

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ»)

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Баркалов Сергей Алексеевич

Воронеж 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИ- ОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ИХ РЕДИЗАЙНА	12
1.1. Особенности функционирования сложных организационных систем с неявно выраженными центрами.....	12
1.2. Модели сложных организационных систем на основе разветвлен- ных потоковых сетей.....	33
1.3. Концепция цифрового двойника для управления сложными органи- зационными системами образовательного характера.....	40
ВЫВОДЫ ПЕРВОЙ ГЛАВЫ.....	47
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РЕДИЗАЙНА СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА	49
2.1. Модель анализа состояний редизайна систем управления образова- тельной деятельностью	49
2.2. Многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью	62
2.3. ВЫВОДЫ ВТОРОЙ ГЛАВЫ.....	73
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РЕДИЗАЙНА СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОС- НОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА	75
3.1. Экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью	75
3.2. Алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизай- на систем управления образовательной деятельностью	87

ВЫВОДЫ ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЫ.....	94
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ РЕДИЗАЙНА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	96
4.1. Модель человеко-машинной процедуры информационного обеспе- чения процессов редизайна систем организационного управления	96
4.2. Вариант построения системы информационного обеспечения при редизайне процессов управления образовательной деятельностью	101
ВЫВОДЫ ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЫ.....	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	118
ЛИТЕРАТУРА.....	121
Приложение 1. Акт о внедрении.....	132
Приложение 2. Справка о внедрении.....	133

ВВЕДЕНИЕ

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 стейкхолдеры 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 не-

адекватная 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 дообучение 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., Волков А.Е., Засканов В.Г., Новиков Д.А., Подиновский В.В. 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*:

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

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

3. 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.

4. 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.

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

6. 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 задан-

ного 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 адаптив-

ного 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 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.

Внедрение результатов работы. Модели, алгоритмы и механизмы внедрены в виде раздела о индивидуальных образовательных траекториях студентов положения «О проектно-ориентированных образовательных програм-

мах 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 гг).

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]– ал-

горитм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью; в работе [3]– программа для редизайна систем управления образовательной деятельностью подготовки студентов.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ИХ РЕДИЗАЙНА

1.1. Особенности функционирования сложных организационных систем с неявно выраженными центрами

По мнению многих авторов [5, 14, 15, 16, 17], наиболее эффективной и распространенной системой управления является иерархическая с четким разделением на центры. В зависимости от сферы применения, их можно наблюдать в различных сферах: начиная от корпоративного управления (в том числе в сфере образования) и заканчивая современными техническими системами. Данные системы позволяют четко распределить обязанности и полномочия между различными уровнями управления, при этом позволяя каждому из них сконцентрироваться на своих прямых обязанностях [29, 30, 33, 34]. С помощью центров, которые являются верхним уровнем управления, осуществляется принятие стратегических решений, которые затем уточняются на более низких уровнях.

К сожалению, системы имеют множество преимуществ, они имеют и недостатки. Нехватка гибкости в постоянно меняющихся условиях, медленная передача информации по иерархии и возможность искажения информации - все это способствует снижению скорости принятия решения [19, 55, 56].

Простым способом организации управления является организация двухуровневого механизма управления [59]. С помощью этих моделей, как правило, разрабатываются различные теоретические и игровые модели. Однако на практике все чаще используются многоуровневые иерархии управления, которые имеют место быть в большинстве случаев [75, 76, 77].

Рассмотрим трехуровневую организационную систему (рис. 1.1), состоящую из нескольких n центров (Π_j) на верхнем уровне иерархии, $j = \overline{1, n}$, m

промежуточных центров (ПЦ_{ij}), $i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}, \sum_{j=1}^n n_j = m$ на втором уровне [62, 78, 80] иерархии и a агентов (АЭ_{kij}) $k = \overline{1, n_{ij}}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}, \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{n_j} n_{ij} = a$.

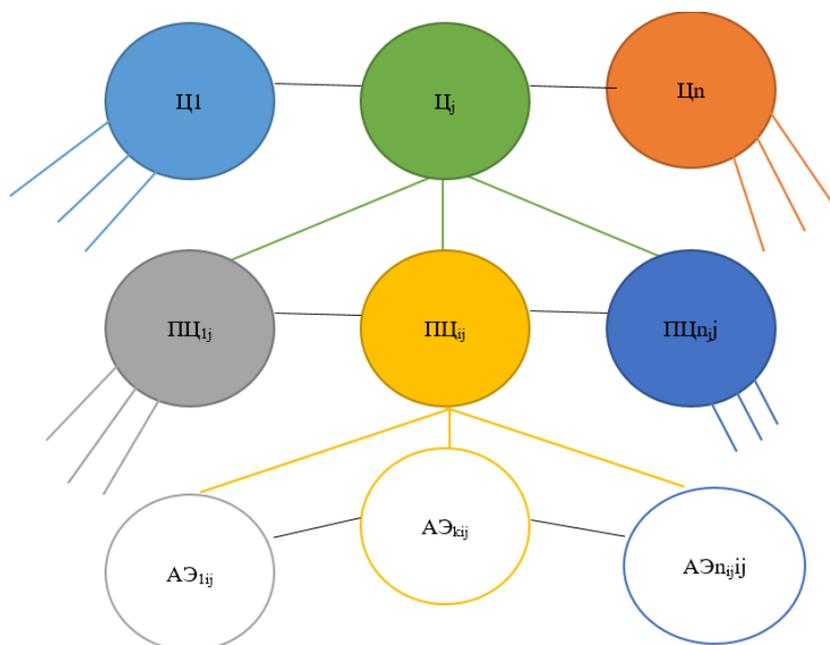


Рис. 1.1. Трехуровневая организационная система управления.

Будем считать, что каждый промежуточный центр (ПЦ) подчинен только одному центру (Ц), а каждый агент (АЭ) в свою очередь подчинен только одному ПЦ. Рассматриваемая организационная система имеет веерную структуру [62]. Совокупность каждого Ц_j, подчиненных ему ПЦ_{ij} и подчиненных им АЭ_{kij}, будем называть *ij*-ой подсистемой [13, 62, 105]. Совокупность центров и подчиненных центров назовем метасистемой.

АЭ_{kij} выбирает действие $y_{kij} \in A_{kij}$ при этом он получает от *ij*-го промежуточного центра стимулирование $\sigma_{kij}(y_{ij}) \in M_{kij}$ и несет затраты $c_{kij}(y_{kij})$, где $y_{ij} = (y_{1ij}, y_{2ij}, \dots, y_{n_{ij}ij}) \in A_{ij} = \prod_{k=1}^{n_{ij}} A_{kij}$ - вектор действий активных элементов (агентов) *ij*-ой подсистемы. Таким образом, целевая функция АЭ имеет вид:

вид:

$$f_{kij}(y_{ij}) = \sigma_{kij}(y_{ij}) - c_{kij}(y_{kij}), \text{ где } k = \overline{1, n_{lj}}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n} \quad (1.1)$$

ПЦ_j получает от деятельности АЭ своей подсистемы доход $H_{ij}(y_{ij})$, несет затраты на стимулирование $\sum_{i=1}^{n_{ij}} \sigma_{kij}(y_{ij})$ и получает стимулирование от центра $\sigma_{ij}(Y^{ij}) \in M_{ij}$ от центра, где $Y^{ij} = Q_{ij}(y_{ij}) \in A^{ij}$ - агрегированный показатель деятельности ij -ой подсистемы, $Q_{ij}: A_{ij} \rightarrow A^{ij}$, т.е. целевая функция для ПЦ имеет след вид [62]:

$$\Phi_{ij}(y_{ij}) = H_{ij}(y_{ij}) - \sum_{i=1}^{n_{ij}} \sigma_{kij}(y_{ij}) + \sigma_{ij}(Y^{ij}), \text{ где } i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n} \quad (1.2)$$

Центры получает доход $H_j(Y_j)$, зависящий от результатов [9, 25, 62, 63] деятельности подсистем, где:

$$Y^j = (Y^{1j}, Y^{2j}, \dots, Y^{n_jj}) \in A = \prod_j^n A^{ij},$$

и несет затраты на стимулирование подчиненных центров $\sum_{j=1}^{n_j} \sigma_{ij}(Y^{ij})$, т.е. целевая функция центров [24, 62] имеет вид:

$$\Phi_j(Y_j) = H_j(Y_j) - \sum_{j=1}^{n_j} \sigma_{ij}(Y^{ij}) \quad (1.3)$$

Рассмотрим процесс планирования в такой системе [73, 74, 79].

Обозначим $s_{kij} \in \Omega_{kij}$ - сообщение k -го АЭ ij -ой подсистемы соответствующему промежуточному центру [24, 62],

где: $k = \overline{1, n_{lj}}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}$; $s_{ij} = (s_{1ij}, s_{2ij}, \dots, s_{n_{ij}n_{ij}}) \in \Omega_{ij} = \prod_{i=1}^{n_{ij}} \Omega_{kij}$

вектор сообщений активных элементов ij -ой подсистемы;

$s_j = (s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{n_jj}) \in \Omega' = \prod_{k,i,j} \Omega_{kij}$ - вектор сообщений всех АЭ системы [62];

$S^{ij} = Q_{ij}(s_{ij}) \in \Omega^{ij}$ – сообщения промежуточных центров соответствующим центрам, зависящее от полученных ПЦ сообщений АЭ соответствующей подсистемы [62,80];

$Q_{ij}: \Omega_{ij} \rightarrow \Omega^{ij}$ – процедура агрегирования информации;

$S^j = (S^{1j}, S^{2j}, \dots, S^{n_jj})$ – вектор сообщений подсистем;

$$S^j \in \Omega^j = \prod_{j=1}^{n_j} \Omega^{ij} \quad (1.4)$$

План X_{ij} , назначаемый центром ij -ой подсистеме, определяется процедурой планирования $\Pi_j(S_j)$, $\Pi_j: \Omega_j \rightarrow \mathfrak{R}^{n_j}$, т.е.

$$X_{ij} = \Pi_{ij}(S_j), i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}.$$

План x_{kij} , назначаемый ij -ый промежуточным центром АЭ $_{kij}$, определяется в соответствии с процедурой планирования [62] $\pi_{kij}(s_{ij}, X_{ij})$ вектором сообщений активных элементов этой подсистемы и ее планом, т.е. процедура планирования для агентов выглядит следующим образом:

$$x_{kij} = \pi_{kij}(s_{ij}, X_{ij}), k = \overline{1, n_{ij}}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, n}. \quad (1.5)$$

Функция предпочтения АЭ: $\varphi_{kij}(x_{kij}, r_{kij}): \mathfrak{R}^2 \rightarrow \mathfrak{R}^1$ зависит от назначенного j -м центром плана x_{kij} и некоторого параметра r_{kij} – типа агента. Под типом агента будем считать такой вектор предпочтений агента, который максимизирует его целевую функцию.

Каждому из агентов, участвовавших в принятии решений на момент их принятия было известно о том что происходит [76]: процесс планирования, значение его собственного типа $r_{kij} \in \mathfrak{R}^1$, цели и допустимость множеств всех агентов. Промежуточный центр имеет информацию о некоторых аспектах планирования и функциях предпочтения агентов, но не может определить конкретные типы агентов. Он располагает информацией о зависимостях

$\varphi_{kij}(x_{kij}, \cdot)$ и множестве возможных сообщений от агентов, которые ему неизвестны. Однако для центра не известны точные значения их типов [62].

Существует следующая последовательность работы системы: сначала центры сообщают подсистемам процедуру $\Pi(\cdot)$, затем промежуточные центры информируют АЭ о процедуре $\pi(\cdot, \cdot)$, в свою очередь АЭ самостоятельно и независимо сообщает информацию центрам, которые в свою очередь, получают информацию от центров, которая является основой для формирования планов.

Количество ресурсов, необходимое для функционирования центра, может быть определено как R . В этом случае стандартная задача по распределению ресурсов предполагает нахождение такого распределения среди АЭ, которое максимально приближалось бы к какому-либо критерию эффективности, например, к общей оценке использования ресурсов активными элементами [64]. В том случае, когда центр не может оценить эффективность использования ресурсов, он должен использовать сообщения АЭ. Также существует проблема, связанная с тем, что АЭ могут предоставлять информацию в центр неточную и искаженную, чтобы получить как можно больше ресурсов. Это является причиной возникновения проблемы манипулирования системой [62].

