а данный обучаемый считается текущим выбранным.

В зависимости от выбранного режима работы, на средней панели отображаются ответы консультанту и предоставляется возможность редактирования данных.

Панель предназначена для выбора того обучаемого, чьи данные хочет просмотреть или отредактировать пользователь среды. В нижней части панели расположены элементы управления, облегчающие поиск нужного обучаемого. Они предоставляют следующие возможности отображения только тех обучаемых, фамилия которых начинается с введенной подстроки или содержит ее.

#### **4.2.4. Редактирование образовательной траектории**

Основными функциями данной программной компоненты являются:

- автоматическая генерация образовательной траектории по результатам выполнения выбранных обучаемым тестовых заданий;
- редактирование образовательной траектории для выбранного обучаемого;
- отображение результатов прохождения образовательной траектории для выбранного обучаемого за указанный период обучения;
- отображение результатов тестирования.

Организационно за каждым консультантом закреплены обучаемые, каждый из которых имеет свою персонализированную образовательную траекторию. Образовательная траектория представляет собой сформированную в соответствии с учебным планом последовательность модулей учебного материала.

Для автоматической генерации образовательной траектории используется пороговое значение результатов ответов на тестовые задания. Эта функция полезна на начальном этапе формирования учебного плана. Следующей задачей консультанта является корректировка образовательной траектории обучаемого в зависимости от качества усвоения им учебного материала на основе субъективной оценки. Критерием оценки качества усвоения учебного материала является правильность и скорость выполнения тестовых заданий.

Среда имеет полноэкранный пользовательский интерфейс, представленный тремя основными панелями, доступность и наполнение которых зависят от категории работающего в данный момент со средой пользователя и от выбранного режима работы. Со средой могут работать пользователи четырех категорий: администраторы, методисты, консультанты и обучаемые. Верхняя часть экрана отображает фамилию, имя, отчество выбранного обучаемого.

Левая панель отображает список обучаемых. В зависимости от категории пользователя левая панель имеет следующее состояние и наполнение:

- администратор или методист (панель видима и отображает список всех обучаемых);
- консультант (панель видима и отображает только тех обучаемых, которые закреплены за данным консультантом);
- обучаемый (панель невидима и данный обучаемый считается текущим выбранным).

Панель предназначена для выбора того обучаемого, чьи данные хочет просмотреть или отредактировать пользователь среды. В нижней части панели расположены элементы управления, облегчающие поиск нужного обучаемого.

Они предоставляют возможности отображения только тех обучаемых, фамилия которых начинается с введенной подстроки или содержит ее.

Таблица 4.2 – Функции подсистемы формирования образовательной траектории

Функция	Назначение
Добавить модуль	Добавление выбранного в правой панели модуля в конец списка модулей, образующих образовательную траекторию
Вставить модуль	Вставка модуля, выбранного в правой панели, перед модулем, выбранным в образовательной траектории
Удалить модуль	Удаление выбранного модуля из образовательной траектории
Удалить все модули	Удаление всех модулей из образовательной траектории
Переместить модуль вверх	Перемещение выбранного в образовательной траектории модуля на одну позицию к началу
Переместить модуль вниз	Перемещение выбранного в образовательной траектории модуля на одну позицию к концу
Копировать образовательную траекторию другому обучаемому	Копирование всех модулей образовательной траектории одного обучаемого другому обучаемому с уничтожением его текущей образовательной траектории
Автоматическое построение образовательной траектории	Автоматическое построение образовательной траектории по результатам выполнения выбранных обучаемым тестовых заданий

В зависимости от выбранного режима работы, на средней панели отображаются данные об образовательной траектории и результатах выполнения тестовых заданий для выбранного обучаемого и предоставляется возможность их редактирования. Выбор режима работы осуществляется с

помощью кнопок, расположенных в верхней части панели. Среда предоставляет возможность работы в следующих трех режимах:

- построение персонализированной образовательной траектории;
- просмотр персонализированной образовательной траектории для выбранного обучающегося;
- просмотр результатов выполнения тестовых заданий выбранным обучающимся.

