

*На правах рукописи*



ДОРОФЕЕВ Дмитрий Валериевич

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ  
В УСЛОВИЯХ РЕДИЗАЙНА НА БАЗЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

**Научный руководитель:** **Баркалов Сергей Алексеевич**,  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Угольницкий Геннадий Анатольевич**, доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», кафедра прикладной математики и программирования, заведующий кафедрой  
**Буркова Ирина Владимировна**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова» РАН, лаборатория №57, ведущий научный сотрудник

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов)

Защита диссертации состоится 7 июня 2024 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 24.2.286.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14, аудитория 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и на сайте <https://cchgeu.ru/>

Автореферат разослан «10» апреля 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.286.04  
кандидат технических наук, доцент



Константин Юрьевич Гусев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность темы исследования*

Университетская система высшего образования представляет собой сложную и многоуровневую структуру, для управления которой необходимо применять все более сложные методы и инструменты, которые направлены на достижение определенных целей при минимальных затратах. В настоящее время главными тенденциями в развитии системы подготовки высококлассных специалистов определяются фундаментальными факторами, среди которых можно отметить: серьезное увеличение доли технологий машинного обучения и GPT - чатов в учебном процессе, несвоевременное реагирование университетов на меняющиеся тренды и потребности рынка труда, постоянное изменение профессиональных стандартов, что требует необходимости внесения изменений в уже действующие учебные планы, усиливающаяся конкуренция между университетами за кадры и талантливых студентов.

Следствием этих факторов является необходимость поиска новых подходов к реализации стратегий в области образования для того, чтобы повысить конкурентоспособность, оптимизировать процесс обучения, обеспечить финансовую устойчивость и поддерживать уровень и рейтинг, а также улучшать качество образовательных услуг в интересах потенциальных работодателей.

В результате, существующие модели систем управления университетами работают в «пожарном режиме», акцентируя свою деятельность не на результате, а на непрерывный процесс, заключающийся в постоянных указаниях и отчетах об их исполнении, говорить здесь о эффективном реагировании на возникающие угрозы уже не приходится. При таком подходе основные стейкхолдеров университетов вынуждены искать свои решения нарастающих проблем. Уже никого не удивляет появление корпоративных университетов, как ответа бизнеса на несвоевременную реакцию образования на современные потребности. Другим серьезным вызовом подготовки кадров новой формации является неадекватная система мотивации и планирования вузов в интересах повышения качества подготовки специалистов под потребности хозяйствующих субъектов. Сейчас руководство вузов формирует системы управления, в условиях серьезной нестабильности внешней среды сосредоточившись на решении задач выполнения требований Минобрнауки РФ, которые претерпевают значительные изменения. При этом существующие образовательные стандарты зачастую не раскрывают способов эффективной подготовки специалиста требуемых профессий (нет эталона), сосредоточившись на решении задач формирования широких профессиональных компетенций, в результате выпускник университета по окончании обучения не готов самостоятельно выполнять свои трудовые обязанности и бизнес вынужден тратить свои ресурсы на его подготовку до требуемого уровня, что в условиях выполнения требований к повышению производительности труда абсолютно недопустимо. Поэтому необходимо создавать гибкие организационные системы управления университетами, оперативно реагирующими на сбои и изменения образовательного процесса в ходе обучения требуемым профессиональным компетенциям, что означает возможность

быстрой адаптации, а это требует изменения подходов к системам мотивации и планирования.

Рассмотрением указанной проблемы занимался ряд видных ученых, а именно Агранович Б.Л., Бурков В.Н., Буркова И.В., Волков А.Е., Засканов В.Г., Новиков Д.А., Подиновский В.В., Угольницкий Г.А., Цыганов В.В. и многие другие. Однако степень исследованности данной области остается недостаточной, особенно в области повышения эффективности управления процессами трансформации сложных организационных систем с различными по идеологии и подчиненности центрами с использованием методов машинного обучения.

Для решения задач формирования систем поддержки принятия решений при редизайне образовательной деятельности технического университета должны быть сформированы модели и алгоритмы управления образовательной деятельностью, позволяющих задать исчерпывающий набор всех возможных вариантов и траекторий обучения, с подмножеством состояний, обладающих одним и тем же свойством, что соответствует концепции цифровых двойников. Ключевым моментом является то, что цифровые двойники используются гораздо шире, нежели представление физического или виртуального объекта в цифровом виде. Они также используются для проведения анализа, планирования, прогнозирования и моделирования без физического объекта, что соответствует задачам данного диссертационного исследования.

Таким образом, *актуальностью* темы исследования является формирование комплекса решений направленных на создание гибких систем организационного управления университетами, нацеленными на повышение качества подготовки обучаемых под требования стейкхолдеров на базе концепции цифрового двойника.

**Целью диссертационной работы** является разработка системы поддержки принятия решений при редизайне образовательных организационных систем, обеспечивающих минимизацию периода адаптации выпускников для выполнения своих трудовых производственных функций на базе модели цифрового двойника.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

Провести анализ, существующих систем управления образовательной деятельностью университетов, выявить проблемы и на этой основе сформулировать актуальные направления их развития с использованием модели цифрового двойника.

Разработать модель для анализа состояний системы управления образовательной деятельностью на основе концепции цифрового двойника при ее редизайне в целях оперативного реагирования центров на возникающие несогласования.

Получить многокритериальную модель планирования процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью позволяющую снизить регламентную нагрузку на профессорско-преподавательский состав и в конечном счете повысить качество обучения студентов.

Синтезировать экспертную модель для поддержки принятия решений процессами редизайна в системе управления образовательной деятельностью,

что позволит снизить информационную нагрузку на должностных лиц распределив ее в соответствии с задачами системы.

Получить алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью, обеспечивающий оперативное реагирование должностных лиц на выполнение установленных задач.

Разработать требования к информационному обеспечению процессов редизайна систем управления образовательной деятельностью при подготовке студентов по индивидуальным образовательным траекториям на основе концепции цифрового двойника.

**Объектом исследования** является процесс управления образовательной деятельностью при подготовке студентов по индивидуальным образовательным траекториям на основе концепции цифрового двойника, а **предметом исследования** – методы интеллектуализации процессов принятия решений в сложных организационных системах на основе информации обратной связи.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в диссертации задач использовались методы теории системного анализа, принятия решений в организационных системах, имитационного моделирования, машинного обучения, теории искусственных нейронных сетей, современные методы и средства программирования.

**Обоснованность.** Корректное использование методов исследования является основой для обоснованности научных выводов, выраженных в данной работе.

**Достоверность** научных результатов подтверждается проведенным в диссертации сравнительным анализом подходов к формированию и практической апробации разработанных методов для решения задач обеспечения заданного уровня подготовки студентов по индивидуальным образовательным траекториям с учетом отдельных свойств и механизмов приобретения знаний, формирования навыков и практической отработке умений, синтеза композиционной структуры характеристик качества подготовки специалистов и адекватной оценки этих характеристик соответствующими математическими моделями.