В большинстве случаев, при рассмотрении стратегий управления применяется гипотеза о том, что функция предпочтения агентов является однопиковой с точкой пика $\{r_{kij}\}$, т.е. $\varphi_{kij}(x_{kij}, r_{kij})$ непрерывна, строго монотонно возрастает до единственной точки максимума и строго монотонно убывает после нее.

Важной задачей, решаемой в процессе планирования является обеспечение того, чтобы каждый элемент системы имел возможность избежать предоставления неверной информации. Обратимся к характеристикам модели [62].

Пусть АЭ сообщают промежуточному центру информацию $s_{kij} \in \Omega_{kij} = [0; D_{kij}] \subseteq \mathfrak{R}^1$ – заявки на ресурс, $k = \overline{1, n_i}$, $i = \overline{1, n_j}$, $j = \overline{1, n}$. Промежуточные центры в свою очередь сообщают центрам сумму поступивших к каждому из

них заявок $S^{ij} = Q_{ij}(s_{ij}) = \sum_{j=1}^{n_{ij}} s_{kij}$, после чего происходит распределение ресурса R между подсистемами: $X_{ij} = \Pi_{ij}(S_j, R_j)$ и наконец ресурс [62] распределяется между АЭ внутри каждой из подсистем: $x_{kij} = \pi_{kij}(s_{kij}, X_{ij})$.

Весь ресурс распределяется полностью: $\sum_{k,i,j} x_{kij} = R$, делится в произвольных пропорциях, причем любой АЭ может отказаться от ресурса [62].

Понятно, что если $\sum_{k,i,j} s_{kij} \leq R$, $\sum_{k,i,j} r_{kij} \leq R$, то проблем не возникает, в таком случае центр распределяет R согласно заявкам агентов. Однако, при возникновении дефицита ресурсов $\sum_{k,i,j} r_{kij} > R$. Предположим, что заявки агентов ограничены: $0 \leq s_{kij} \leq R = 1$, т.е. агент может как отказаться от ресурса, сообщив $s_{kij} = 0$, так и запросить весь ресурс [62], сообщив $s_{kij} = 1$.

Центр в свою очередь выбирает принцип пропорционального распределения [24, 62, 80]:

$$x_{kij} = \pi_{kij}(s_{kij}) = \frac{s_{kij}}{\sum s_{kij}} R$$

Таким образом, получаем следующую систему:

$$x_{kij} = \begin{cases} s_{kij}, & \text{если } \sum_{k,i,j} r_{kij} \leq R \\ \pi_{kij}(s_{kij}) = \frac{s_{kij}}{\sum s_{kij}} R, & \text{если } \sum_{k,i,j} r_{kij} > R. \end{cases} \quad (1.6)$$

Если агент получит достоверную информацию о своих типах, то он будет более эффективным и рациональным в использовании способа последовательного распределения [62].

Остается предположить, что все агенты передали свои сообщения s_{kij} . Далее необходимо расположить все сообщения в порядке возрастания:

$$s_{1ij} \leq s_{2ij} \leq s_{kij} \leq s_{n_{ij}ij}.$$

Теперь применим алгоритм не манипулируемого распределения ресурса, который минимизирует вероятность искажения информации агентами о своем типе :

Шаг 1. Мы имеем возможность дать каждому из агентов столько ресурса, сколько ему необходимо для получения желаемого результата от первого агента s_{1ij} (если $n_{ij} * s_{1ij} \leq R$, то $x_{kij} = x_{kij} + s_{1ij}$, $s_{kij} = s_{kij} - s_{1ij}$; $R = R - n_{ij} * s_{1ij}$). В случае невозможности распределения ресурса между агентами в равном количестве ($n_{ij} * s_{1ij} > R$, то $x_{kij} = \frac{R}{n_{ij}}$), мы останавливаем алгоритм.

Шаг 2. Мы исключаем первого из рассмотрения и заменяем его на следующего агента, после чего возвращаемся к шагу 1.

Функция передачи достоверной информации является ведущей стратегией каждого агента в механизме последовательного распределения.

В случае, если на момент принятия решения все участники трехуровневой АС обладают достаточной информацией, причем данная информация должна включать в себя следующие сведения: функции предпочтения и допустимые множества известны всем участникам АС, АЭ может точно определить значение [62] параметра его собственной функции предпочтения, а также все процедуры планирования. Промежуточные центры имеют возможность воспользоваться процедурой планирования, которая была выбрана соответствующими центрами. Центры нижнего уровня получают сообщения только в виде агрегированных сообщений и не имеют информации о сообщениях АЭ в подсистемах [58, 62].

$$g_{kij}(s_j) = \pi_{kij}(s_{ij}, \Pi_{ij}(S_j)) = \pi_{kij}(s_{ij}, \Pi_{ij}(Q_{11}(s_{11}), Q_{12}(s_{12}) \dots, Q_{ij}(s_{ij}) \dots Q_{nj}(s_{nj}))) \quad (1.7)$$

По своей структуре и сложности организационные системы очень разнообразны, что обусловлено большим количеством различных функций и сферой их применения. Если рассматривать процессы, происходящие в системах и их отдельных узлах с точки зрения конкретного процессного смысла, то они будут иметь не столь разнообразную структуру и логику. Во многих случаях казалось

бы совсем разные «по конкретному смыслу элементы таких систем функционируют на основании одних и тех же законов. Это дает возможность при построении автоматных моделей сложных систем выделить определенное, сравнительно небольшое количество стандартизированных автоматов (вероятностных и детерминированных), так что построение моделей довольно широкого класса организационных систем оказывается возможным лишь с помощью определенного набора автоматов этих типов [36].

Для того чтобы понять, как можно автоматизировать процесс интерпретации моделей различных узлов организационных систем, рассмотрим несколько вариантов. В то же время, некоторые узлы будут имитироваться с помощью небольших вероятностно-автоматных систем, а другие - с помощью отдельных автоматов. На начальном этапе изучения свойств типовых узлов организационных систем, можно получить возможность дальнейшего продвижения в изучении построения моделей достаточно сложных систем. Сложные организационные системы имеют ряд отличительных особенностей. Так, например, в их арсенал входят некоторые транзакции, которые могут иметь различный смысл в каждом конкретном случае. Не секрет, что правила создания входящих потоков могут быть различными [36].

В процессе функционирования организационных систем, задержки транзакций внутри них, как правило, сопровождаются влиянием различных особенностей: блокировки, резервирования и т.д. Рассмотрим модели некоторых систем, которые имеют такие особенности. Имеется возможность построения различных вспомогательных индикаторов, которые могут использоваться для определения некоторых важных характеристик модели. Попытаемся показать два сходства в системе: блокировку, которая воздействует на механизм обслуживания и транзакции, которые поступают на вход. В случае, когда транзакция попадает в систему и сталкивается с ее обслуживающим механизмом занятым (или же она просто задерживается), можно рассмотреть вариант, при котором она не покидает систему, а остается в ней, образуя очередь. Для удобства будем

рассматривать временные промежутки, которые отделяют момент поступления последовательных транзакций от момента их осуществления как независимые и одинаково распределенные [36] случайные величины ξ . Следовательно, можно сделать аналогичное предположение относительно длительности обслуживания, предположив, что они являются реализацией случайной величины η . По прогнозам, очередь будет продолжаться до бесконечности [36].

В каждый момент времени необходимо задать три временных характеристики системы, которые помогут ее полностью охарактеризовать. Так, например, они могут быть выбраны в виде [24, 36, 64]:

- 1) промежутка времени между моментом и моментом поступления очередного транзакта;
- 2) промежутка от момента t до момента окончания обслуживания того транзакта, который обслуживается в данный момент t ;
- 3) количества транзактов, ожидающих своей очереди в течение определенного периода времени t .

Существует три характеристики, которые, несомненно, образуют Марковский вектор системы A_1 , A_2 и A_3 . Это означает, что автоматную модель системы можно построить из трех автоматов и их состояний, которые будут соответствовать трем этим характеристикам в соответствии с тремя временными параметрами. Согласно нашему предположению, при значении выходного сигнала $x_1(t)$ автомата A_1 в 1, через одну единицу времени ($t + 1$) произойдет очередной транзакт. Начиная с этого момента, только в том случае, если обслуживающий механизм будет полностью свободен $x_2(t) = 1$ в данный момент или освободится к моменту времени $t + 1$. В случае, если транзакции уже были совершены $x_3(t)$, то входной сигнал равен 1 [36].

Благодаря этому выбору состояния автоматов и значений выходных сигналов, система функций выходов [36] может быть представлена в следующей форме (табл. 1.1) [36].

Таблица 1.1. Система функций выходов [36].

Выходной сигнал	Функции
$x_1(t)$	$a_1(t) \leq 1$
$x_2(t)$	$a_2(t) \leq 1$
$x_3(t)$	$a_3(t) > 0$

Структурный граф модели изображен [36] на рис. 1.2.

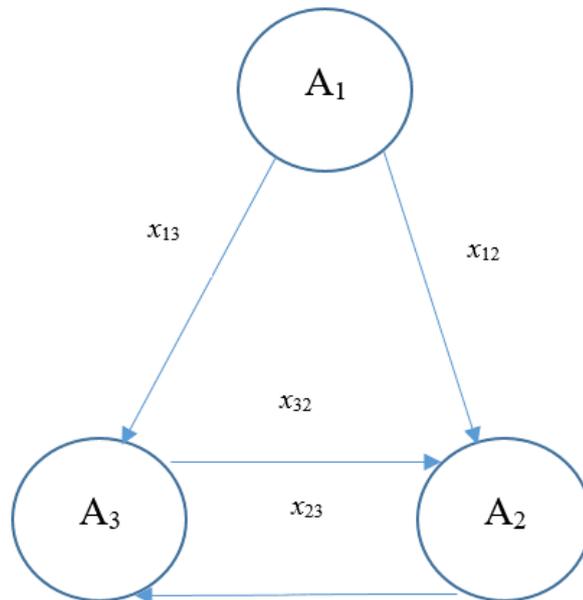


Рис. 1.2. Структурный граф модели.

В таблице 1.2 представлена матрица алфавитов.

Таблица 1.2. Матрица алфавитов.

Р	Д	Д
Θ	Н	Д
Θ	Д	Н

С помощью таблицы 1.3, устанавливается соответствие между высказываниями и функциями. Таким образом, можно представить, что в данном случае мы имеем дело с таблицей условных функционалов [36] переходов (ТУФП).

Таблица 1.3. Таблица условных функционалов переходов [36].

A_1	$a_1(t) > 1$	$a_1(t) \leq 1$	
	$a_1(t) - 1$	ξ	
A_2	$a_2(t) > 1$	$a_2(t) \leq 1 \wedge x_1(t) + x_3(t) > 0$	$a_2(t) \leq 1 \wedge x_1(t) + x_2(t) = 0$
	$a_2(t) - 1$	η	0
A_3	$u_1(t) + x(t)$		

Для выбора вектора начальных состояний, можно воспользоваться любым из трех чисел: первое из них является положительным целым, а второе и третье - натуральными. За исключением, существуют три случая, когда при произвольном первом числе второе и третье не имеют отношения к нулю, а первое число является нулевым. В этом заключается смысл данного исключения. Когда в очереди есть клиенты, система не может простаивать [36].

Принимая во внимание, что в работе рассматриваемой системы участвуют две независимые случайные величины ξ и η , то задача создания системы распределения случайных величин может быть решена с помощью блокировки. Мы выберем два наиболее эффективных способа блокировки [36].

Блокировка входящего потока транзактов. На протяжении всего промежутка времени t , в течение которого поток не блокируется, он может быть заблокирован с вероятностью p ($0 < p < 1$) или же нетранзитивен к блокировке. Чтобы получить представление о степени определенности, проведем через произвольное значение с определенным распределением двоичную случайную величину $\{1 - p, p\}$. Клиент приходит на вход в момент окончания действия бло-

кировки, и система продолжает функционировать без сбоев до момента следующего клиента [36].