В первом режиме работы среда предоставляет возможность редактирования персональной образовательной траектории для выбранного обучающегося. Весь учебный материал разбит на структурные единицы, называемые модулями. Модули учебного материала предлагаются обучающему в том порядке, в котором они следуют в его образовательной траектории. Для редактирования образовательной траектории используются кнопки, расположенные в нижней части средней панели, описание которых приведено в таблице 4.2.

Каждый модуль, входящий в образовательную траекторию, имеет признак завершенности, который определяет, будет ли учебный материал данного модуля представлен обучающему. Этот признак устанавливается автоматически при завершении изучения учебного материала данного модуля обучающимся или может быть установлен консультантом вручную.

### **4.3. Методика формирования учебных материалов и персонализированной учебной траектории по направлению «Техносферная безопасность»**

Индивидуальные графики познавательной деятельности обучаемых подготавливаются консультантами совместно с обучаемыми до начала обучения в следующем порядке:

- определяется стратегия на весь срок обучения и его конкретные временные периоды с учетом целей и задач, стоящих перед консультантом и обучаемым, сложности содержания обучения, требований государственного стандарта, личностных особенностей обучающегося;

- устанавливаются формы и методы обучения, которые с точки зрения консультанта и обучаемого наиболее приемлемы для использования в конкретных имеющихся условиях;
- затем осуществляется построение индивидуального графика познавательной деятельности на основе педагогической целесообразности, психологической устойчивости обучаемого и финансово-экономической эффективности учебного процесса.

При построении индивидуальных графиков необходимо соблюсти следующие условия:

- консультант должен иметь диагностические данные о начальном (исходном) уровне профессиональных знаний, умений и навыков, способностях обучаемого, его интересах, мотивации к обучению, интеллектуальном потенциале;
- обучаемый и консультант должны быть детально ознакомлены с содержанием обучения, с тем объемом знаний, умений и навыков, которым необходимо овладеть обучаемому с целью получения определенного уровня профессиональной квалификации;
- организационные формы и методы открытого обучения определяются консультантом и обучаемым с учетом данных диагностики личности обучаемого и конкретных условий, в которых будет осуществляться персонализированное обучение;
- администратор и консультант обязаны иметь информацию о возможности использования обучаемыми инфраструктуры учебного подразделения.

Главными требованиями к процессу проектирования индивидуальных графиков являются качество и экономическая эффективность обучения.

Поэтапная разработка индивидуальной учебно-программной документации для профессиональной подготовки в образовательных учреждениях открытого обучения сводится к последовательности следующих этапов:

1. этап. Создание творческих групп. Определение цели и общего плана действий. Анализ концепции открытого обучения. Выявление требований Государственного стандарта.

2. этап. Изучение совместно с обучаемыми квалификационной характеристики и профессиограммы по выбранной профессии (направлению). Выявление профессиональных притязаний обучаемого и особенностей открытого обучения, влияющих на разработку содержания обучения.

3. этап. Подбор и изучение типовой учебно-программной документации (учебного плана, тематических программ) по профессии (направлению), выбранной поступающим на обучение в образовательное учреждение.

4. этап. Изучение педагогических основ разработки учебно-программной документации, ее соответствия квалификационным характеристикам и требованиям технологии открытого обучения.

5. этап. Диагностика начального уровня знаний, умений и навыков обучаемого по профессии, направлению и виду деятельности, а также возможностей обучаемого осуществлять самостоятельную познавательную деятельность.

6. этап. Оценка начального уровня профессиональной квалификации, выявленного в процессе диагностики у обучаемого. Согласование с ним коррективов, которые должны быть внесены, по мнению консультанта, в содержание обучения, согласно результатам проведенной диагностики.

7. этап. Учет требований работодателя к содержанию обучения, уровню квалификации обучаемого по выбранной профессии, направлению, виду деятельности.