**Тематика работы** соответствует п. 2 «Разработка математических моделей и критериев эффективности, качества и надёжности организационных систем.», п. 4 «Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах», п. 9 «Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах» паспорта специальности 2.3.4. Управление в организационных системах.

**Научная новизна.** В процессе исследования в диссертации были достигнуты следующие основные результаты, отличающиеся научной новизной:

1. Модель анализа состояний редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая в отличие от традиционных прогнозировать с высокой вероятностью загрузки агентов с минимальной погрешностью результатов вычислений, возникающих при допущении о гауссовом распределении

фазового вектора.

2. Многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью, позволяющая определять количество и качество агентов на множестве Парето.

3. Экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая получать оптимальную по Парето базу знаний за счет использования строгих ограничений на принципы мотивации выбора агентов.

4. Алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющий получить требуемое решение за минимальное число шагов на основе процедур адаптивного формирования опорной выборки положительного опыта.

***Теоретическая и практическая значимость работы.*** Разработаны модели и алгоритмы, позволяющие осуществлять решение задач обеспечения заданного уровня качества подготовки студентов по индивидуальным образовательным траекториям с учетом отдельных свойств используемых в ходе образовательного процесса механизмов приобретения знаний, формирования навыков и практической отработке умений, синтеза композиционной структуры характеристик качества подготовки специалистов и адекватной оценки этих характеристик соответствующими математическими моделями.

#### ***Положения, выносимые на защиту***

1. Модель анализа состояний редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая в отличие от традиционных прогнозировать с высокой вероятностью загрузку агентов с минимальной погрешностью результатов вычислений, возникающих при допущении о гауссовом распределении фазового вектора.

2. Многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью, позволяющая определять количество и качество агентов на множестве Парето.

3. Экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая получать оптимальную по Парето базу знаний за счет использования строгих ограничений на принципы мотивации выбора агентов.

4. Алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющий получить требуемое решение за минимальное число шагов на основе процедур адаптивного формирования опорной выборки положительного опыта.

***Внедрение результатов работы.*** Модели, алгоритмы и механизмы внедрены в виде раздела о индивидуальных образовательных траекториях студентов положения «О проектно-ориентированных образовательных программах в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»». Результаты диссертационных исследований нашли применение в компании ООО «Angels IT» в виде регламента подготовки студентов базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления в учебном центре по партнерским программам.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на: международной молодежной научно-практической конференции «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование» (Курск, 2016); XVI-ой всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (Тамбов, 2019); XXII International scientific conference energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies (EMMFT-2020) (Воронеж, 2020), 43-ой Международной научной школы-семинара «Системное моделирование социально-экономических процессов» (Воронеж, 2020), Всероссийской научно-практической конференции «Меж-дисциплинарные исследования экономических систем» (Тверь, 2022), XVIII Всероссийской школе-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (2023, Воронеж), а также на научных семинарах кафедры управления (2017 – 2023 г.).

**Публикации.** По тематике диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендуемых ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций, из них 1 работа проиндексирована в SCOPUS.

**Личный вклад автора.** В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад соискателя состоит: в работах [2], [4] автору модель для анализа состояний редизайна системы управления образовательной деятельностью; в работах [1], [6] – многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью; в работах [2], [8], [9] – экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью; в работах [4], [5], [7] – алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью; в работе [3] – программа для редизайна систем управления образовательной деятельностью подготовки студентов.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы, состоящий из 108 источников, и приложения. Общий объем диссертации составляет 133 страницы, включая 27 рисунков и 14 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость результатов, приведены сведения об апробации и внедрении работы.

**В первой главе** рассматриваются и подробно анализируются современные подходы к повышению эффективности управления в сложных организационных системах на основе их редизайна.

По своей структуре и сложности организационные системы очень разнообразны, что обусловлено большим количеством различных функций и сферой их применения. Если рассматривать процессы, происходящие в таких системах и их отдельных узлах с точки зрения конкретного процессного смысла,

то они будут иметь не столь разнообразную структуру и логику. Тогда, разные элементы таких систем функционируют на основании одних и тех же законов. Это дает возможность рассмотреть возможность применения автоматных моделей для управления организационными системами смешанного типа при незначительном количестве вероятностных и детерминированных автоматов. В результате анализа установлено: существующие модели планирования и мотивации агентов неэффективны, т.к. целевые функции зачастую не имеют пересекающихся областей компромиссов, а варианты отыскания областей «общего блага» не имеют решений, т.к. интересы участников системы имеют вектора разной направленности; при автоматном варианте организации работы системы в большинстве моделей происходит блокировка каналов обслуживания, что также недопустимо; регулируемые параметры, которые влияют на эффективность работы системы, являются детерминированными функциями, которые определяют показатель эффективности ее работы, при этом характер изменения целевой функции системы может носить накопительный непрерывный характер.

Теперь попробуем использовать аппарат разветвленных потоковых сетей для моделирования нашей системы. Использование машинного обучения, основанного на логическом выводе правил (с использованием предикатов различной степени) при синтезе моделей, необходимо сначала определить ту или иную интерпретацию проблемы, основанную на языке логики. Определим условные обозначения для создания модели:  $D$  - целые числа (неотрицательные) объединенные в множество;  $d_i$  - значения чисел из множества  $D$ , интерпретирующих значения интенсивностей потоков -  $x_j$  информации и вектора управления -  $u_k$ ; точечные значения  $\{x_j\}$  и  $\{u_k\}$  интенсивностей потоков информации и вектора управления; предикаты  $Z, W, H, I$  - для формирования продукционной модели представления знаний. В результате получается форма правил-продукций для синтеза продукционной модели представления знаний. Однако, решение подобной задачи в алгебре логики требует больших вычислительных мощностей, т.к. число операций крайне велико. Кроме этого, применимость таблиц истинности также затруднительна, т.к. не всегда имеется четкая граница между правилами-продукциями. Цель управления формируется из множества исходных посылок. На рис. 1 рассматривается пример алгоритмической сети, содержащей набор предикатов  $P_1, \dots, P_{16}$ , с возможностью получения условий логического вывода.