Блокировка обслуживающего механизма. После отработки обслуживающим механизмом определенного количества рабочих единиц, происходит блокировка (выход из строя). В данную сумму не входит и время простоя. В течение определенного времени после выхода из строя механизм может быть восстановлен. После этого снова начинается обслуживание транзакции, которое было прервано в момент выхода из строя механизма [36].

Для того чтобы определить математическое ожидание периода простоя в случае отсутствия блокировки, необходимо знать состояние обслуживающего механизма. Напомним о том, что ввиду возможности выхода из строя механизма исключительно в рабочем состоянии каждый из данных периодов будет иметь место только после того, как будут осуществлены новые транзакции в системе, но не в момент прекращения действия блокировки управляющего механизма [36].

Четыре из шести автоматов являются основной частью модели. Их обозначим, как, A_1, A_2, \dots, A_6 . Автоматы индикации (их три) будут обозначены буквой U , которая имеет индекс, соответствующий соответствующему автомату. Определив смысл состояний автоматов, можно переходить к конструированию модели [36].

Положим: $a_1(t)$ — промежуток времени, оставшийся в момент времени t до момента поступления очередного транзакта; $a_2(t)$ — промежуток времени, оставшийся от момента t до момента окончания обслуживания очередного транзакта, если в момент t имеется некоторый транзакт, поступивший на обслуживание, независимо от того, является обслуживающий механизм в данный момент исправным или нет, в противном случае $a_2(t)=0$; $a_3(t)$ — количество транзактов, ожидающих обслуживания в момент времени t ; $a_4(t)$ — промежуток времени, оставшийся от момента t до момента окончания блокировки входящего потока, если в этот момент действует блокировка, в противном случае

$a_4(t)=0$; $a_5(t)$ — значение качественной компоненты блокировки обслуживающего механизма в момент времени t , если в этот момент действует блокировка, то $a_5(t) = 1$, в противном случае $a_5(t) = 0$; $a_6(t)$ — значение количественной компоненты блокировки обслуживающего механизма в момент времени t , т. е. промежуток времени от момента t до момента очередной смены качественного состояния блокировки механизма; $u_1(t)$ — накопленное за промежуток времени от начала функционирования модели до момента t суммарное время простоя обслуживающего механизма в исправном состоянии; $u_2(t)$ — накопленное за этот же промежуток времени суммарное количество промежутков незанятости обслуживающего механизма; $u_3(t)$ — приближенное значение математического ожидания длительности простоя обслуживающего механизма в исправном состоянии, полученное путем усреднения по промежутку [36] времени $(0, t - 1)$.

Такое задание состояний автоматов дополним следующими замечаниями [36]:

1. Ввиду того что по принятому условию задачи в момент окончания действия блокировки на входящий поток на вход системы всегда поступает транзакт, при наличии этой блокировки промежуток времени до поступления очередного транзакта определяется состоянием автомата A_4 , а не состоянием автомата A_1 последнее в рассматриваемом случае теряет смысл и может быть выбрано произвольно [36].

2. В соответствии с правилом задачи, в тот момент времени, когда на входящий поток не оказывается воздействия блокировки, последняя вероятность наступления ее наступает с одинаковой вероятностью, для описания данной блокировки необходимо выбрать только одну временную характеристику. И действительно, такую характеристику можно задать так: в период действия блокировки она совпадает со значением периода времени, который остается после окончания блокации, в ином случае равна нулю. Эта составляющая является частью модели, которая называется состояние автомата A_4 . В случае блоки-

ровки управляющего механизма, происходит совершенно другое [36].

В случае блокировки управляющего механизма, происходит совершенно другое. Переход системы в состояния блокировки или разблокировки происходят при наличии временной зависимости случайной функции, описывающей наступление блокировки либо разблокировки. В результате полная функция описывающая процессы блокировки или разблокировки обслуживающего прибора организационной системы требуется задать качественную и количественную временные характеристики, как это сделано выше с помощью автоматов A_5 и A_6 [36]

3. Если рассматривать каждый момент времени, то обслуживающий механизм может быть либо в рабочем, либо в состоянии простоя, или же он может быть неисправным (заблокированным). Для нас важны лишь временные промежутки, в течение которых обслуживающий механизм находится в исправном состоянии. Если такие промежутки будут продолжаться достаточно долго, это может привести к тому, что они будут иметь произвольную целочисленную продолжительность. По мере развития модели, автомат U_1 становится накопителем количества времени, в течение которого обслуживающий механизм простаивал в работоспособном состоянии [36]. В свою очередь, автоматический счетчик U_2 является накопителем количества промежутков времени, когда механизм находился в данном состоянии без перерывов.

Анализ данной задачи не позволяет однозначно определить прохождение транзакта, который поступил в систему в момент блокировки обслуживающего механизма, т. е. должен ли он находиться в очереди до прекращения действия блокировки или поступить к обслуживающему механизму и продолжать ожидание там [36]. Для того чтобы различать эти два случая, необходимо иметь дело с содержанием. В данном случае не имеет значения, где происходит процесс пассивной задержки. И всё же, в контексте алгоритмического описания модели здесь имеется принципиальная разница. Например, для того чтобы определить состояние автоматов A_2 и A_3 и их функций, необходимо использовать несколь-

ко версий. Это означает, что при конструировании модели необходимо принять одну из этих версий за истину. В данном случае ожидание осуществляется непосредственно в обслуживающем приборе, а не в очереди [36].

Пометим выходные сигналы автоматов A_1, A_2, \dots, A_6 , используя буквенный индекс x и цифровое обозначение с указанием на время. Заметим, что обозначения выходных сигналов индикаторов аналогичны обозначениям внутренних состояний этих автоматов [36].

Пусть:

$x_1(t)$ — в случае если транзакт поступает на вход системы в момент, предшествующий его естественному течению, а также в случае прекращения блокировки потока, сигнал принимает значение 1;

$x_2(t)$ — сигнал, который можно определить как 0 или 1, означает, что механизм [36] находится в рабочем состоянии и может быть задействован в течение определенного периода времени. В остальных случаях это означает, что он занят и будет освобожден через определенное время;

$x_3(t)$ — сигнал, принимающий значение равное единице (при наличии непустой очереди) и нуля (если очередь пустая);

$x_4(t)$ — если блокировка потока не осуществляется, то это будет означать сигнал, который имеет значение 0 или 1, а также 2 в случае, если блокировка прекратит свое действие через определенное время;

$x_5(t)$ — сигнал, определяющий качественное совпадение с автоматом A_5 ;

$x_6(t)$ — в случае, когда до следующей смены качественной составляющей описания данной блокировки остается ровно одна единица времени, сигнал принимает значение 1 [36].

С помощью системы функций выходов для двоичных сигналов мы построим систему, которая будет использовать их (табл. 1.4) [36].

Функции выходов уже определены для автоматов индикатора, и это стало возможным благодаря принятия предположения о том, что их состояние анало-

гично состояниям соответствующих автоматов [36].

Таблица 1.4. Система функции выходов для двоичных сигналов [36].

Выход	Функция выходов
$x_1(t)$	$a_1(t) = 1$
$x_3(t)$	$a_3(t) > 0$
$x_5(t)$	$a_5(t) = 1$
$x_6(t)$	$a_6(t) = 1$

С помощью принятия предположения о тождественности состояний соответствующих автоматов, для автоматов индикации уже определены функции выходов [36].

В целях облегчения записи ТУФП в качестве промежуточных величин будем использовать следующие [36]:

$y_1(t)$ — сигнал, который должен быть равен 1 в случае получения транзакции после того как блокировка прекращается, и 0 в противном случае [36];

$y_2(t)$ — данная величина может быть равна 1 в том случае, если механизм обслуживания имеет возможность принимать транзакции одного типа (включая случаи блокировки данного механизма) и 0 в других случаях [36];

$z(t)$ — если в данный момент система не блокирована и поток транзакций нормализуется, то можно подсчитать общее количество транзакций, которые находятся в очереди или поступают в систему в этот момент [36].

Рассмотрим, как происходит вычисление указанных промежуточных величин.

$$\begin{aligned}
 y_1(t) &= \begin{cases} 1 & \text{при } x_4(t) = 1, \\ 0 & \text{при } x_4(t) \neq 1; \end{cases} \\
 y_2(t) &= \begin{cases} 1 & \text{при } x_2(t) = 0 \text{ или } x_2(t) = 1 \text{ и } x_5(t) = 0, \\ 0 & \text{при } x_2(t) = 2 \text{ или } x_2(t) = 1 \text{ и } x_5(t) = 1. \end{cases} \quad (1.8)
 \end{aligned}$$

Выражение $y_2(t)$, когда механизм обслуживания имеет возможность

принимать транзакции одного типа можно упростить:

$$y_2(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } x_2(t) + x_5(t) \leq 1, \\ 0 & \text{при } x_2(t) + x_5(t) \geq 2, \end{cases} \quad (1.9)$$

или

$$y_2(t) = 1 - \max\{0, \min\{1, x_2(t) + x_5(t) - 1\}\}. \quad (1.10)$$

ГУФП представляется в таком виде (табл. 1.5):

Таблица 1.5. ГУФП

A_1	$a_1 > 1 \wedge x_4 = 0$	$a_1 > 1 \wedge x_4 = 0 \vee x_4 = 1$	$x_4 = 2$
	$a_1 - 1$	ξ	0
A_2	$a_2 > 1 \vee a_2 = 1 \wedge x_5 = 1$	$z > 0 \wedge (a_2 \leq 1 \wedge x_5 = 0 \vee a_2 = 0 \wedge x_5 = 1)$	$z = 0 \wedge (a_2 \leq 1 \wedge x_5 = 0 \vee a_2 = 0 \wedge x_5 = 1)$
	$a_2 + x_5 - 1$	η	0
A_3	$\max\{0, a_3 + x_1 + y_1 - y_2\}$		
A_4	$a_4 > 0$		$a_4 = 0$
	$a_4 - 1$		$\tau\gamma$
A_5	$a_5 = 0 \wedge x_2 = 0$	$a_5 = 0 \wedge x_2 > 0$	$a_5 = 1$
	0	x_6	$1 - x_6$
A_6	$a_6 > 1 \wedge x_5 = 0 \vee a_6 > 1 \vee x_5 = 1$	$a_6 \geq 1 \wedge x_5 = 0 \wedge x_2 = 0$	$a_6 = 1 \wedge x_5 = 1$

	$= 0 \wedge x_2 > 0$		1	
	$a_6 - 1$	a_6	β	α
U_1	$u_1 + (1 - x_5) \max\{0, 1 - x_2\}$			
U_2	$z > 0$		$z = 0$	
	$u_2 + \max\{0, 1 - x_2\} (1 - x_5)$		u_2	
U_3	$u_1: \max\{1, u_2\}$			

Проанализируем полученные результаты.

Автомат A_1 . При условии, когда функция блокировки входящего потока не работает и до момента следующего транзакта остается время, превышающее единицу (или же она вообще отсутствует), то естественно, что состояние автомата за этот промежуток времени снизится на единицу, т.е. [36].

$$a_1(t + 1) = a_1(t) - 1 \text{ при } x_4(t) = 0 \text{ и } a_1(t) > 1. \quad (1.11)$$

Не смотря на отсутствие блокировки, время до следующего транзакта будет равным единице. В следующий момент времени транзакт поступит и до момента следующего останется случайный промежуток времени, который можно сравнить с одной из реализаций случайной величины ξ [36].

Вы получите тот же результат в том случае, если в течение определенного периода времени блокировка будет действовать на входящий поток и до ее завершения останется одна единица времени $x_4(t) = 1$, независимо от состояния автомата A_1 . В том случае, когда в момент на входящий поток воздействует блокировка и между моментом начала и окончанием этого действия остается промежуток, превышающий единицу времени, что может случиться тогда и только тогда, когда $x_4(t) = 2$, то на основе сделанного ранее замечания можно

выбрать состояние автомата A_1 по своему усмотрению. При условии, что $a_1(t) = 0$ [36].