8. этап. Изучение основ вариативного подхода к содержанию обучения, учитывающего: различный профессиональный состав граждан поступающих на обучение, уровень их предшествующей профессиональной подготовки и квалификации, возрастной состав и социальные группы обучаемых, требования социума к уровню квалификации выпускников образовательного учреждения.

9. этап. Разработка и согласование с обучаемым индивидуальной концепции обучения: содержания, форм, методов, сроков, этапов, режима учебного процесса, системы практического обучения, порядка аттестации, уровня профессиональной квалификации.

10. этап. Определение конкретного объема и содержания каждого предмета с учетом возможностей их варьирования, чередования теоретического и практического обучения согласно пожеланиям обучаемого.

11. этап. Разработка содержания вариативного компонента, включающего: специализированные модули согласно пожеланиям обучаемого; нетрадиционные формы профессионального обучения; контрольные и самостоятельные задания для проверки соответствия знаний, приобретаемых обучаемыми, требованиям квалификационных характеристик.

12. этап. Изучение научной, специальной, экономической, финансовой литературы по менеджменту и маркетингу. Определение объема и содержания учебного материала, который целесообразно внести в тематические программы с целью повышения конкурентоспособности подготавливаемых специалистов на рынке труда.

13. этап. Определение базисных и вспомогательных знаний, умений и навыков по каждому разделу учебной программы, их интеграция, систематизация и конкретизация.

14. этап. Конструирование интегративных курсов, анализ межпредметных связей, устранение дублирования учебного материала.

15. этап. Анализ альтернативного содержания обучения и возможных подходов к его реализации.

16. этап. Обсуждение разработанной модели учебного плана на совете образовательного учреждения.

17. этап. Согласование с обучающимся структуры и содержания индивидуальной учебно-программной документации на весь период обучения.

18. этап. Оформление учебного плана согласно требованиям к разработке учебной документации для образовательных учреждений.

19. этап. Подготовка консультантом совместно с обучаемым персонализированной учебной траектории, учитывающей цели, мотивацию, потребности и возможности обучаемого в условиях самостоятельной познавательной деятельности.

20. этап. Окончательное согласование с обучаемым разработанной индивидуальной учебно-программной документации с учетом требований работодателя, личностных потребностей обучаемого, его профессиональных интересов, исходного уровня профессиональных знаний, умений и навыков по избранной профессии (направлению), интеллектуального уровня, степени развития творческого мышления, возможностей обучаемого в получении новых профессиональных знаний, умений и навыков методом самообучения.

21. этап. Экспертиза разработанной индивидуальной учебной документации советом образовательного учреждения.

22. этап. Консультирование обучаемых по вопросам концепции, особенностей, направленности и использования в процессе самообучения разработанной индивидуальной учебно-программной документации и ее коррекции.

23. этап. Разработка дидактических средств обучения, адекватных выбранному содержанию обучения и способствующих качественному выполнению разработанных индивидуальных учебных планов и программ.

24. этап. Разработка системы самостоятельных заданий, практических упражнений, контрольных и диагностических материалов с целью анализа и коррекции персонализированного обучения, закрепления приобретаемых знаний, умений и навыков, проверки эффективности самообучения.

25. этап. Подготовка методических материалов и указаний к осуществлению самостоятельной познавательной деятельности обучаемого. Разработка критериев самооценки обучаемых. Подбор источников учебной и методической информации.

26. этап. Мониторинг использования индивидуальной учебно-программной документации в практике открытого обучения.

#### **Выводы по 4 главе**

1. Разработана программная среда консультанта с функциями автоматической генерации и интерактивного редактирования образовательной траектории в адаптивной системе подготовки учащихся по направлению «Техносферная безопасность».

2. Разработанные методы и алгоритмы прошли апробацию и внедрены для практического применения в учебном процессе ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет». Показано, что внедрение результатов работы позволяет повысить качество и эффективность процесса подготовки студентов по направлению «Техносферная безопасность».