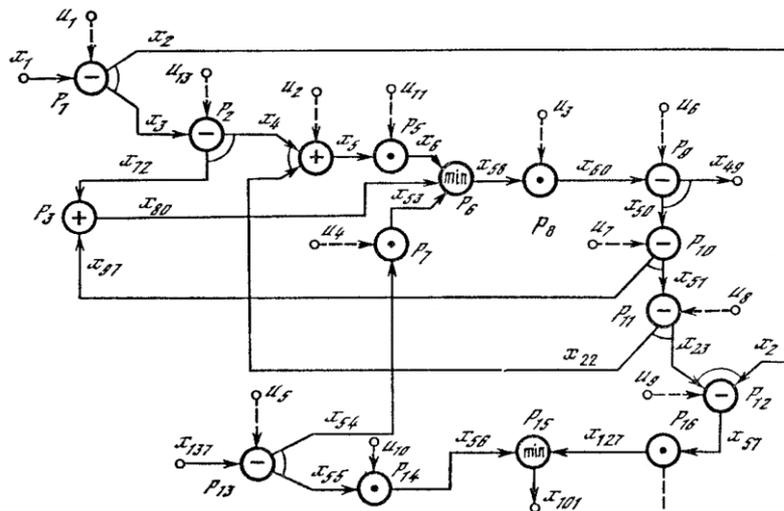


Рис. 1. Алгоритмическая сеть

Сеть содержит множество управляющих воздействий для 2-х входных параметров входа модели  $x_1$ ,  $x_{137}$  и 2-х выходных параметров модели  $x_{49}$ ,  $x_{101}$ . Упрощенная форма представления сети дает возможность описать процесс формирования сложной системы ( $x_1$ ) в сфере образования (ССО) ( $x_3$ ) и в сфере стейкхолдеров (СТХ) ( $x_2$ ). Применение агентов для ССО способствует созданию двух типов структур: адаптивной ( $x_4$ ) и переменной ( $x_{72}$ ). Новое устройство сложной системы, имеющей заданную пропорцию ( $u_2$ ) с потоком информации ( $x_{22}$ ), приводит к новым результатам ( $x_5$ ) и затем является эффективным результатом ( $x_6$ ). Определим условия вывода знаний из сети:

$$G = B(x_1^t, x_1^{t+1})Q(x_{137}^t, x_{137}^{t+1})B(x_{49}^t, x_{49}^{t+1})B(x_{101}^t, x_{101}^{t+1}) \quad (1)$$

Далее определим диапазоны значений для множеств операций и управляющих воздействий:

$$\Gamma = \{B(x_1^t, x_1^{t+1}); Q(x_{137}^t, x_{137}^{t+1}); \forall u_k^t \forall u_k^{t+1} C(u_k^t, u_k^{t+1})\} \quad (2)$$

Когда цель управления в виде выражения  $G$  будет достигнута, то процесс вывода прекращается, и процедура его завершения становится необратимой. К сожалению, представленная модель информационной поддержки принятия решений на основе логики предикатов не может быть применима для рассматриваемых, т.к. зачастую определить значения предикатов не представляется возможным, а взаимодействие со стейкхолдерами вообще трудно формализуемо и меняется динамически.

Далее рассмотрим, как реализуется концепция "цифровых двойников" в системе высшего образования. Концепция цифрового двойника позволит перестроить учебный процесс на совершенно новой основе: в частности, привлечение промышленных партнеров к образованию перестанет быть экзотикой и повысит ответственность бизнеса за подготовку кадров, вузы на базе динамично меняющихся в условиях внешней среды требования партнеров смогут повысить эффективность подготовки студентов (рис. 2), однако данная концепция на сегодняшний день не применялась для управления образовательным процессом в вузах.

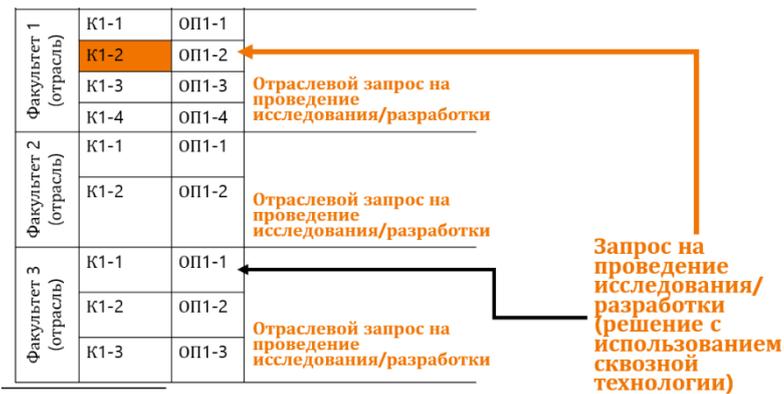


Рис. 2. Работа вуза с запросами индустриального партнера

Таким образом, в организационных системах смешанного типа, к которым относятся образовательные, существующие модели планирования и мотивации неэффективны, т.к. целевые функции между центрами, промежуточными центрами и агентами зачастую не имеют пересекающихся областей компромиссов. Поэтому задача разработки системы поддержки принятия решений при редизайне образовательных организационных систем, обеспечивающих минимизацию периода адаптации выпускников для выполнения своих трудовых производственных функций на базе модели цифрового двойника, является актуальной.

**Вторая глава** посвящена разработке моделей редизайна сложных организационных систем управления на основе концепции цифрового двойника, обеспечивающих оперативное реагирования центров на возникающие несоответствия.

Рассмотрим **модель анализа состояний редизайна систем управления образовательной деятельностью**. Схема парных сравнений может быть использована в качестве экспертной модели для анализа состояния системы управления образованием, когда формируется цифровой двойник профессии. Уровень информации, которая поступает от каждого эксперта может быть представлена в виде матриц:  $C^k = \|c_{ik}^k\|, k = 1, \overline{m}, i, j = 1, \overline{n}$  ( $m$  - количество экспертов,  $n$  - количество модулей знаний, навыков и умений, которые в соответствии с профессиональными стандартами и требованиями стейкхолдеров формирует вуз на основе индивидуальных образовательных траекторий;  $c_{ik}^k = 1$  – коэффициенты матрицы попарных сравнений если  $k$ -й эксперт предпочел  $i$ -й модуль  $j$ -му, и  $c_{ik}^k = 0$  в противном случае). Для проведения статистического анализа парных сравнений будем применять матрицы частот парных сопоставлений, а интерпретировать результаты – на основе вероятностной модели парного сравнения, в которой модули для формирования компетенций обучаемыми определяются векторами числовых параметров  $\overline{V}_i, i = \overline{1, n}$ . Введем вектор события ( $i \rightarrow j$ ), при которых предпочтение отдается  $j$ -му варианту, а  $i$ -й становится менее предпочтительным. Каждому из этих событий присваивается вероятность  $\pi_{ij}$  как функция параметра  $\overline{V}_i, \overline{V}_j$  или же дополнительных параметров исследуемой модели. В качестве оценки «истинных» вероятностей для  $\pi_{ij}$  чаще всего используются относительные частоты парных

сравнений  $p_{ij} = a_{ij} / m_{ij}$ . Представленная задача заключается в разработке способа оценки параметров вектора  $\bar{V}_i$  и метода сравнения, который позволяет определить согласие модели  $p_{ij}$  с исходными данными  $\pi_{ij}$ . В соответствии с этой концепцией, каждый модуль будущего цифрового двойника обладает своим значением в определенной единице измерения (как правило, это квалитметрическая шкала нормированного характера). С учетом высокого субъективизма и несовершенства механизмов измерения на некоторых этапах ответов будут фиксироваться ошибки.

$$V_i^* = V_i + \varepsilon \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  — некоторая случайная величина с плотностью вероятности  $f$  и математическим ожиданием, стремящимся к нулю.