Автомат A_2 . Здесь присутствуют три случая [36]:

1) благодаря этому автомату, его состояние станет ниже на величину, обратную значению сигнала. $x_5(t)$, т. е. [36].

$$a_2(t + 1) = a_2(t) - (1 - x_5(t)) = a_2(t) + x_5(t) - 1 \quad (1.12)$$

2) в момент $t + 1$, когда будет осуществляться обслуживание очередного транзакта, произойдет активация случайной величины η . Это означает, что состояние автомата будет соответствовать одной из ее реализаций [36];

3) в момент $t + 1$ обслуживающий механизм попадет в состояние простоя (будучи исправным или нет), т. е. $a_2(t + 1) = 0$ [36].

Существует два варианта получения первого из перечисленных результатов. В первом случае, до завершения обработки транзакции остается промежуток, который больше одной единицы времени (если блокировка отсутствует) или же этот промежуток меньше единицы (если она присутствует) [36].

Во втором случае блокировка отсутствует и время обслуживания строго меньше единицы для поступившего транзакта (если имеется очередь - ($z(t) > 0$)) [36].

Существует три варианта получения нулевого результата. Это может произойти в двух ситуациях: при отсутствии блокировки ($x_5(t) = 0$) или фактической ($a_2(t) = 0$) или ожидаемой ($a_2(t) = 1$) незанятости обслуживающего механизма нет потенциальных клиентов на обслуживание ($z(t) = 0$), а также когда механизм не имеет возможности выполнять свои функции и отсутствует возможность подачи заявок на обслуживание [36].

Автомат A_3 . При этом мы руководствуемся основным принципом формирования очереди, который был изложен ранее. При данном варианте количество транзакций, приходящих на баланс (0 или 1), должно быть одинаковым со

значением суммы $x_1(t) + y(t)$. Во время ожидания клиента из очереди может произойти убыль одного транзакта или же он не будет обслужен вовсе. С помощью этого обозначения мы обозначим данную величину $y_2(t)$ [36].

Таким образом, имеем [36].:

$$a_3(t + 1) = \max\{0, a_3(t) + x_1(t) + y_1(t) - y_2(t)\}, \quad (1.13)$$

когда такое убытие происходит [36].

Автомат A_6 . Попробуем рассмотреть ситуацию, в которой состояние автомата не изменяется. Очевидно, что это случается в том случае, когда отсутствует блокировка обслуживания ($x_5(t) = 0$) или же механизм не работает ($x_2(t) = 0$), а его функционал находится в бездействии. В этом случае остаточная часть безблокировочного периода больше или равна единице [36]. В соответствии с этим [36]:

$$a_6(t + 1) = a_6.$$

В обоих случаях автомат может быть в состоянии, которое будет уменьшено на единицу. Существуют такие случаи [36]:

1) В случае если блокировка обслуживания имеет место ($x_5(t) = 1$), то время, необходимое для восстановления обслуживания, превышает единицу [36].

2) блокировка не работает ($x_5(t) = 0$), а механизм, который ее поддерживает занят ($x_2(t) > 0$), и его остаточный беспроблокировочный период превышает единицу [36].

В случае, если в момент блокировки механизма происходит его полная блокировка, а его остаточная длительность равна единице, то в следующий момент времени наступает безблокировочный период, при этом его остаточная продолжительность совпадает с одной из реализаций случайной величины α [36].

При отсутствии блокировки ($x_5(t) = 0$) или в случае отсутствия занятости

механизма $(x_2(t) > 0$, при условии, что время, необходимое для блокировки, равно единице, в момент начинается процесс блокировки, и его остаточное время совпадает с реализацией случайной величины α [36].

Автомат U_1 . Благодаря определению, автомат должен увеличиваться на единицу только в том случае, если обслуживающий механизм не заблокирован и не занят. Это означает, что добавление единицы $u_1(t)$ не происходит, когда отсутствует блокировка ($x_5(t) = 1$) или же рабочий механизм занят. Существует возможность учесть это, добавляя к «старому» состоянию автомата такое значение, зависящее от и которое равно единице во всех случаях кроме этих. Как легко заметить это, в основе произведения лежит именно такое выражение [36].

$$(1 - x_5(t)) \max\{0, 1 - x_2(t)\}. \quad (1.14)$$

Автомат U_2 . На основании определения, в момент времени состояние данного автомата должно соответствовать количеству промежутков отсутствия работы обслуживающего механизма при отсутствии блокировки. Подобные промежутки можно определить, используя начало и конец. При выборе способа, мы остановимся на последнем. Таким образом, для определения необходимо, чтобы функционал был составлен таким образом, чтобы он мог рассчитывать количество переходов обслуживающего механизма из состояния простоя в случае его исправности в какое-либо иное состояние. Оно и понятно, что если в данный момент имеются транзакции, которые либо находятся в очереди или же поступают в систему извне по какой-то причине (например, из-за того, что интересующий нас переход невозможен), то мы можем наблюдать ситуацию, когда желаемый нами переход не осуществляется, и единица к не прибавляется [36]. В ином случае ($z(t) > 0$) единица $u_2(t)$ будет добавлена только в том случае [36], если механизм не работает $x_2(t) = 0$.

Получаем [36]:

$$u_2(t + 1) = u_2(t) + \max\{0, 1 - x_2(t)\} (1 - x_5(t)). \quad (1.15)$$

Автомат U_3 . Предположительное значение математического ожидания времени нахождения механизма в исправном (незаблокированном) состоянии можно вычислить путем деления общего времени нахождения механизма во включенном состоянии за некоторый достаточно продолжительный период времени на количество промежутков непрерывного пребывания его в рабочем состоянии за этот же промежуток времени. Для предотвращения остановки при делении на ноль в начале машинной реализации функционирования модели, когда еще $u_2(t) = 0$, не произошло автоматической остановки при делении на ноль, мы применяем символ *max* [36].

Установлено, что автоматы индикатора находятся в состоянии нулевого состояния. В качестве начального состояния для всех автоматов можно выбрать произвольное, соответствующее реальной ситуации [36].

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. 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. Варианты отыскания областей «общего блага» также неэффективны, т.к. интересы участников нежесткой организационной системы имеют вектора разной направленности.

2. При автоматном варианте работы сложной организационной системы большинство моделей полученной системы массового обслуживания сводятся к блокировке каналов обслуживания при изменении характера поступающих транзактов, что в условиях необходимости формирования гибких комбинированных структур недопустимо.

3. Регулируемые параметры, которые влияют на эффективность работы организационной системы, являются детерминированными функциями, которые определяют показатель эффективности ее работы, при этом характер изме-

нения целевой функции системы может носить накопительный непрерывный характер.

1.2. Модели сложных организационных систем на основе разветвленных потоковых сетей

Моделирование сложных организационных систем, основанных на потоковых представлениях информации (что мы рассмотрели в предыдущем параграфе), является набором алгоритмических операций, которые позволяют создавать достаточно сложные сети с большим количеством узлов. Операторы, которые применяются для обучения алгоритмов на основе входных данных, являются одним из ключевых элементов, позволяющих подключить модель представления знаний на стадии разработки процедуры принятия решений. Данные модели были использованы при принятии решений, когда использовались диалогические процедуры [3].

а) Существует два способа формирования решения: лицо принимающее решения (ЛПР) опирается на значения параметров системы, которые были достигнуты на предыдущем этапе; ЛПР человек использует уже сформированные значения.

б) Принятие решения легче осуществлять не в количественном, а в качественном измерении относительно того уровня, на котором находятся значения параметров. Например: увеличить значение x_1 , уменьшить значение x_2 и т.д.

Этот факт побуждает к мысли об актуальности применения этапа логического анализа в процедурах принятия решений, а также о целесообразности использования данного этапа в процессе принятия решений. После того, как будет использована модель для обучения алгоритма получается вариант нейронной сети с заданным вариантом результата [8].

Использование машинного обучения основанного на логическом выводе правил (с использованием предикатов различной степени) при синтезе моделей

машинного обучения при выполнении различных кейсов [3], необходимо сначала определить тон или иную интерпретацию проблемы, основанную на языке логики.

Определим условные обозначения для создания модели.

1. D - целые числа (неотрицательные) объединенные в множество.
2. d_i – значения чисел из множества D , интерпретирующих значения интенсивностей потоков - x_j информации и вектора управления - u_k .
3. Точечные значения $\{x_j\}$ и $\{u_k\}$ интенсивностей потоков информации и вектора управления.
4. Предикаты Z, W, H, I – для формирования продукционной модели представления знаний.

Выше сформулированные условные обозначения в логическом выводе продукционной модели представления знаний сформированы для точечных значений $\{x_j\}$ и $\{u_k\}$ интенсивностей потоков информации и вектора управления в промежутках времени, которые находятся на соседних уровнях [3]. На рис. 1.3 представлен пример оператора управления разветвлением потока, который можно рассматривать как пример.

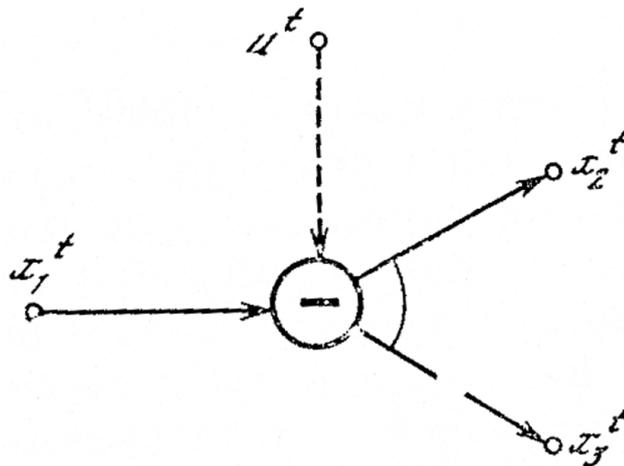


Рис. 1.5. Графическая мнемосхема для предиката первого порядка модели.

В табл. 1.6 приводятся результаты логических выражений для обучения нейронной сети на основе закона Де Моргана.

Таблица 1.4. Результаты логических выражений для обучения нейронной сети.

x_2^t, x_2^{t+1}	x_1^t, x_1^{t+1}	x_3^t, x_3^{t+1}	u_1^t, u_1^{t+1}
Z	Z	Z	Z
W	H	Z	W
Z	W	W	W
W	I	W	W
H	W	Z	H
Z	H	H	H
H	I	H	H
H	W	W	I
W	H	H	I

Используемые оператором количественные соотношения (при заданных u и x_1), представлены ниже:

$$x_2 = \frac{u}{1+u} x_1, x_3 = \frac{1}{1+u} x_1 \quad \text{при } u = \frac{x_2}{x_3}$$

Фрагмент записи, который соответствует таблице логических операций имеет вид:

$$B(x_2^t, x_2^{t+1}) \Leftrightarrow C(x_1^t, x_1^{t+1})B(u^t, u^{t+1}) \vee B(x_1^t, x_1^{t+1})C(u^t, u^{t+1}) \vee B(x_1^t, x_1^{t+1})B(u^t, u^{t+1})$$

$$C(x_2^t, x_2^{t+1}) \Leftrightarrow C(x_1^t, x_1^{t+1})C(u^t, u^{t+1}) \quad (1.16)$$

$$Q(x_2^t, x_2^{t+1}) \Leftrightarrow C(x_1^t, x_1^{t+1})Q(u^t, u^{t+1}) \vee Q(x_1^t, x_1^{t+1})C(u^t, u^{t+1}) \vee Q(x_1^t, x_1^{t+1})Q(u^t, u^{t+1})$$

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что приведенные выражения являются. Каждый из алгоритмических операторов, которые входят в состав этого типа, имеет свою собственную систему аксиом. Предикат применимости задается формированием [8] связей между конкретными объектами x_j и множествами значений в которых они включаются $\{x_j\}$. Таблицы истинности строятся в соответствии с алгеброй логики и конкретно заданными условиями

оператора и системой для которой задаются правила-продукции, а также их количеством. Поэтому аксиомы, формирующие правила-продукции должны строго соответствовать этим требованиям. Принято называть их аксиомами роста, учитывая специфику решаемой задачи. Важной характеристикой алгоритмической сети, которая будет далее рассмотрена, является большое количество таблиц аксиом правил-продукций [3].

$$\langle X, U, H, P, A \rangle,$$

где: X — множество входных параметров модели;

U – множество управляющих воздействий;

H – множество логических операций;

P - предикаты;

A – таблицы истинности.