## **Заключение**

1. Проведен системный анализ задач организации системы подготовки. Определены классы методов и моделей формализованного представления компонентов учебного плана и процедур компьютерного тестового контроля в рамках системы автоматизации и моделирования процессов обучения.

2. Разработаны модели процедур оценки индивидуальных свойств обучаемого. С целью осуществления мониторинга уровня сформированности требуемых характеристик специалиста предлагается комплексный показатель качества психолого-индивидуальных компетенций.

3. Проведена классификация методов и моделей оценки восприятия и забывания учебной информации. Построена рекуррентная модель с аппроксимацией зависимостей на межмодульных интервалах функциями Лагерра произвольного порядка.

4. Поставлена задача многокритериальной оптимизации функции восприятия учебной информации и разработан алгоритм оптимизации распределения учебной нагрузки по критерию забывания.

5. Разработаны методики, методы и алгоритмы формирования индивидуальных учебных планов по результатам тестового контроля и структурной связности методических материалов.

6. Разработана программная среда консультанта, включающая функции интерактивного редактирования индивидуального учебного плана в системе подготовки студентов по направлению «Техносферная безопасность».

7. Разработанные методы и алгоритмы прошли апробацию и внедрены для практического применения в учебном процессе ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет». Показано, что внедрение результатов работы позволяет повысить качество и эффективность процесса подготовки студентов по направлению «Техносферная безопасность».

## ГЛОССАРИЙ

№ п/п	Новое понятие	Содержание
1	<b>Аппроксимация</b>	научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми.
	<b>База данных</b>	представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов (статей, расчётов, нормативных актов, судебных решений и иных подобных материалов), систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью электронной вычислительной машины.
2	<b>Болонский процесс</b>	процесс сближения и гармонизации систем высшего образования стран Европы с целью создания единого европейского пространства высшего образования. Официальной датой начала процесса принято считать 19 июня 1999 года, когда была подписана Болонская декларация.
3	<b>Граф</b>	основной объект изучения математической теории графов, совокупность непустого множества вершин и наборов пар вершин (связей между вершинами).
4	<b>Компетенция</b>	способность применять знания, умения, успешно действовать на основе практического опыта при решении задач общего рода, также в определенной широкой области. Базовое качество индивидуума, включающее в себя совокупность взаимосвязанных качеств личности, необходимых для качественно – продуктивной деятельности.
5	<b>Модуль</b>	целостный набор подлежащих освоению умений, знаний, отношений и опыта (компетенций), описанных в форме требований, которым должен соответствовать обучающийся по завершении модуля, и представляющий составную часть более общей функции.
6	<b>Терм</b>	некоторое понятие предметной области, имеющее собственную синтаксическую конструкцию.

## Список использованных источников

1. Болонский процесс: европейские и национальные структуры квалификаций (Книга-приложение 2) / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В.И. Байденко. - М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. - 220 с.
2. Дублинские дескрипторы для квалификаций/степеней бакалавра, магистра и доктора, опубликованные ранее в рамках Совместной инициативы качества [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iointquality.org/content/ierland/Shared%20descriptors%20Ba%20Ma.doc>, свободный. - Загл. с экрана.
3. Зимняя И.А. Компетентностный подход: каково его место в системе современных подходов к проблеме образования (теоретико-методологический аспект) // Высшее образование сегодня. 2009. №8. - С. 20-26.
4. Ихсанова С.Г., Комаков В.В. Психодиагностический принцип формирования индивидуальной образовательной траектории студента вуза // Экспериментальная психология, 2017, том 5, № 2, с. 96-101.
5. Подходы к разработке нормативно-методического обеспечения реализации основных образовательных программ высшего образования» / В.А. Богословский, С.Н. Гончаренко, Е.В. Караваева, Е.Н. Ковтун, Н.И. Максимов, В.И. Петров. - М.: Московский государственный горный университет, 2009. - 75 с.
6. Проектирование основных образовательных программ, реализующих федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования: Методические рекомендации для руководителей и актива учебно-методических объединений вузов / науч. ред. д-ра техн. Наук, профессора Н.А. Селезневой. - М.: Исследовательский Центр проблем качества подготовки специалистов, Координационный совет учебно-методических советов высшей школы, 2009. - 84 с.
7. Самарский А.А., Михайлов А.П.. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. - М.: Наука. Физматлит, 2007.-320 с.