В результате, можно выделить две независимые реализации  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$ . В случае, если существует случайная величина, можно ввести вероятность  $P$  ( $i > j$ ) предпочтения  $i$ -го модуля  $j$ -му.

$$P(i \rightarrow j) = P\{V_i + \varepsilon' > V_j + \varepsilon''\} \quad (4)$$

Таким образом, получаем следующее выражение:

$$\pi_{ij} = P(i \rightarrow j) = F(V_i - V_j) \quad (5)$$

где  $F$  — плотность распределения случайной величины.

Для того чтобы оценить параметры  $V$ , обычно используют метод максимального правдоподобия. Если рассматривать в качестве примера функцию максимального правдоподобия, то она имеет следующий вид:  $L$ :

$$L = C \prod_{1 \leq i < j \leq n} \pi_{ij}^{a_{ij}} \pi_{ji}^{m_{ij} - a_{ij}} \quad (6)$$

где  $C$  — константа, не зависящая от  $V$ .

Обычно максимизируют  $I_n L$ , решая систему:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial V_i} = 0, \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

Легко видеть, что:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial V_i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\pi_{ij}} \frac{\partial}{\partial V_i} \pi_{ij} + \frac{a_{ij}}{\pi_{ji}} \quad (8)$$

Модели (4, 5) и (6) являются частными случаями одной и той же логистической функции распределения:

$$F(x, V_i, V_j) = \left\{ 1 + e^{-[x - (v_i - v_j)]} \right\} \quad (9)$$

тогда  $\pi_{ij} = \frac{1}{1 + e^{(v_i - v_j)}}$ .

Для преобразования выражения (9) перейдем к мультипликативной шкале  $Z = \varepsilon$ :

$$\pi_{ij} = \frac{z_i}{z_i + z_j}, \quad 1 \leq i < j \leq n \quad (10)$$

В результате, можно будет использовать более простое выражение для производной  $I_n L$  (8):

$$\frac{\partial \ln L}{\partial z_i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{z_i} - \frac{m_{ij}}{z_i + z_j} \quad (11)$$

На основании выражения (11) получаем:

$$z_i^{(t)} = n_i \left[ \sum_{j=1}^n \frac{m_{ij}}{z^{(t-1)}} \right] \quad (12)$$

Идеальный вариант организации модулей  $X_s$   $S$ -го эксперта - это такой вектор, который, будучи включенным в любой другой набор, всегда предпочтительнее других для конкретной профессии, в предпочтениях для данного стейкхолдера. Предполагается, что  $X_s$  является шкальным значением идеального варианта для  $S$ -го эксперта на данной одномерной шкале. В этом случае правила предпочтения будут выглядеть следующим образом:

$$(i \rightarrow j) \Leftrightarrow |X_s - V_i| < |X_s - V_j| \quad (13)$$

Поэтому эксперт обладающий цифровым двойником  $X$ , из двух объектов  $V_i$  и  $V_j$ , выберет тот который имеет минимальную дисперсию отклонения от него. Из-за различий в  $X$ , у разных экспертов могут быть разные предпочтения при фиксированных  $V_i$  и  $V_j$ .

В связи с этим возник вопрос о возможности проведения оценки решения, основываясь на средних значениях для первого этапа процедуры. Используем (13). Пусть  $c_{ij} = -2F^{-1}(\pi_{ij})$ . В таком случае, сформулируем следующую **теорему 1**. Пусть  $x_2 < x_1$  и  $c_{ij} = (x_i + x_j) \text{sign}(x_i - X_j)$ ,  $1 \leq i < j \leq 3$ . При этом а)  $x_3 < x_2$  тогда и только тогда, когда  $c_{23} < c_{13} < c_{12}$  б)  $x_2 < x_3 < x_1$  тогда и только тогда, когда  $-c_{23} < c_{12} < c_{13}$  в)  $x_1 < x_3$  тогда и только тогда, когда  $c_{12} < -c_{23} < -c_{13}$ .

Доказательство. Докажем для примера пункт **а**. В результате выполнения процедуры  $V$ , ее значения будут соответствовать порядку по возрастанию, и теперь мы можем определить, какие именно значения будут получены в результате данной деятельности. Из этого следует, что мы получим:

$$V_1, \dots, V_n \quad a_{ij} = V_i + V_j, 1 \leq i < j \leq n \quad (14)$$

которую возможно решить в качестве задачи:

$$(a_{ij} - V_i - V_j)^2 \rightarrow \min \quad (15)$$

Согласно результатам исследования, была создана экспертная модель, которая позволяет оценить цифровую версию своей профессии.

Рассмотрим процесс дискретного распределения неизвестного числа агентов, которые выполняют задачи по согласованию и анализу модели цифрового двойника. Тогда рассматриваемая организационная система представляет собой Марковскую модель с непрерывным временем, в которой все агенты распределены по  $n$  фазовым состояниям. При перемещении агентов по системе, они используют случайные моменты времени для перехода из одного состояния в другое, что создает пуассоновские потоки. В случае, когда в системе присутствует  $N$  агентов (стейкхолдеров), вероятность того, что для любого  $i$ -го фазового состояния будет существовать единая сумма всех вероятностных рядов, должна быть равна единице. Исходя из этого, одним из показателей качества

рассматриваемой модели может быть степень отклонения от данного условия (при допущении о гауссовом распределении фазового вектора).

**Таким образом, разработана модель анализа состояний редизайна системы управления образовательной деятельностью, позволяющая в отличие от традиционных прогнозировать с высокой вероятностью загрузки агентов с минимальной погрешностью результатов вычислений, возникающих при допущении о гауссовом распределении фазового вектора.**

Рассмотрим **многокритериальную модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью.** Для решения указанной задачи будем исходить из основного критерия эффективности по Парето решениям. Тогда для каждого  $i$  управленческого решения существует два набора числовых значения:  $D_i$  и  $S_i$  (табл. 1).