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. Поэтому методы, которые используются в качестве правила вывода $(A, A \supset B) / B$, где A , когда A и B являются исходными посылками или формулами, которые выводятся на основе таблиц истинности. Цель управления формируется из множества исходных посылок. Как правило, это множество предикатов первого порядка с которыми требуется провести процедуры вывода знаний из соответствующей модели. На рис. 1.4 рассматривается пример алгоритмической сети, содержащей набор правил-продукций (предикатов) P_1, \dots, P_{16} , с возможностью получения условий логического вывода. Сеть содержит множество управляющих воздействий (13) 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).

С помощью оператора P_6 выполняется операция:

$$\min(x_6 u_{11}; x_{54} u_4; x_{80}),$$

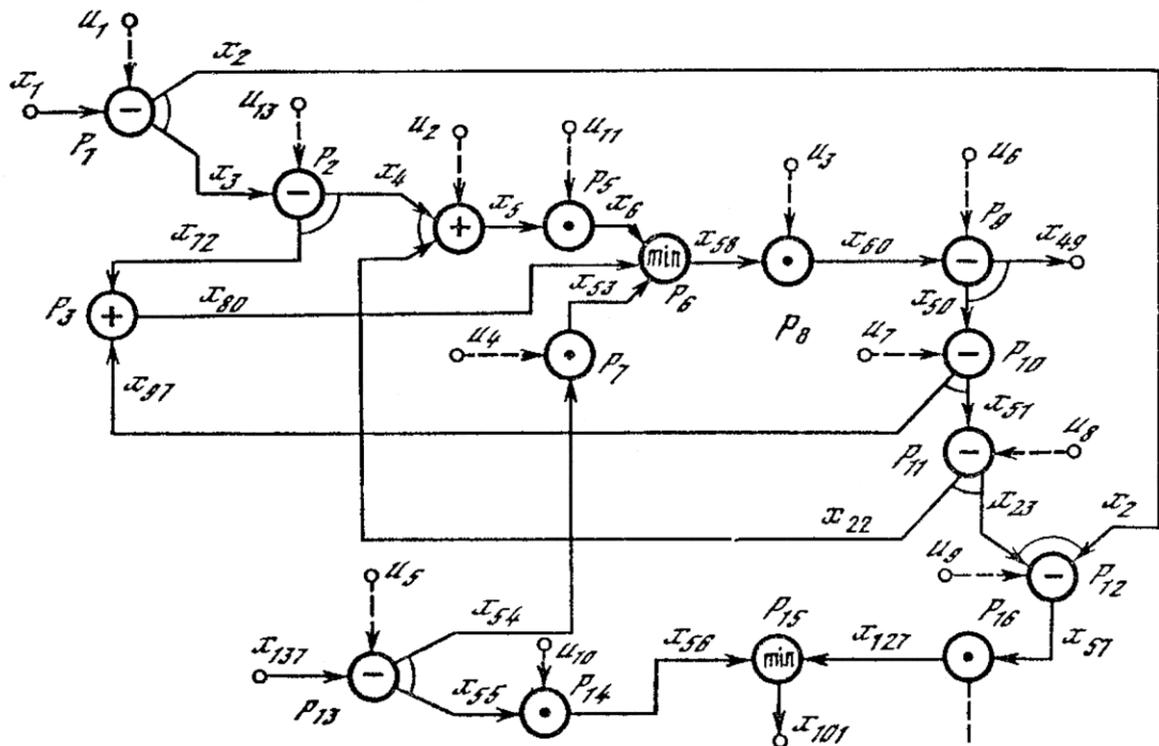


Рис. 1.4. Алгоритмическая сеть.

Определим условия вывода знаний из сети:

$$G = B(x_1^t, x_1^{t+1})Q(x_{137}^t, x_{137}^{t+1})B(x_{49}^t, x_{49}^{t+1})B(x_{101}^t, x_{101}^{t+1}) \quad (1.17)$$

Далее определим диапазоны значений для множеств операций и управляющих воздействий:

$$\Gamma = \{B(x_1^t, x_1^{t+1}); Q(x_{137}^t, x_{137}^{t+1}); \forall u_k^t \forall u_k^{t+1} C(u_k^t, u_k^{t+1})\} \quad (1.18)$$

При обходе базы знаний получаем вначале набор $C(u_k^t, u_k^{t+1})$, состоящий из управляющих соседних вершин u_k^t и u_k^{t+1} , по набору входных знанчений (x_1, x_{137}) и заканчивая целевыми переменными (x_{49}, x_{101}) , принимается решение об истинности предиката для всех. Когда цель управления в виде выражения G будет достигнута, то процесс вывода прекращается и процедура его завершения становится необратимой.

Иными словами, в случае невозможности выполнения условий G , производится перебор всех возможных комбинаций по тем входным потокам где были положительные результаты.

В задаче стоит задача изменения отдельных операторов, которые находятся на первой стадии вывода. Перебор может осуществляться как в прямом векторе движения: слева – направо и рекурсивно дальше. Дерево решений, полученное на этом этапе, должно быть пересмотрено как можно быстрее, чтобы не допустить пересмотра всего дерева, относительно x_l (рис. 1.5).

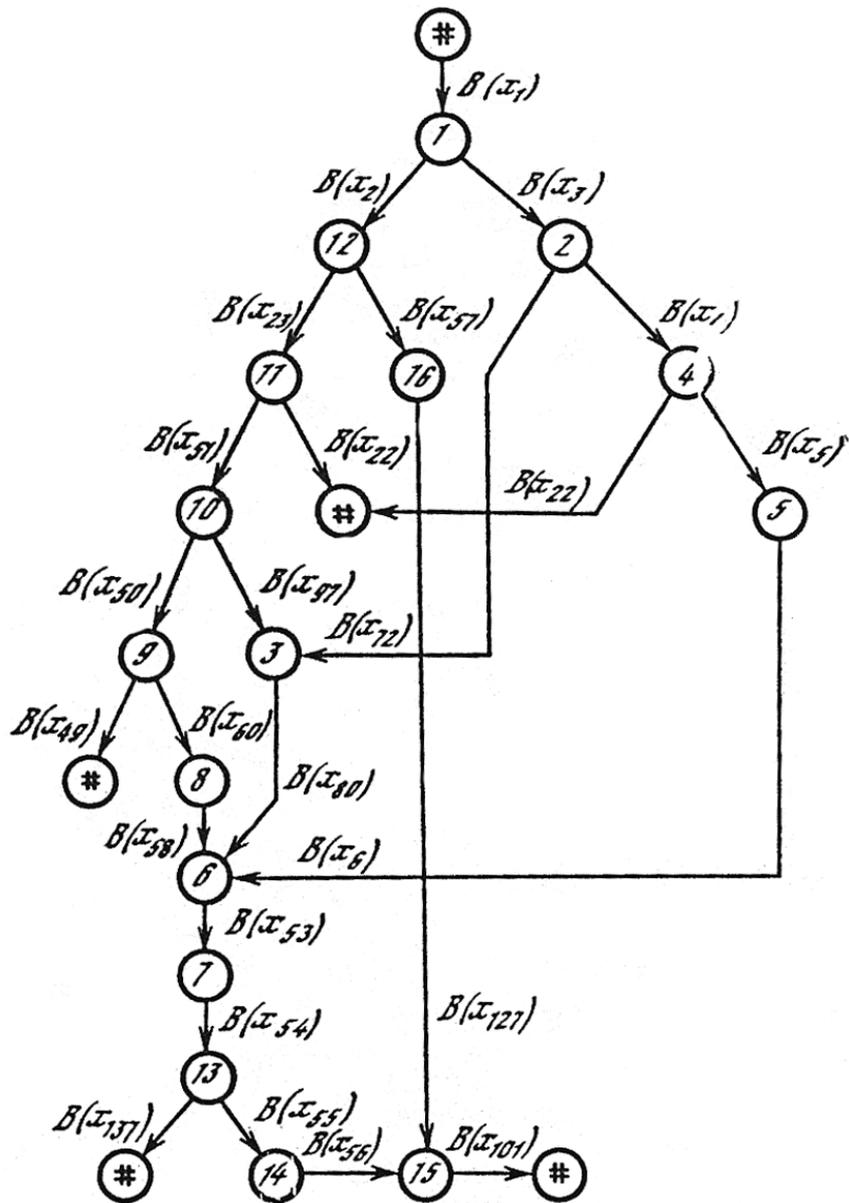


Рис. 1.5. Дерево вывода

Вывод, представленный на рис. 1.5, показывает, что условие $B(x'_{49}, x^{t+1}_{49}) \in G$ относительно переменной x_{49} было достигнуто практически в начальный момент вычислений. По условиям $Q(x^t_{137}, x^{t+1}_{137})$ из G условия не были выполнены и 3 варианта могут быть использованы для прохождения оператора 13.

- а) с сохранением значения u_5 .
- б) Благодаря уменьшению значения u_5 .

в) Делая увеличение на величину u_5 .

В результате получилось следующее решение:

$$R = B(u_4^t, u_4^{t+1})B(u_{10}^t, u_{10}^{t+1}) \vee B(u_4^t, u_4^{t+1})Q(u_5^t, u_5^{t+1}) \vee B(u_5^t, u_5^{t+1})B(u_{10}^t, u_{10}^{t+1}) \quad (1.19)$$

Таким образом, полученная процедура, основанная на выводе, дает возможность производить расчет переменных сетей в два этапа. Задача поиска допустимых значений векторов информации и управления является крайне важной для первого этапа. При этом необходимо помнить, что можно изменять значения переменных модели представления знаний, правила логического вывода, управляющие воздействия, причем соответствующее лицо принимающее решения может это делать на любом шаге работы программы. Такая итерационная процедура позволяет с высокой точностью получить тот диапазон переменных, которые необходимы для заданной точности откликов. Однако, это серьезно повышает требования к определению критерия эффективности заданной целевой функции.

К сожалению, представленная модель информационной поддержки принятия решений на основе логики предикатов не может быть применима для задач синтеза и управления сложными организационными системами, т.к. зачастую определить значения предикатов не представляется возможным, а взаимодействие со стейкхолдерами вообще трудно реализуемо.

1.3. Концепция цифрового двойника для управления сложными организационными системами образовательного характера

Последнее десятилетие все больше ученых в области управления и обработки данных используют термин "цифровой двойник" (ЦД).

На сегодняшний день еще не сложилась практика использования технологии цифровых двойников в образовательном процессе, мало того даже стан-

дарта раскрывающего сам термин еще не существует (на данный момент ведётся разработка стандарта ISO 23247 "Digital Twin Framework for manufacturing" [46]). Под брендом "Цифровой двойник" как правило определен набор цифровых моделей исследуемого объекта, которые используются для моделирования или прогнозирования поведения объекта в будущем [46].

Тем не менее можно выделить общие свойства для его описания [46]:

- 1) выполнять роль виртуального «представителя» объекта, который может быть использован при планировании и моделировании;
- 2) Обеспечивать непрерывную синхронизацию своего состояния с реальным объектом, при этом поддерживая его состояние стабильным.
- 3) По отношению к объекту [46] необходимо обеспечить автономную работу.

Таким образом можно сказать, что **цифровой двойник** – цифровое описание исследуемого объекта или системы имитирующее динамику его поведения в заданном пространстве на любом этапе жизненного цикла.

Для описания динамики поведения ЦД возможно применение разнообразного аппарата: машинного обучения, имитационного моделирования, логического вывода и т.д. отдельно, ансамблево либо в произвольном сочетании. Исследуя ЦД реального объекта или системы мы можем ответить на вопрос о тенденциях, классификациях и т.д., когда в жизни исследовать сложно либо невозможно.

Следовательно, имея под рукой ЦД мы можем имитировать поведение систем и принимать решения имея наработанный опыт [46].