8. Семенов М. Введение в математическое моделирование -М.:Солон-Р, 2012. - 112с.
9. Семенов В.В. Индивидуально-личностный подход в компьютерной технологии тестирования знаний // Аналитические обзоры по основным направлениям развития высшего образования. М. 2008. Вып. 3. С. 49.
10. Состояние и развитие дистанционного образования в мире: Научно-аналитический доклад. М.: Магистр, 2017.
11. Убиенных Г.Ф., Убиенных А.Г. Сравнительный анализ методов представления знаний в базах знаний. Пенза, Пензенский государственный университет, 2017.
12. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. М.: Мир, 1999. - 388 с.
13. Хайрер Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие задачи и дифференциально-алгебраические задачи, М., Мир, 2016. - 685с.
14. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учебное пособие. - М.: Логос, 2017. - 432с.
15. Черемных СВ., Семенов И.О., Ручкин В.С. Структурный анализ систем: IDEF-технологии, М.: Финстат, 2011. - 208с.
16. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2013. - 496с.
17. Шорников Ю.В., Жданов Т.С., Ландовский В.В.. Компьютерное моделирование динамических систем // «Компьютерное моделирование 2013». Труды 4-й межд. научно-техн. конференции, С.Петербург, 24-28 июня 2013г., с.373 - 380с.
18. Юдицкий С.А., Покалев С.С. Логическое управление гибким интегрированным производством // Институт проблем управления. -Препринт. - М., 1999. - 55с.
19. Ягудаев, Г.Г. Алгоритм организации образовательной траектории / Г.Г. Ягудаев В.В. Белоус, Н.А. Красникова, К.А. Николаева // Методы

прикладной информатики и коммуникационные технологии в автоматизации и управлении: сб. науч. тр. МАДИ(ГТУ).- М., 2009. -С.43-48.

20. Ягудаев Г.Г. Метод оценки сложности учебного модуля / Г.Г. Ягудаев, В.В. Белоус, Н.А. Красникова, К.А. Николаева // Методы и модели прикладной информатики: межвуз сб. науч. тр. МАДИ(ГТУ). -М., 2009. - С. 32-39.

21. Ягудаев Г.Г. Автоматизация процесса создания тестовых заданий / Г.Г. Ягудаев, В.В. Белоус // Теория и практика автоматизированного управления: сб. науч. тр. МАДИ(ГТУ). -М., 2009. - С. 4-8.

22. Ягудаев Г.Г. Латентно-структурный анализ в системе оценивания квалификации персонала / Г.Г. Ягудаев, И.Э. Саакян // Теория и практика автоматизированного управления: сб. науч. тр. МАДИ(ГТУ). –М, 2009. - С. 158.

23. Andersson M. Omola - An Object-Oriented Language for Model Representation, in: 1999 IEEE Control Systems Society Workshop on Computer-Aided Control System Design (CACSD), Tampa, Florida, 1999.

24. Andersson M. OmSim and Omola Tutorial and User's Manual. Version 3.4., Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, 2005, pp.45.

25. Ascher Uri M., Petzold Linda R. Computer Methods for Ordinary Differential Equations and Differential-Algebraic Equations. SIAM, Philadelphia, 2008.

26. Avrutin V., Schutz M. Remarks to simulation and investigation of hybrid systems, II Гибридные системы. Model Vision Studium: Труды междунар. науч.-технич. конф. СПб.: Изд-во СПбГТУ , 2017. - С.64-66.