Подобные решения желательно ранжировать по самым простым правилам монотонного возрастания, представленным ниже:

$$D_{i+1} > D_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (16)$$

$$S_{i+1} > S_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (17)$$

*Определение 1.* Допустим, что существует хотя бы одно положительное число, которое не является отрицательным и имеет значение не равное 0. Тогда можно сказать, что  $i$  решение является эффективным, если оно имеет хотя бы один множитель  $\mu_i$ , из множества.

$$D_i + \mu_i S_i \geq D_r + \mu_r S_r, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (18)$$

Таблица 1. Числовые характеристики эффективных по Парето решений

$i$	$D_i$	$S_i$	$\bar{\mu}_i$	$\underline{\mu}_i$
1 (a)	2	10	$\infty$	1,00
2 (b)	3	7	0,33	2,00
3 (c)	5	6	0,75	1,50
4 (d)	6	5	0,80	2,00
5 (e)	8	4	1,00	0,50
6 (f)	9	2	0,50	0,00

**Теорема 2.** Решение  $i$  является эффективным, оно будет иметь место только в том случае, если будет выполнено условие:

$$\underline{\mu}_i \leq \mu_i \leq \bar{\mu}_i \quad (19)$$

$$\bar{\mu}_i = \min_{i < r} \frac{D_i - D_r}{S_r - S_i}, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (20)$$

$$\underline{\mu}_i = \max_{i > r} \frac{D_r - D_i}{S_i - S_r}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (21)$$

На основании формул (19) - (21) можно довольно точно рассчитать  $\bar{\mu}_i$  и  $\underline{\mu}_i$ . Таким образом можно сформулировать следующее правило эффективного по Парето решения: сумма типа  $D_i + \mu_i S_i$  определяет точки пересечения соответствующих прямых с осью ординат, отрицательные значения  $\mu_i$  определяют тангенс угла, который они образуют с осью абсцисс.

*Определение 2.* Пусть  $F_i = D_i + \mu_i S_i$  тогда можно утверждать, что решение  $i_0$ : лучше решения  $i_1$ ,  $F_{i_0} \geq F_{i_1}$ ; всегда лучше решения  $i_1$ , если  $F_{i_0} > F_{i_1}$ ; соответствует решению  $i_1$ , если  $F_{i_0} = F_{i_1}$ . То есть очевидно, что если  $i$  и  $i+1$  являются аддитивно эффективными решениями  $\mu_i \geq \mu_{i+1}$ , то всегда и в этом случае решение  $i$  будет предпочтительнее решения  $i+1$ . Однако, при условии принятия решения  $i$ , оно оказывается предпочтительнее варианта  $\mu_i > \mu_{i+1}$  с решением  $i+1$ . С помощью условий (20) и (21) можно задать различные траектории изменения значений компонентов  $\mu_i$ . В последнее время образовался устойчивый тренд на активное участие бизнеса в подготовке студентов вузов. В связи с этим классическая парадигма определения эффекта от инвестиций в образование не работает. Поэтому задача состоит в выборе варианта, который будет иметь минимальные издержки. При такой постановке  $\mu_i$  величины  $F_i$  есть суммарные затраты по вариантам. В случае достижения максимального результата в решении задачи, можно ожидать получения множества из нескольких планов  $I = \{i\}$ . Каждый план, который имеет отношение к  $i$ -ому уровню, имеет свой набор показателей  $R_i = \{R_{ij}\}$ ,  $z \text{ dei} \in J$ . Вероятно, что множество Парето является множеством  $R = \{R_i\}$

*Определение 3.* Для того чтобы назвать множество Парето  $R$  проводимым, необходимо иметь в виду, что существует последовательность действий, при которой набор неотрицательных чисел  $v_j$  имеет определенную последовательность решений  $i_1, i_2, \dots, i_l, \dots, i_n$ .

$$\sum_{j \in J_1} v_j (R_{i_{l+1}, j} - R_{i_l, j}) > 0, \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J_2} v_j (R_{i_{l+1}, j} - R_{i_l, j}) < 0, \quad (23)$$

$$J_1 \cap J_2 = \emptyset, \quad (24)$$

$$J_1 \cup J_2 = J. \quad (25)$$

Многокритериальная задача может быть сведена к двухкритериальной, если учесть очевидность того, что множество эффективных по Парето решений, возможно, привести:

$$D_{i_l} = \sum_{j \in J_1} v_j R_{i_l, j}, \quad (26)$$

$$S_{i_l} = \sum_{j \in J_2} v_j R_{i_l, j}, \quad (27)$$

В данном проекте четыре эксперта оценивали качество проекта планирования сотрудничества бизнеса и образования на основе концепции цифрового двойника профессии. Тогда,  $I = \{a, b, c, d\}$ ,  $J = \{A, B, C, D, E, F\}$ . Сформированное множество решений носит ярко выраженный Парето-эффективный характер, в котором соблюдаются условия.

**Таким образом,** получена многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью, позволяющая определять количество и качество агентов на множестве Парето.

В третьей главе представлены способы управления процессами редизайна сложных организационных систем на основе концепции цифрового двойника.

Рассмотрим экспертную модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью. Модульная нейронная сеть представляет собой произвольный набор алгоритмов обработки данных, включающий в себя различные виды искусственного интеллекта, которые объединены для решения определенной общей задачи. Смешение мнений четырех экспертов (НМЕ) представлено на рис. 3 в виде иерархической модели. Является очевидным, что архитектура модели напоминает дерево, в котором ветви и листья являются частями системы шлюзов, а сами шлюзы представляют собой экспертов.

Поскольку модель НМЕ получилась как развитие метода ветвей и границ (например, дерево классификации и регрессии – classification and regression tree – CART), то к ней будут применимы те же алгоритмы машинного обучения, что и для Forest, что соответствует результатам, полученным на стадии инициализации модели с исходными данными «сырого» датасета  $\{(x_i, d_i)\}_{i=1}^N$ .

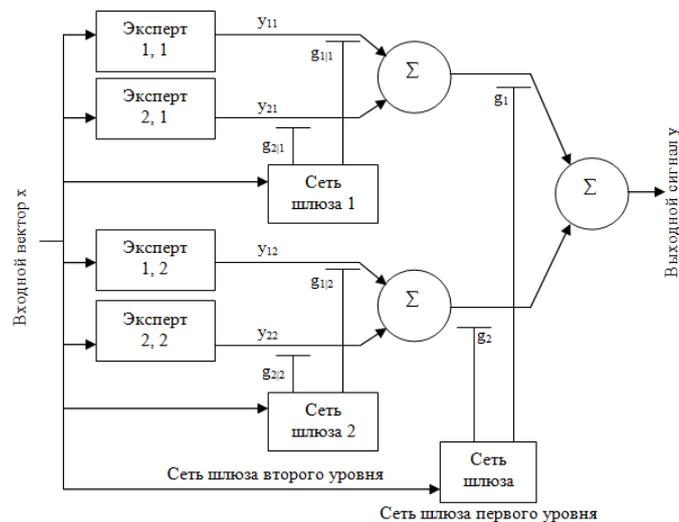


Рис. 3. Модель иерархического смешения мнений экспертов (НМЕ)

### Шаг 1. Выбор разбиений.

Если допустить, что  $t$  - это любое подмножество множеств двоичного дерева  $T$  минимально-квадратичной регрессии, тогда можно сказать, что  $\bar{d}(t)$  это значение  $d_i$  является средним для пар  $(x_i, d_i)$ , которые попадают в дерево  $t$ :

$\bar{d}(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{x_i \in t} d_i$ , а суммирование производим по всем  $d_i$ , для которых выполняется условие:  $x_i \in t$ , а  $N(t)$  – общее количество подобных случаев.