Зачастую при создании ЦД не ставят перед собой цель полного описания всех действий и процессов, которые происходят на его начальных этапах развития. Более точное и полное описание того или иного аспекта физического объекта, процесса или явления возможно получить только с помощью ЦД. Он предназначен для выполнения конкретных заданий, при этом он может посте-

пенно увеличивать сложность моделируемых объектов и тем самым способствует углублению знаний о предмете в процессе их использования [46].

Данная концепция была создана в результате объединения различных видов измерений, вычислительных, коммуникационных и управляющих возможностей, что привело к созданию концепции ЦД объекта управления киберфизических систем (КФС) с компьютерными моделями [46].

В настоящее время, ЦД, которые создаются на базе КФС, являются наиболее распространенными в современных промышленных системах. Они используются для создания новых типов систем Industry 4.0, которые включают в себя датчики, вычислительные, коммуникационные и управляющие компоненты, средства сетевых взаимодействий и исполнительные механизмы, а также компьютерные модели объектов [46].

В качестве примера можно привести рис. 1.6, на котором представлена базовая архитектура КФС (структурной функциональной структуры) [46].



Рис. 1.6. Архитектура типовой КФС [46]

Поскольку основная задача ЦД заключается в возможности принятия решений в реальном времени, то его роль в обучение должностных лиц сложно

переосмыслить. Фактически появление ЦД ставит вопрос о целесообразности таких привычных инструментов как: тренажеры, автоматизированные обучающие системы и многие другие, т.к. теперь появилась возможность анализа и оценки любых изменений, происходящих в любой точке жизненного цикла продукта, системы или организации [46].

Далее рассмотрим, как реализуется концепция "цифровых двойников" в системе высшего образования. Как компьютерный аналог какого-либо объекта реального мира, можно определить цифровой двойник (далее - ЦД). Такой объект может быть представлен как вся организация в целом, так и отдельные бизнес-процессы или технологический процесс.

При более точной идентификации цифрового двойника в компьютерной среде, он становится больше похожим на своего реального прототипа.

При рассмотрении наиболее важных, интересных и значимых в контексте изменения образовательной реальности РФ первой половины XXI в., следует отметить появление новой модификации - *сетевой образовательной реальности*. Фактически, мы говорим о наступлении эпохи тотальной сетевой интеграции, которая включает в себя объединение всех трёх взаимосвязанных и взаимозависимых систем: мира людей, мира технологий и мира природы.

Содержание образования в ближайшем будущем будет заключаться в решении обществом и образованием задач по синхронизации, цифровому преобразованию и репликации информации обо всех объектах, а также о взаимосвязях, свойствах, отношениях и характеристиках виртуального, реального и социального мира. В полной мере это относится к задачам социального и технологического прогресса, которые будут решаться в процессе перехода общества и образования на качественно новый уровень - интеграционный, глобальный и трансграничный. Реальные объекты, системы функций и их копии в виртуальном мире являются цифровыми копиями реальных вещей. Они точно воспроизводят все действия, которые происходят с их физическими аналогами. И в результате появляется возможность получить максимально полную информацию

обо всех аспектах деятельности оборудования, "умных" продуктов, производства в целом.

Ученые считают, что «в ближайшем будущем будет актуальной задача по синхронизации и цифровой репликации информации обо всех объектах» [6]. Идея цифрового воспроизведения в педагогической деятельности становится и самостоятельной, и популярной, т.к. широкое внедрение концепции цифрового двойника в образовательный процесс является перспективой ближайшего будущего.

Однако введено понятие «цифрового двойника» было в 2003 году.

На сегодняшний день, использование «цифрового двойника» возможно не только в промышленности и обучении студентов в вузах, но и в других сферах деятельности (рис. 1.6).

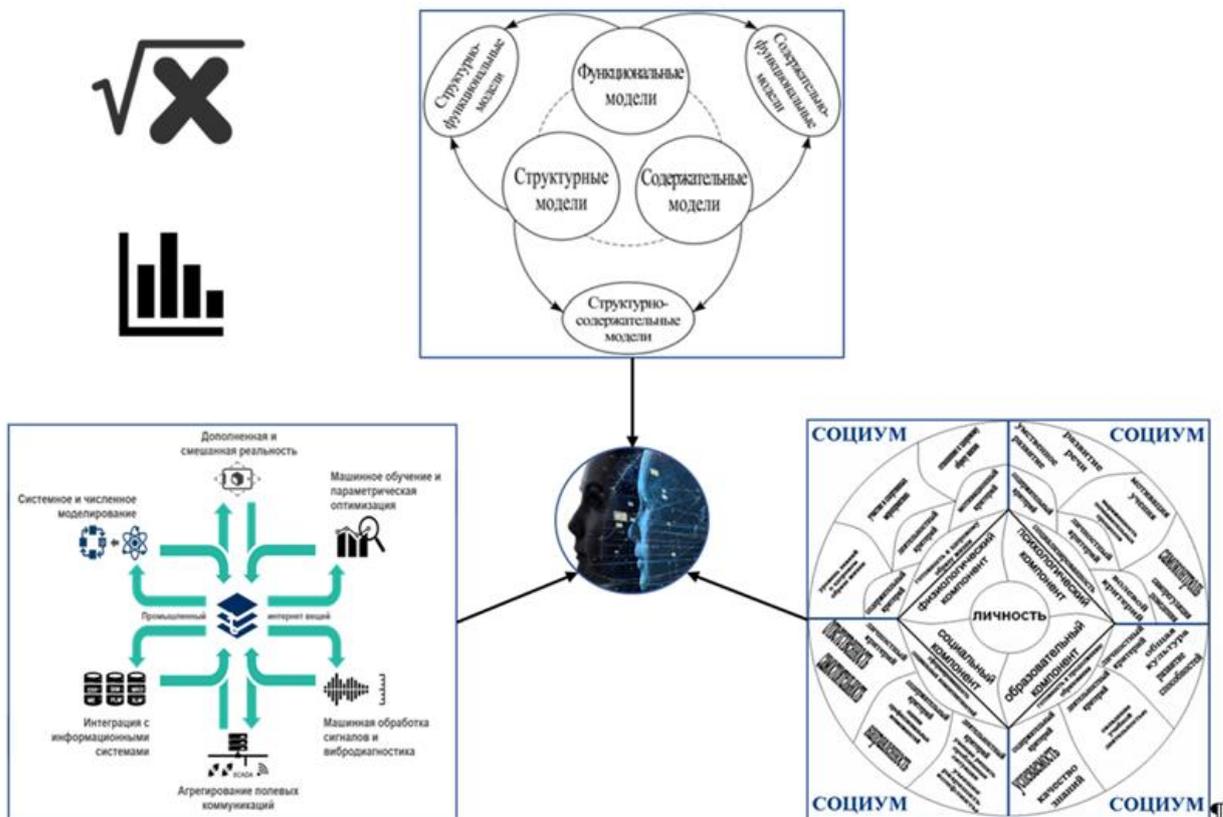


Рис. 1.6. Структура цифрового двойника образовательной модели.

Возникает необходимость в определении того, какие именно виды «цифрового двойника» могут быть использованы и возникать в образовательных целях.

В настоящее время многие эксперты считают, что создание «цифрового двойника» в образовании является одним из наиболее перспективных направлений деятельности.

Она заключается в разработке и внедрении "цифровых копий" таких взаимосвязей, как: взаимодействие обучающихся с преподавателем, организация учебного процесса, различные виды деятельности в научно-образовательных учреждениях.

Концепция цифрового двойника позволит перестроить учебный процесс на совершенно новой основе: в частности привлечение индустриальных 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. 1.7),



Рис. 1.7. Работа вуза с запросами индустриального партнера.

а также закрепить получение новых знаний и мотивировать их дальнейшее обучение, однако данная концепция на сегодняшний день не применялась для управления образовательным процессом в вузах при условии создания цифрового двойника выпускника конкретной специальности.

1.4. Выводы первой главы

1. 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. Варианты отыскания областей «общего блага» также неэффективны, т.к. интересы участников нежесткой организационной системы имеют вектора разной направленности.

2. При автоматном варианте работы сложной организационной системы большинство моделей полученной системы массового обслуживания сводятся к блокировке каналов обслуживания при изменении характера поступающих транзактов, что в условиях необходимости формирования гибких комбинированных структур недопустимо.

3. Регулируемые параметры, которые влияют на эффективность работы организационной системы, являются детерминированными функциями, которые определяют показатель эффективности ее работы, при этом характер изменения целевой функции системы может носить накопительный непрерывный характер.

4. Модель информационной поддержки принятия решений на основе логики предикатов не может быть применима для задач синтеза и управления сложными организационными системами, т.к. зачастую определить значения предикатов не представляется возможным, а взаимодействие со стейкхолдерами вообще трудно реализуемо. Так внедрение передовых инженерных школ по-

ставило перед вузами вопросы коренных изменений подходов к логике управления на всех уровнях (рис. 1.8).



Рис. 1.8 Пример концепции управления передовой инженерной школой ВГТУ.

5. Технологии цифрового двойника в обучении студентов вузов являются перспективным направлением развития образования в целом и, изучив более подробно технологию "Цифровой двойник", вузы смогут повысить эффективность подготовки студентов, а также закрепить получение новых знаний и мотивировать их дальнейшее обучение, однако данная концепция на сегодняшний день не применяется для управления образовательным процессом в вузах при условии со-здания цифрового двойника выпускника конкретной специальности.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РЕДИЗАЙНА СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

2.1. Модель анализа состояний редизайна систем управления образовательной деятельностью

Схема парных сравнений может быть использована в качестве примера 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 [43]:

$$C^k = \|c_{ik}^k\|, \quad k = \overline{1, m}, \quad i, j = \overline{1, n}$$

где: m - количество экспертов (стейкхолдеры образовательного процесса),
 n - количество модулей знаний, навыков и умений, которые в соответствии с профессиональными стандартами и требованиями стейкхолдеров формирует вуз на основе индивидуальных образовательных траекторий;
 $c_{ii}^k = 1$ коэффициенты матрицы попарных сравнений если k -й эксперт предпочел i -й модуль j -му, и $c_{ii}^k = 0$ в противном случае.

Опрос экспертов может проводиться как анонимно, так и методами мозгового штурма, чтобы они не выбирали в качестве модулей все пары имеющихся вариантов реализации образовательных программ [41]. Поэтому далее целесообразно использовать матрицу предпочтений пары модулей программы: $D^k = \|d_{ij}^k\|$ $d_{ij}^k = 1$, если k -й эксперт высказал предпочтение о паре модулей (i, j) и $d_{ij}^k = 0$ в противном случае. При этом необходимо учесть, что рассматриваемые матрицы D и K симметричны [43].

Для проведения статистического анализа парных сравнений будем применять матрицы частот парных сопоставлений, которые являются исходными данными для анализа и могут быть относительно легко получены [43]:

$$A = \|a_{ij}\| = \sum_k C^k \text{ и матриц } M = \|m_{ij}\| = \sum_k D^k$$

где: $a_{ij} = m_{ij} - a_{ji}$ - число предпочтений i -го модуля j -му из сравнений.

В результате применения такого способа исследования системы управления снимается вопрос субъективизма в экспертной оценке, а в процессе дальнейшего изучения объектов и мнений участников опроса, они должны учитывать мнения всех участников, т.е. работает принцип большинства [12, 20, 43].

Для того чтобы интерпретировать результаты матриц парных сравнений, в статистических методах используется стандартный подход. Он заключается в создании вероятностной модели парного сравнения, в которой модули для формирования компетенций обучаемыми определяются векторами числовых параметров $\bar{V}_i, i = \overline{1, n}$ [18, 43].

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 π_{ij} как функция параметра \bar{V}_i, \bar{V}_j или же дополнительных параметров исследуемой модели. В настоящее время, в качестве оценки «истинных» вероятностей для π_{ij} чаще всего используются относительные частоты парных сравнений $p_{ij} = a_{ij} / m_{ij}$ [2, 30, 43].

Модели также могут предоставлять и другие варианты оценки для данного значения.

Представленная задача является частью общей статистической задачи парных сравнений. Она заключается в разработке способа оценки параметров вектора \bar{V}_i и метода сравнения, который позволяет определить согласие модели p_{ij} с исходными данными π_{ij} .