27. Baleani M., Ferrari F., Sangiovanni-Vincentelli A.L., and Turchetti C. HW/SW Codesign of an Engine Management System. In Proc. Design Automation and Test in Europe, Paris, France, March 2017, pp.263-270.

28. Baleani M., Gennari F., Jiang Y., Patel Y., Brayton R.K., and Sangiovanni-Vincentelli A.L. HW/SW Partitioning and Code Generation of Embedded Control Applications on a Reconfigurable Architecture Platform. In Proc. International

Symposium on Hardware/Software Codesign, CODES 12, Estes Park, Colorado, May 2015, pp. 151-156.

29. Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. The Unified Modeling Language for Object-Oriented Development. Documentation Set Version 1.1. September 2007.

30. Borshchev A., Karpov Yu., Kharitonov V. Distributed Simulation of Hybrid Systems with Any Logic and HLA II Future Generation Computer Systems v. 18 (2012), pp.829-839.

31. Brenan K.E., Campbell S.L., Petzold L.R. Numerical solution of initial-value problems in differential-algebraic equations. North-Holland, 2016, 195 p.

32. Bruck D., Elmqvist H., Olsson H., Mattsson S.E. Dymola for multi-engineering modeling and simulation. 2 International Modelica Conference, March 18-19 2012, Proceedings, pp. 55-1 - 55-8.

33. Bonus P., Fritzson P. Methods for Structural Analysis and Debugging of Modelica Models. 2 International Modelica Conference, 2012, Proceeding, pp. 157-165.

34. Darnell K., Mulpur A.K.. Visual Simulation with Student VisSim, Brooks Cole Publishing, 2006.

35. Davey, B.A. & Priestley, H.A. Introduction to Lattice and Orders. Cambridge University Press. 2018.

36. Dmitry Popov, Alexander Khadzhinov. "Safety Subsystem of Intelligent Software Complex for Distance Learning" II Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems (ICAIS 2002), IEEE Inc. 2002. P.464-465.

37. Esposit J.M., Kumar V., Pappas G.L. Accurate event detection for simulating hybrid systems. Hybrid Systems: Computation and Control, 4th International Workshop, HSCC 2001, Rome, Italy, March 28-30, 2001, Proceedings, pp.204-217.

38. Ferreira J.A., Estima de Oliveira J.P. Modelling hybrid systems using statecharts and Modelica. . In Proc. of the 7th IEEE International Conference on

Emerging Technologies and Factory Automation, Barcelona, Spain, 18-21 Oct., 2001, p.1063.

39. Fritzson P., Gurmanson J., Jirstrand M. MathModelica — an extensible modeling and simulation environment with integrated graphics and literate programming/ 2nd International Modelica Conference, March 18-19 2012, Proceedings, pp. 41-54.

40. Harel D., Gery E. Executable Object Modeling with Statecharts / Computer, July 2017, pp. 31-42.

41. Hyunok Oh, Soonhoi Ha. Hardware-software cosynthesis of multi-mode multi-task embedded systems with real-time constraints. In Proc. International Symposium on Hardware/Software Codesign, CODES 02, Estes Park, Colorado, May 2012, pp. 133-138.

42. IMS Content Packaging Information Model, T.Anderson, M.McKell, A.Cooper and W.Young, C.Moffatt, Version 1.1.2, IMS, August 2011.

43. IMS Question & Test Interoperability: Overview, C.Smythe, E.Shepherd, L.Brewer and S.Lay, Version 1.2, IMS, September 2017.

44. Kesten Y., Pnueli A. Timed and hybrid statecharts and their textual representation. Lee. Notes in Corp. Sci. pp. 591-620, Springer-Verlag, 2002.

45. Khartsiev V.E., Shpunt V.K., Levchenko V.F., Kolesov Yu., Senichenkov Yu., Bogotushin Yu. The modeling of synergetic interaction in Theoretical biology. I Tools for mathematical modelling. St. Petersburg, 2015, p.71-73.