Далее, определим следующие показатели:

$$E(t) = \frac{1}{N} \sum_{x_i \in t} (d_i - \bar{d}(t))^2 \quad (28)$$

$$E(t) = \sum_{t \in T} E(t) \quad (29)$$

Для  $t$  сумма  $\sum_{x_i \in t} (d_i - \bar{d}(t))^2$  - это среднеквадратичное отклонение всех  $d_i$  поддерева  $t$  от среднего  $\bar{d}(t)$ .

**Шаг 2.** Подтверждение принадлежности терминального узла.

Если условие верно, то узел  $t$  можно назвать терминальным:

$$\max_{s \in S} \Delta E(t, s) < \beta, \quad (30)$$

где  $\beta$  - заданный порог.

**Шаг 3.** Проведение оценки параметров терминального узла. Для того чтобы вычислить вектор  $w(t)$ , необходимо представить, что  $t$  является терминальным узлом двоичного дерева  $T$ ;  $X(t)$  - матрица, которая состоит из  $x_i \in t$ ;  $d(t)$  - вектор, который сформирован желаемыми ответами для поддерева  $t$ .

$$w(t) = X^+(t)d(t), \quad (31)$$

где:  $X^+(t)$  - матрица, которая псевдообратна матрице  $X(t)$ .

В результате можно определить параметрическое разбиение нейронной сети в случае, когда вектор направления весов будет соответствовать регрессионной плоскости:

$$g = \frac{1}{1 + \exp(-\|a\| \left( \left( \frac{a}{\|a\|} \right)^T x + \frac{b}{\|a\|} \right))}. \quad (32)$$

Вектор  $a/\|a\|$  является определяющим направлением разбиения. Данная сеть (32) является нелинейной активационной функцией, может имитировать разбиение, сходное с CART. Если обобщить все сказанное ранее, процесс инициализации НМЕ-модели осуществляется на основе следующего **алгоритма**:

**Шаг 1.** К выборке *train* исходного датасета применим разработанный CART-алгоритм.

**Шаг 2.** К значениям оценочных показателей можно применить вектор синоптических весов экспертов НМЕ-модели.

**Шаг 3.** После использования CART-алгоритма было получено задание векторов синоптических весов для сетей шлюзов, которые были расположены по порядку, который соответствовал направлению разбиения двоичного дерева.

**Шаг 4.** Установление одинакового значения длины векторов синоптических весов для различных длин случайных векторов.

В результате, **НМЕ-модель** можно определить, как ассоциативную машину с динамическим типом, которая сочетает в себе преимущества CART-модели и MLP. Она позволяет сделать это за счет того, что эксперты упрощают входное пространство и разбивают его на множество подпространств.

Теперь на основе полученной НМЕ-модели определим основные подходы к **редизайну сложной организационной системы управления образовательной направленности**.

В условиях недостаточной осведомленности центра, мы можем рассмотреть множество  $X$  возможных планов. Существует два этапа в формировании множества  $X$ . Первый этап – это сбор информации о системе, которая представляет ценность для Центра. Вторым этапом состоит из разработки большого количества вариантов, которые основаны на имеющейся у него информации. Центр может не знать некоторые параметры  $r \in \Omega$ , которые определяют множество  $Y(r)$  возможных состояний системы и на базе которых формируется множество допустимых планов. Полное несовпадение информации центра о многих планах системы можно легко показать с помощью задания множества векторов  $r$  – это  $Y(r)$ ,  $r \in \Omega$  которые представляют собой неизвестные Центру параметры, а  $\alpha$  – множество их возможных значений. Обобщение информации  $\alpha$  о неизвестных параметрах  $r$  в  $k$ -м периоде функционирования осуществляется с помощью процедуры вида:

$$\alpha = g(S^i, S^{i-1}, \dots, S^{l-1}) \quad (33)$$

где:  $l$  — эта процедура имеет название «глубина памяти». В данном случае, данные процедуры можно назвать процедурой создания данных с памятью.

В рамках процедуры, называемой итерацией, множество возможных планов  $X$  формируется путем организации последовательного процесса, в ходе которого создаются промежуточные варианты  $X_l$  множества  $X$  с использованием на каждом этапе дополнительной информации  $S_l$ , которая необходима для каждого последующего шага.

$$X^l = \beta(X^{l-1}, S^l), l = 1, 2, \dots, L \quad (34)$$

где:  $L$  — Условное количество последовательных шагов, необходимых для завершения процедуры. На последнем этапе итерационной процедуры выполняется окончательное задание множества  $X$  возможных планов:

$$X = X^L = \beta(X^{L-1}, S^L) = \dots = \hat{\varphi}(X^L, s^1, s^2, \dots, s^L) \quad (35)$$

Адаптивный оператор для идентификации результатов  $\alpha_k$ , при «глубине памяти» процедуры на некоторый период времени, имеет вид:

$$\alpha^k = g(\alpha^{k-1}, y^{k-1}) \quad (36)$$

т. е. оценка, полученная в предшествующем периоде  $\alpha^{k-1}$  и реализованной в данном предшествующем состоянии  $y^{k-1}$  можно определить период функционирования с номером  $k$ .

В качестве примера, можно привести один из вариантов комбинированного способа формирования данных:

$$\alpha^i = \tilde{g}(\alpha^i, s^i) = g(g(\alpha^{i-1}, y^{i-1})s^i) \quad (37)$$

где:  $\alpha^i = g(g(\alpha^{i-1}, y^{i-1}))$  - оценка параметров  $r$ , полученная адаптивной идентификацией,  $s_i$  - оценка параметров  $r$ , полученная процедурой встречного формирования данных.

При рассмотрении в совокупности процедур создания множества  $X$  возможных планов и выбора из него плана  $x$ , можно перейти к следующей последовательности действий по построению процедур формирования плана в двухуровневой активной системе (рис. 4):



Рис. 4. Этапы формирования плана в двухуровневой активной системе

создание параметрического представления множества  $X(r)$  возможных планов, выделение неизвестных параметров и множеств  $\Omega$  их возможных значений, а также формирование неизвестного количества их возможных значений  $r \in \Omega$ ; при устранении неопределённости в параметрах  $X(r)$  следует использовать процедуры создания данных, принятия гипотез о неизвестных значениях и т.д., а также строить множество допустимых планов  $X = X(a)$ ; выбор, основанный на множестве  $X$  плана  $x$  системы.

**Таким образом,** получена экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая получать оптимальную по Парето базу знаний за счет использования строгих ограничений на принципы мотивации выбора агентов.