В случае, когда векторы имеют по одной составляющей, говорят о многомерных моделях парных сравнительных сопоставлений \bar{V}_i, \bar{V}_j .

Модели вероятностно-статистических парных сопоставлений, которые используются во всем их многообразии, основаны на идее, которая объединяет их из теории ошибок, теории обнаружения сигналов [43].

В соответствии с этой концепцией, каждый модуль будущего цифрового двойника обладает своим значением в определенной единице измерения (как правило, это квалитетическая шкала нормированного характера). С учетом высокого субъективизма и несовершенства механизмов измерения на некоторых этапах ответов будут фиксироваться ошибки [43, 68].

$$V_i^* = V_i + \varepsilon \quad (2.1)$$

где ε — некоторая случайная величина с плотностью вероятности f и математическим ожиданием, стремящимся к нулю (для формирования максимального значения дисперсии вдоль шкалы оценки).

Примером более общего случая является формула (2.1), которая предполагает независимость распределения перцептивных ошибок от экспертов и интерпретации модулей формирования компетенций. В то же время, представленное ограничение не оказывает никакого существенного влияния на дальнейшие действия, что значительно облегчает процесс исследования [43].

В качестве двух объектов, которые были предъявлены эксперту, можно рассмотреть модули формирования компетенций для цифрового двойника с параметрами V_i и V_j при этом воспринятые значения:

$$V_i^* = V_i + \varepsilon' \quad \text{и} \quad V_j^* = V_j + \varepsilon''$$

Данные модели описывают события с использованием методов математической статистики. Например, событие ($i - m$) можно описать как неравенство [43]:

$$V_i^* > V_j^* \quad \text{или} \quad V_i + \varepsilon' > V_j + \varepsilon'' .$$

В результате, можно выделить две независимые реализации случайной величины ε' ε'' . В этих моделях случайность является причиной различий в суждениях экспертов об одной и той же паре модулей. В случае, если существ-

вует случайная величина, можно ввести вероятность $P(i > j)$ предпочтения i -го модуля j -му.

$$P(i \rightarrow j) = P\{V_i + \varepsilon' > V_j + \varepsilon''\} \quad (2.2)$$

При этом будем считать, что функция распределения плотности f является унимодальной и симметричной. Происхождение этой вероятности иллюстрируется рис. 2.1, из которого видно, что, несмотря на то, что $V_i < V_j$, ошибки в восприятии могут привести [43] к тому, что V_i^* превзойдет V_j^* на величину

$$\left| \frac{1}{2} - P(i \rightarrow j) \right|.$$

Таким образом, получаем следующее выражение:

$$\pi_{ij} = P(i \rightarrow j) = F(V_i - V_j) \quad (2.3)$$

где F — плотность распределения случайной величины.

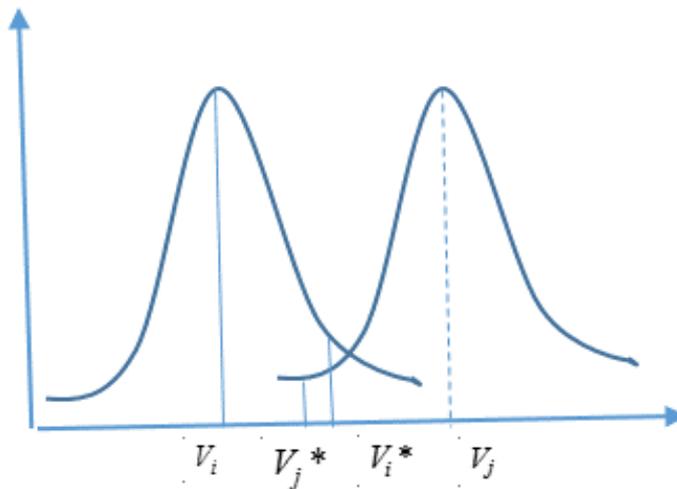


Рис. 2.1. Функция распределения плотности вероятности $P(i > j)$ при предпочтении i -го объекта j -му.

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 (при стандартных допущениях о независимости всех реализаций парных сравнений, [43]):

$$L = C \prod_{1 \leq i < j \leq n} \pi_{ij}^{a_{ij}} \pi_{ji}^{m_{ij} - a_{ij}} \quad (2.4)$$

где C — константа, не зависящая от V .

Обычно максимизируют $I_n L$, решая систему

$$\frac{\partial \ln L}{\partial V_i} = 0, \quad i = \overline{1, n} \quad (2.5)$$

Легко видеть, что

$$\frac{\partial \ln L}{\partial V_i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\pi_{ij}} \frac{\partial}{\partial V_i} \pi_{ij} + \frac{a_{ij}}{\pi_{ji}} \quad (2.6)$$

Модели (2.2, 2.3) и (2.4) являются частными случаями одной и той же логистической функции распределения [18], которая называется F -функцией Брэдли - Терри – Льюиса [20, 43]:

$$F(x, V_i, V_j) = \left\{ 1 + e^{-[x - (v_i - v_j)]} \right\} \quad (2.7)$$

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

Для преобразования выражения (2.7) перейдем к мультипликативной шкале $z = \varepsilon$:

$$\pi_{ij} = \frac{z_i}{z_i + z_j}, \quad 1 \leq i < j \leq n \quad (2.8)$$

В результате, можно будет использовать [7] более простое выражение для производной $I_n L$ (2.6):

$$\frac{\partial \ln L}{\partial z_i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{z_i} - \frac{m_{ij}}{z_i + z_j} \quad (2.9)$$

На основании выражения (2.9) получаем:

$$z_i^{(t)} = n_i \left[\sum_{j=1}^n \frac{m_{ij}}{z_j^{(t-1)}} \right] \quad (2.10)$$

где верхний индекс в скобках - номер итерации [43].

Ввиду того, что значения $z_i^{(t)}$ соотношений (2.8) имеют точность до положительного коэффициента, они должны иметь дополнительное ограничение вида:

$$\sum_{i=1}^n z_i = 1$$

По завершении процесса (2.10), в результате которого образуются шкалы и их комбинации $z_i^{(t)}$ с помощью формулы (2.8) вероятности, можно провести проверку на соответствие исходных данных и полученных результатов [43].

$$X^2 = \sum_{1 \leq i < j \leq n} \frac{(a_{ij} - m_{ij}\pi_{ij})^2}{m_{ij}\pi_{ij}} \quad (2.11)$$

с $n(n-1)/2 - n + 1$ степенями свободы.

Для того чтобы провести сравнение моделей данного класса, необходимо отметить два важных свойства.

Показатели (2.10) имеют монотонную структуру, что является следствием их оценки. По сути, объект становится лучше при условии, что его предпочтение было замечено другими, что неудивительно.

Величины $|V_i - V_j|$ и $\left| \frac{1}{2} - \pi_{ij} \right|$ монотонны, т.е. чем более похожи объекты, тем легче их перепутать, что серьезно затрудняет объективность оценки и повышает фактор ошибок [43].

В целях дальнейшего удобства рассмотрения, мы называем те модели классов, которые были описаны ранее, - "моделями ошибок", а те, которые передаются в процессе описания, - "моделью различий".

При помощи моделей ошибок можно найти объяснение различий в предпочтениях и восприятии, основываясь на допущении о вероятности восприятия (предсказания). В этой модели восприятие базируется на различиях в предпочтениях и параметрах объектов, а также на характеристиках, которые определены субъектом и объектом [43].

В точности так же, как и ранее, объекты, участвующие в рассматриваемой модели, описываются некоторой одномерной шкалой с фиксированными (истинными) значениями V_j, \dots, V_n . Предположим, что если каждый эксперт (стейкхолдер) при опросе имеет свое собственное мнение об идеальном для него варианте формирования цифрового двойника профессии, то тогда напрашивается вывод о том, что у них уже имеется суждение о его идеальном варианте [43].

По более общему представлению, 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. Тогда каждый эксперт будет формировать матрицу X его идеального объекта [43].

В этом случае правила предпочтения будут выглядеть следующим образом [43]:

$$(i \rightarrow j) \Leftrightarrow |X_s - V_i| < |X_s - V_j| \quad (2.12)$$

Поэтому эксперт обладающий эталоном (цифровым двойником) X , из двух объектов V_i и V_j , выберет тот который имеет минимальную дисперсию отклонения от него [20]. Из-за различий в X , у разных экспертов могут быть разные предпочтения при фиксированных V_i и V_j [43].

Предположим далее, что координата X идеальных объектов есть произвольная величина, зависящая от распределения F , которое имеет плотность f , отличную от нуля [43]. При этом вероятность принятия решения о выборе $P(i \sim j)$ является не чем иным, как вероятностью возникновения соответствующего события [43].

$$\pi_{ij} = P(i \rightarrow j) = \int_{|X+V_i| < |X+V_j|} dF \quad (2.13)$$

Тогда:

$$\pi_{ij} = F\left[\frac{v_i + V_j}{2} \text{sign}(V_j - V_i)\right] \quad (2.14)$$

При рассмотрении данного случая, следует отметить, что функция распределения F имеет совершенно другое значение. В моделировании ошибок F являлся функцией распределения ошибок, и в ходе эксперимента испытуемые использовали пример такого распределения ошибок [11, 43]. На данный момент, в разностной модели, F является функцией распределения координат идеальных точек (мнения участников) и в ходе эксперимента участники используют пример из этого "распределения мнений" [43].

Исходя из того факта, что рассматривается сравнение двух классов моделей, логично предположить, что F является функцией логистического распределения и переходит к мультипликативной шкале, как это было описано ранее, но при этом она продвигается по другой схеме [43]:

$$z_i = e^{\frac{v_i}{2}}$$

Следовательно, справедливо выражение:

$$\pi_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1 + z_i z_j}, \\ \frac{z_i z_j}{1 + z_i z_j}, \end{cases} \quad (2.15)$$

Если формулы (2.14) - (2.15) для оценки вероятности максимального результата записываются в общем случае, применяя их для (2.16), мы получаем систему уравнений, которая имеет те же самые предположения о независимости получаемых результатов [43]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z_i} \ln L = & - \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} z_j}{1 + z_i z_j} + \frac{1}{z_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} + \\ & + \frac{1}{z_i} \sum_{z_i < z_j} \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} - \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} = 0; i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Уравнения (2.16) можно записать в более компактном виде, применяя (2.15):

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z_i} \ln L = & - \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} z_j}{1 + z_i z_j} + \frac{1}{z_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} + \\ & + \frac{1}{z_i} \sum_{i < j}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} - \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} = 0; i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Тогда используя (2.17) получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z_i} \ln L = & - \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} z_j}{1 + z_i z_j} + \frac{1}{z_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} + \\ & + \frac{1}{z_i} \sum_{i < j}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} - \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} = 0; i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Приведенный здесь верхний индекс в скобках означает номер итерации $\pi^{(t-1)}_{ij}$, который можно вычислить с помощью формулы (2.15).

Далее мы вернёмся к рассмотрению некоторых особенностей предлагаемой модели. В результате, исходя из формулы (2.14), можно сделать вывод о том, что расположение V ближе к центру распределения F предпочтительнее, чем если $\overline{V}_i, \overline{V}_j$ оно расположено симметрично относительно центра. Ясно, что значение не зависит от размера [43].

Существует несколько свойств, которые можно использовать в случае логистического распределения случайной величины [43].

1. Объект имеет обратную пропорциональность своей величине, что означает, что он лучше представляет собой среднее мнение экспертов [43].

2. В результате, между ними не наблюдается непрерывности. Это означает, что модели ошибок и модели различий имеют принципиально различные свойства. В результате, процесс исключения ошибок завершается неудачей. По правде говоря, это напрямую связано с различием в предположениях относительно природы различий в предпочтениях [43].

3. В модели ошибок значение Z определяется уравнениями (2.8) перед положительным умножением, а значения V определяются после аддитивной константы. В той же разностной модели уравнения (2.14) и (2.15) определяют

значения V_j , используя точность умножения на -1, а также с помощью уравнений (2.15) можно определить значения r_d . Данные два преобразования $z_i^{(t)} = n_i [\sum_{j=1}^{m_{ij}} \frac{m_{ij}}{z^{(t-1)}}]$ приводят к изменению порядка значений объектов [43].