46. Kolesov Y., Senichenkov Y. A composition of open hybrid automata. Proceedings of IEEE Region 8 International Conference «Computer as a tool», Ljubljana, Slovenia, Sep.22-24,. 2003, v.2, pp. 327-331.

47. Koppen, M. Extracting human expertise for constructing knowledge spaces: an algorithm. Journal of Mathematical Psychology, 37, 2003. 1-20.

48. Ledin J. Simulation Engineering. CMP Books, Lawrence, Kansas, 2014.

49. Mattsson S.E., Elmqvist H., Otter M., Olsson H. Initialization of hybrid differential-algebraic equations in Modelica 2.0. 2nd International Modelica Conference, March 18-19 2012, Proceedings, pp. 9-15.

50. Modelica - A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling. Language Specification. Version 2.0, July 10, 2015.

51. Modelica - A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling. Tutorial. Version 2.0, July 10, 2016.

## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Исследование проблем, связанных с автоматизацией построения учебных траекторий студентов в условиях перехода на ФГОС ВО</b> .....	7
1.1. Исследование понятия учебной траектории.....	7
1.2. Исследование методик разработки компетентностных моделей выпускников основной образовательной программы, реализующей ФГОС ВО.....	11
1.3. Исследование подходов к построению персонализированных учебных траекторий студентов.....	17
1.4. Анализ методов и форм управления обучением.....	22
1.5. Математические методы и модели обучения и тестового контроля.....	26
1.5.1. Модели связности учебных материалов.....	26
1.5.2. Методы и модели тестового контроля.....	29
1.5.3. Модели оценки сложности учебной информации.....	31
Выводы по 1 главе.....	33
<b>Глава 2. Разработка информационных моделей восприятия и забывания учебной информации</b> .....	34
2.1. Моделирование совместного процесса обучения и тестирования.....	34
2.2. Разработка принципов организации адаптивной системы формирования учебной траектории.....	36
2.2.1. Концепция создания программно-моделирующего комплекса.....	37
2.2.2. Интеграция компонентов системы подготовки.....	39
2.2.3. Методы и модели обучения и тестового контроля в системе подготовки.....	44
2.3. Моделирование процесса восприятия и забываемости информации.....	51
Выводы по 2 главе.....	56

<b>Глава 3. Автоматизация построения персонализированной учебной траектории студентов по направлению «Техносферная безопасность».</b>	<b>57</b>
3.1. Разработка методики формирования индивидуальных учебных планов.....	57
3.2. Разработка моделей взаимодействия компонентов системы подготовки.....	62
3.3. Алгоритм формирования учебной программы на основе композиции...	70
3.4. Методика организации системы подготовки.....	83
Выводы по 3 главе.....	88
<b>Глава 4. Программная реализация методики генерации персонализированной образовательной траектории по направлению «Техносферная безопасность».....</b>	<b>89</b>
4.1. Проектирование структуры программного комплекса.....	89
4.2. Программная поддержка функциональных возможностей консультанта при организации учебного процесса.....	95
4.2.1. Обратная связь с консультантом.....	95
4.2.2. Просмотр результатов обучения.....	99
4.2.3. Обмен информацией между пользователями системы.....	100
4.2.4. Редактирование образовательной траектории.....	101
4.3. Методика формирования учебных материалов и персонализированной учебной траектории по направлению «Техносферная безопасность».....	104
Выводы по 4 главе.....	109
<b>Заключение.....</b>	<b>110</b>
<b>Глоссарий.....</b>	<b>111</b>
<b>Список использованных источников.....</b>	<b>112</b>

**Артём Викторович Попков**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ  
ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННОЙ УЧЕБНОЙ ТРАЕКТОРИИ  
СТУДЕНТОВ ВУЗОВ**

**Монография**

*Авторская редакция*

Отпечатано с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать. Формат 60×40 1/16.

Усл. печ. л. 7,09. Уч.-изд. л. 3,5.

Тираж 100 экз. Заказ № 1786.

Типография Издательского центра

«Удмуртский университет»

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2.