Далее рассмотрим **алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью.**

Для определения базы знаний об области редизайна структуры управления, можно воспользоваться вычислением функций и языком логики предикатов, который является математической логикой первого порядка. Для того чтобы формализовать задачу редизайна организационной структуры системы управления, следует ввести следующие обозначения:  $F$  – набор проблем для общего решения,  $|F| = I, F_n$  — набор проблем на  $n$ -м уровне системы, тогда:

$$F = \bigcup_n F_n, n = \overline{1, N}$$

В данном случае возможны следующие варианты: некоторые из проблем более низкого уровня могут быть решены задачами более высокого уровня, т.е.  $F_{n,n-1} = F_n \cap F_{n-1} \neq \emptyset, F_{n,n-1} \subseteq F_{n-1}; \forall n, n = \overline{2, N}$ ; некоторые (или все) проблемы верхнего уровня могут быть решены задачами более низкого уровня, т.е.  $F_{n,n-1} = F_n \cap F_{n-1} \neq \emptyset, F_{n,n-1} \subseteq F_{n-1}; \forall n, n = \overline{2, N}$ ; задачи верхнего уровня не могут быть решены задачами более низкого уровня и наоборот:  $F_{n,n-1} = F_n \cap F_{n-1} \neq \emptyset, \forall n, n = \overline{2, N}$ ; одно или два, или три условия могут быть выполнены одновременно для разных уровней и подуровней иерархической структуры.

Выбор конкретного варианта определяется требованиями к конкретной структуре управления. Для описания взаимосвязей между задачами, входящими в цикл управления, используется матрица:

$$C = \|C_{i' i'}\|, \forall i, i', i, i' = \overline{1, I}, \quad (38)$$

где  $C_{i' i'} = \begin{cases} 1, \text{если для решения } i\text{-й задачи требуется} \\ \text{решение } i'\text{-й задачи;} \\ 0\text{- в противном случае.} \end{cases}$

Согласно представлению о том, что для того чтобы решить задачу, имеющую отношение к  $i$ , необходимо выполнить ряд преобразований в соответствии с законом де Моргана, то соответствующая формула будет иметь вид:

$$\& (\varphi_i (X_{nm}^{i'})) = \& (\bigvee_{i', c_{i' i'}=1} (X_{nm}^{i'} \& P_{nm}^{i'}(T, Q))) = \bigvee_{i', c_{i' i'}=1} C_{i' i'} \& (\bigvee_{n, m} (X_{nm}^{i'} \& P_{nm}^{i'}(T, Q))) \rightarrow \varphi_i. \quad (39)$$

Пусть  $\varphi_i$  — предикат, истинный, если задача  $\varphi_i$ , включающая весь цикл управления, решена. Тогда ее решение в иерархической структуре определяется формулой:

$$\& \left[ \& \left[ \& \dots \left[ \& \left( \bigvee_{n, m} (X_{nm}^I \& P_{nm}^I(T, Q)) \right) \right] \right] \right] \rightarrow \varphi_i \quad (40)$$

Необходимо отметить, что в качестве одной из функций множество  $Q$  выбирается  $q_i = \sum_n \sum_m X_{nm}^i$ , так как может рассматриваться однозначное выполнение цикла управления, т.е.  $q_i = I, \forall i, i = \overline{1, I}$ , так и с учетом дублирования ( $q_i > 1$  для заданных  $i$ ). Задача состоит в создании новой рациональной структуры, которая будет обеспечивать оптимальное использование ресурсов для достижения определенных целей в изменяющихся условиях. Таким образом, трудоемкость решения задачи редизайна структуры сложной организационной системы управления определяется величиной  $|Z| - |\tilde{Z}|$ . При  $|Z| - |\tilde{Z}| = 0$  задача редизайна совпадает с задачей построения рациональной иерархической структуры. В диссертации рассматривается упрощенный вариант алгоритма работы экспертной системы «Редизайн структуры управления сложной организационной системой», который заключается в последовательном выполнении или невыполнении правил и переходе из одного состояния в другое. В случае тупиковой ситуации ЭС выдает сообщение в виде требований альтернативного изменения тех или иных правил (факторов). Новые правила запоминаются. Следовательно, система знаний наращивается.

**Таким образом, разработан алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющий получить требуемое решение за минимальное число шагов на основе процедур адаптивного формирования опорной выборки положительного опыта.**

**Четвертая глава** раскрывает требования к информационному обеспечению процессов редизайна систем управления образовательной деятельностью.

В ходе исследований разработана концепция редизайна системы управления образовательной деятельностью на основе концепции цифрового двойника

для взаимодействия с индустриальными партнерами по подготовке специалистов сквозных технологий на базе «Компьютерного зрения» с информационной поддержкой всех разработанных процессов. Модель цифрового двойника формируется на основе матрицы парных оценок. В результате мы получаем совокупность двух пар матриц: экспертных и заданных, что позволяет создать цифровой двойник профессии и на его основе провести редизайн процессов управления в организационной системе подготовки специалистов конкретных профессий. Индивидуальная образовательная траектория предусматривает наличие содержательного компонента – индивидуального образовательного маршрута, разработанный способ его реализации и наличие индивидуальной образовательной программы: студент определяет индивидуальную траекторию обучения используя шаблоны цифровых двойников профессий. Наравне с ИОТ определяется Major и сквозная технология для дополнительного образования; в результате формируется индивидуальный учебный план студента и формируются временные учебные группы для каждой сквозной технологии.

На рис. 5 представлены подходы к редизайну организационной системы управления подготовкой специалистов на основе цифрового двойника.

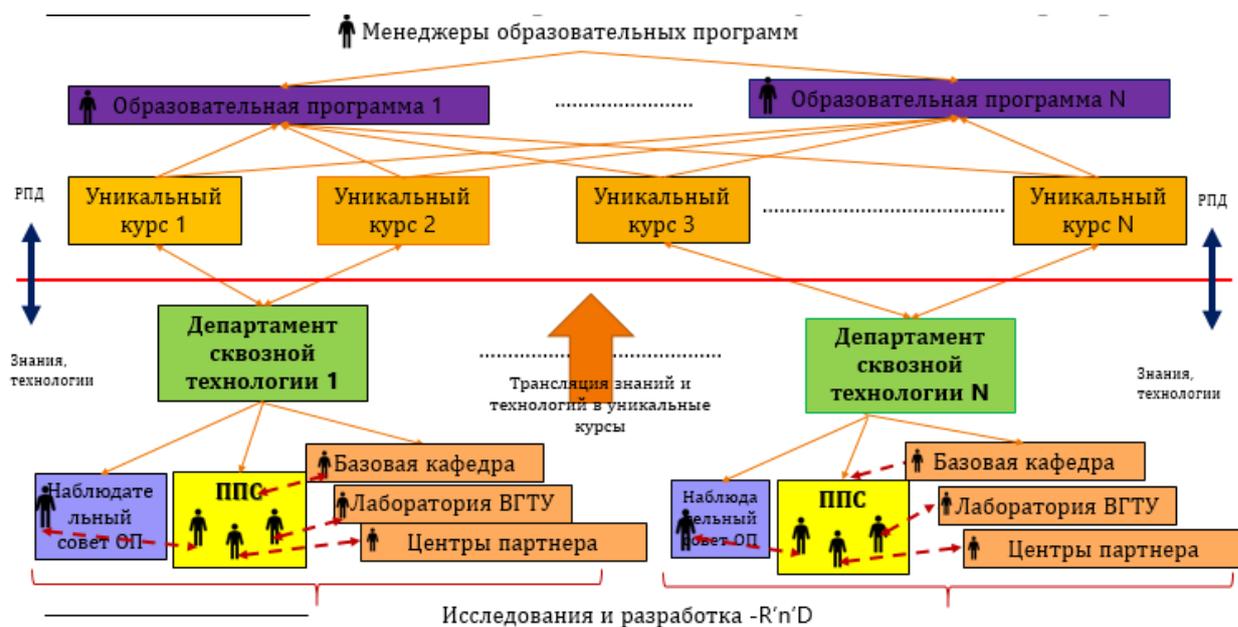


Рис. 5. Управление образовательными программами в концепции цифрового двойника профессии

Расчет эффективности полученных результатов по Критерию Вальда показывает, что прирост трудоустроенных студентов по специальности «тестировщик» случае  $q_1$  составит в среднем 19%, прирост трудоустроенных студентов по специальности «product – менеджер» в  $q_2$  - также на 19%. Определены требования к организации информационного обеспечения процессов редизайна системы организационного управления образовательной деятельностью на основе модели цифрового двойника. Для информационной платформы при построении модели цифрового двойника определена система 1С Университет, машинное обучение проводилось на платформе Google Colab на основе  $k$ -NN

взвешенного классификатора. Экспертная модель синтеза и пополнения знаний строилась на основе CART-технологии, исходный датасет синтезирован с помощью имитационного моделирования значений профессиональных компетенций необходимых для конкретной профессии. Программные модули управления реализуются на языке Python с соответствующими библиотеками, базы данных синтезированы в СУБД PostgreSQL. Оценка эффективности результатов диссертационных исследований проводилась в виде имитационного вычислительного эксперимента и установлено, что успеваемость студентов бакалавриата направления 27.03.03 «Системный анализ и управление», обучающихся по индивидуальным образовательным траекториям сформированным на основе модели цифрового двойника повысилась на 14%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана модель анализа состояний редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая в отличие от традиционных прогнозировать с высокой вероятностью загрузки агентов с минимальной погрешностью результатов вычислений, возникающих при допущении о гауссовом распределении фазового вектора.

2. Получена многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью, позволяющая определять количество и качество агентов на множестве Парето.

3. Получена экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющая получать оптимальную по Парето базу знаний за счет использования строгих ограничений на принципы мотивации выбора агентов.

4. Разработан алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью, позволяющий получить требуемое решение за минимальное число шагов на основе процедур адаптивного формирования опорной выборки положительного опыта.

5. Разработана модель человеко-машинной процедуры информационного обеспечения процессов редизайна систем организационного управления, предназначенная для решения многокритериальных задач, связанных с распределением и комплексным использованием ресурсов при построении сложных информационно-телекоммуникационных систем для задач редизайна сложных организационных систем. Предварительные эксперименты, проведенные этой процедурой при решении реальных задач, показали, что использование человеко-машинных процедур для решения многокритериальных задач повышает качество, оперативность и обоснованность решений ЛПП.

6. Определены требования к организации информационного обеспечения процессов редизайна системы организационного управления образовательной деятельностью на основе модели цифрового двойника. Для информационной платформы при построении модели цифрового двойника определена система ИС Университет, машинное обучение проводилось на платформе Google Colab с применением  $k$ -NN взвешенного классификатора.

7. Экспертная модель синтеза и пополнения знаний строилась на основе

CART-технологии, исходный датасет синтезирован с помощью имитационного моделирования профессиональных компетенций необходимых для конкретной профессии. Программные модули управления реализуются на языке Python с соответствующими библиотеками, базы данных синтезированы в СУБД PostgreSQL. Оценка эффективности результатов диссертационных исследований проводилась в виде имитационного вычислительного эксперимента и установлено, что успеваемость студентов бакалавриата направления 27.03.03. Системный анализ и управление, обучающихся по индивидуальным образовательным траекториям сформированным на основе модели цифрового двойника повысилась на 14%

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

*Публикации, индексируемые в международной базе данных Scopus*

1. Barkalov, S.A. APPLICATION OF DIGITAL TWINS IN THE MANAGEMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS / Barkalov S.A., **Dorofeev D.V.**, Fedorova I., Polovinkina A.I. // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22. Сер. "22nd International Scientific Conference on Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies, EMMFT 2020" 2021. - С. 11001.

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК РФ*

2. Белоусов, В.Е. Моделирование автоматизированных информационных систем на основе вероятностных автоматов с блокировкой обслуживания / В.Е. Белоусов, **Д.В. Дорофеев**, Л.А. Можарова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2022. – Т. 22. – № 4. – С. 27-37.

3. Белоусов, В.Е. Применение методов информационной инженерии для изменения структуры многоуровневых систем организационного управления / В.Е. Белоусов, **Д.В. Дорофеев**, Е.Н. Зенкова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 136-144.

4. Баркалов, С.А. Информационная модель поддержки процессов управления производственными потоками автоматизированного производства / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, **Д.В. Дорофеев**, К.С. Нижегородов, Е.А. Серебрякова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2023. – Том 23. – № 4 – С. 47-57.

*Статьи и материалы конференций*

5. Белоусов, В.Е. Моделирование процессов информационного обеспечения при принятии решений / В.Е. Белоусов, **Д.В. Дорофеев**, А.М. Котенко // Междисциплинарные исследования экономических систем: материалы Всероссийской науч. - практ. конф., Тверь, 27 мая 2021 г., под редакцией А.Н. Бородулина. – Тверь: Изд-во: Тверской гос. тех. ун-та, 2022. – С. 29-35.

6. Белоусов, В.Е. Механизмы детализации и концентрации календарных графиков / В.Е. Белоусов, Т.Б. Харитонова, **Д.В. Дорофеев** // Проектное управление в строительстве. – 2021. – № 1 (22). – С. 115-123.

7. Белоусов, В.Е. Механизмы планирования и оценивания результатов

функционирования двухуровневых организационных систем / В.Е. Белоусов, **Д.В. Дорофеев**, И.С. Кудрявцева // Проектное управление в строительстве. – 2021. – № 2 (23). – С. - 90-96.

8. Белоусов, В.Е. Механизмы парного сравнения объектов в сложных системах управления / В.Е. Белоусов, Т.А. Аверина, **Д.В. Дорофеев** // Проектное управление в строительстве. – 2021. – № 4 (25). – С. 20-29.

9. Глушков, А.Ю. Оптимизационная математическая модель перераспределения ресурсов в управлении проектами / А.Ю. Глушков, **Д.В. Дорофеев**, С.И. Моисеев, О.С. Перевалова // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 43-ой Международной научной школы-семинара, Воронеж, 13–18 октября 2020 г., под редакцией В.Г. Гребенникова, И.Н. Щепиной. – Воронеж: Изд-во: Воронежский гос. ун-т, 2020. - С. – 422-426.

Подписано в печать 29.03.2024. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 80 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84