При этом следует отметить тот факт, что в многообразной модели направление, при котором объекты становятся более ценными или "эффективными", не может быть дифференцировано по оси шкалы измерения. Имеется возможность согласования с первоначальным предположением о том, что у экспертов могут быть различные точки зрения. Для получения информации о значениях z или V , которые нам необходимы для оценки, требуется иметь информацию о взаимном расположении точек на шкале и их положении относительно «средней точки зрения» [43].

В основе процедуры оценивания параметров z лежат итерационные уравнения (2.18). Их форма не позволяет нам получить какие-либо аналитические свойства, которые бы подтверждали соответствие или сходимость уравнений. Проведя исследование с помощью тестов на восстановление, которые были описаны в [20], можно подтвердить эффективность разрабатываемых процедур. Для этого был выбран следующий способ [43].

- По случайному варианту, было создано n точек с координатами V_j, \dots, V_n [43].

- После чего, было произведено m логистических распределенных чисел X_1, \dots, X_n , которые использовались для формирования матрицы I_1, \dots, I_n по правилу (2.12) [43].

- Та матрица, которая подверглась обработке проверяемой процедурой, получила на выходе матрицу и координаты восстановления конфигурации V_j, \dots, V_n . Для оценки качества восстановления, в соответствии с формулой (2.11) были взяты статистические данные критерия согласия Стьюдента - χ^2 и коэффициент линейной корреляции r_d [43].

- В случае, если значения фиксированы, такое тестирование проводилось не менее k раз [43].

В начале мы использовали только уравнение (2.18), которое было основано на первой процедуре, что обусловило выбор случайным образом первой конфигурации. Интересное свойство было найдено в рекурсивных уравнениях (2.18). На протяжении всего шага, уравнения имели два разных решения. Однако различия между ними не объяснялись симметрией, которая является следствием третьего свойства. Это решение является более сложным и имеет мало общего с V [43].

Процесс, реализованный с помощью вычислений, показал свою эффективность: два шага выполняются в соответствии с рекурсивными уравнениями, при этом происходит сравнение двух соседних решений и формируется начальное приближение для следующего шага. Полученный результат является исходным приближением для следующего шага, а его среднее значение является началом для следующего шага. Поэтому, вычислительный процесс был завершен очень быстро. Несмотря на это, для разных объектов сравнения результаты восстановления были либо отменены, так как имели существенные ошибки. На основе результатов тестирования можно сделать вывод о том, что рандомизированный подход дал хорошие результаты в прогнозировании фактического порядка (или наоборот) точек V . Это близко к тому, что было показано в ходе анализа тестов [43].

В связи с этим возник вопрос о возможности проведения оценки решения, основываясь на средних значениях для первого этапа процедуры [43].

Используем (2.14).

Пусть $c_{ij} = -2F^{-1}(\pi_{ij})$.

В таком случае, сформулируем следующую **теорему 2.1**.

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 [43].

Из этого следует, что мы получим:

$$V_1, \dots, V_n$$

$$a_{ij} = V_i + V_j, 1 \leq i < j \leq n \quad (2.19)$$

которую возможно решить в качестве задачи [43]:

$$(a_{ij} - V_i - V_j)^2 \rightarrow \min \quad (2.20)$$

Легко показать, что задача 2.19 и (2.20) может быть решена при помощи следующей формулы [43]:

$$V_i = (b_i - \frac{A}{n-1}) / (n-2) \quad \text{где} \quad b_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n a_{ij}, \quad A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i$$

По итогу нам удалось получить процедуру, состоящую из двух этапов. После завершения первого этапа, их значений оцениваются согласно тому, что описано ранее. Средняя процедура, которая применялась к результатам, была основана на рекурсивном процессе (2.18), который был получен из уравнений максимальной вероятности [43].

В табл. 2.1 приведены результаты тестирования описанной процедуры для $n = 5$, $m = 100$ и десяти тестов [43].

Для сравнения, рассмотрим 1- и 5%-ные точки для модели различий. Для получения данных о соотношении степеней свободы, можно воспользоваться формулой: $n(n-1)/2 - n$ (последние значения взяты из [20] для определения коэффициента линейной корреляции между межточечными расстояниями в независимых, нормально распределенных конфигурациях): $\chi^2_{01}(5) = 15.086$, $\chi^2_{05}(5) = 11.070$, $r_d^2 = 0.845$, $\chi^2_3(5) = 0.614$. Как видно, восстановление в большинстве случаев является достаточно убедительным [43].

Таблица 2.1. Результаты тестирования процедуры для $n = 5$, $m = 100$ и десяти тестов

№ теста	χ^2	r_D
1	2.09	0,680
2	0.18	0.898
3	3.41	0.691
4	4.56	0.883
5	18.64	0.412
6	0.99	0.879
7	2.01	0.901
8	42.33	0.202
9	1.19	0.365
10	8.54	0.512

Если повысить качество процедуры предоценки, можно значительно улучшить его. Данная программа провела аналогичную обработку двух классических экспериментов, которые ранее подвергались многократному анализу с помощью методов, основанных на модели ошибок [43].

Согласно результатам исследования, была создана экспертная модель, которая позволяет создать цифровую версию своей профессии. Она будет отражать актуальные для работодателей данные и их значения с помощью цифровой модели [31, 43].

Рассмотрим процесс дискретного распределения неизвестного числа агентов, которые выполняют задачи по согласованию и анализу модели цифрового двойника. С учетом этого можно сказать, что рассматриваемая организационная система представляет собой Марковскую систему 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 [1, 27, 43].

Для решения задачи необходимо определить количество и тип фазовых состояний агентов системы, а также общее количество агентов, которые необ-

ходимы для минимизации результатов табл. 2.1. 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** [4, 101] может быть степень отклонения от данного условия (при допущении о гауссовом распределении фазового вектора).

Таким образом, 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.

2.2. Многокритериальная модель планирования для оценки качества процессов редизайна системы управления образовательной деятельностью

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 [41, 62].

Тогда для каждого i управленческого решения существует два набора числовых значения: D_i и S_i (табл. 2.2) [3].

Подобные решения желательно ранжировать по самым простым правилам монотонного возрастания, представленным ниже [3, 10]:

$$D_{i+1} > D_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (2.21)$$

$$S_{i+1} > S_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (2.22)$$

Таблица 2.2. Числовые характеристики эффективных по Парето решений

i	D_i	S_i	$\overline{\mu}_i$	$\underline{\mu}_i$
1 (a)	2	10	∞	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

Определение 2.1. 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 μ_i , из множества.

$$D_i + \mu_i S_i \geq D_r + \mu_r S_r, \quad i=1,2,\dots,n. \quad (2.23)$$

Теорема 2.2. Решение i является эффективным, оно будет иметь место только в том случае, если будет выполнено условие:

$$\underline{\mu}_i \leq \mu_i \leq \overline{\mu}_i \quad (2.24)$$

где:

$$\overline{\mu}_1 = \infty, \quad (2.25)$$

$$\overline{\mu}_i = \min_{i' < i} \frac{D_i - D_{i'}}{S_{i'} - S_i}, \quad i = 2,3,\dots,n, \quad (2.26)$$

$$\underline{\mu}_i = \max_{i' > i} \frac{D_{i'} - D_i}{S_i - S_{i'}}, \quad i = 1,2,\dots,n-1, \quad (2.27)$$

$$\underline{\mu}_n = 0. \quad (2.28)$$

На основании формул (2.26) - (2.27) можно довольно точно рассчитать множители $\bar{\mu}_i$ и $\underline{\mu}_i$ [3].

Для пояснения смысла множителей рассмотрим геометрическую интерпретацию аддитивной эффективности полученных решений. Например, решение считается эффективным по Парето только в том случае, если оно попадает в выпуклую область исследуемого множества [3].

На рис. 2.2 рассматриваются варианты значений исследуемых решений из табл. 2.2, представленные объектами a, b, c, d, e, f , которые имеют выпуклую оболочку в виде многоугольника $feab$ [3]. В многоугольнике есть такое понятие как ломанная fea , которая представляет собой совокупность объектов, которые упорядочены по Парето. Они (a, e и f) являются аддитивно эффективными в том случае, если они имеют варианты 1, 5 и 6.

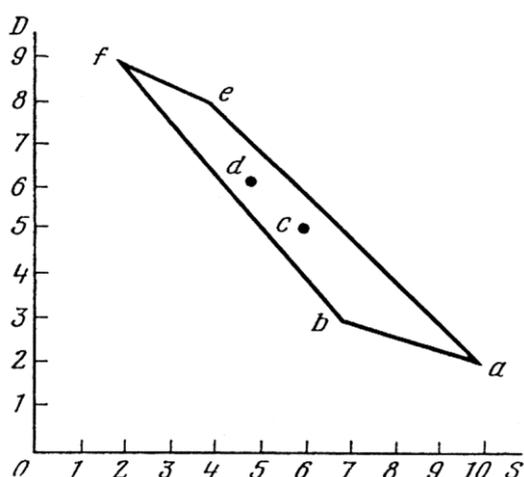


Рис. 2.2. Интерпретация геометрического смысла понятия аддитивной эффективности по Парето.

Необходимо отметить, что в указанной выпуклой области для отрезков ea и fe формируются собственные уравнения, которые определяются следующим образом [3]:

$$D=12-S \text{ и } D=10-0,5S.$$

Таким образом можно сформулировать следующее правило эффективно-го по Парето решения:

- сумма типа $D_i + \mu_i S_i$ определяет точки пересечения соответствующих прямых с осью ординат,
- отрицательные значения μ_i определяют тангенс угла, который они образуют с осью абсцисс [3].

Данная процедура представляет собой метод обобщенного критерия [62], который является разновидностью предложенной процедуры.

С учетом рассмотренного случая, данный метод заключается в построении функции $F = f(D, S)$, которая называется обобщенным критерием. В то же время некоторые считают, что из двух вариантов более предпочтительным является тот, который имеет больше значения для него [35, 69]. Полагают, что решение с максимальным значением F является наиболее оптимальным можно представить в виде:

$$F = \alpha D + \beta S, \quad (2.29)$$

где α и β — целочисленные константы.

Коэффициенты важности и весомости α и β — это числовые значения, которые показывают важность или значимость определенных критериев эффективности. Например, при сравнении двух показателей: (2.29) и (2.23), можно отметить разницу между значениями коэффициента весомости нормированного критерия и второго критерия. В первом случае значение первого показателя принимают за единицу для всех вариантов, а второй показатель μ_i имеет определенную дифференциацию для каждого из i -х вариантов. Это стало основной отличительной особенностью предлагаемого способа, поскольку именно порядок расчета данных коэффициентов является его основной отличительной чертой [3, 42].

В действительности зачастую коэффициент весомости определяют путем сбора дополнительной информации или опроса экспертов. С помощью коэф-

коэффициентов μ_i можно рассчитать только те значения, которые основаны на информации, которая содержится в самых разнообразных решениях. Для каждого решения они дают представление о том, насколько возможно повысить (понижить) первый критерий, если второй станет ниже на единицу. При сравнении приращений, они выражают важность второго критерия через первый, используя сопоставление. Оно будет более верным [3].

Для оцениваемого i -го решения, полученные диапазоны значений $\underline{\mu}_i$ и $\overline{\mu}_i$ коэффициента приведения для образуют две величины: нижнюю и верхнюю.

- Из любого значения данного интервала решение будет эффективным независимо от конкретного значения коэффициента приведения.

- Если верхняя граница диапазона меньше нижней, то решение всегда будет проигрывать аддитивному независимо от значения коэффициента приведения из диапазона $[0, \infty]$ [3,41, 91].

Теперь сможем сформулировать новое правило.

Определение 2.2. Пусть $F_i = D_i + \mu_i S_i$ тогда можно утверждать [3], что решение i_0 :

а) лучше решения i_1 , $F_{i_0} \geq F_{i_1}$;

б) всегда лучше решения i_1 , если $F_{i_0} > F_{i_1}$

в) 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 $i+1$ [3]. Однако, при условии принятия решения i , оно оказывается предпочтительнее варианта $\mu_i > \mu_{i+1}$ с решением $i+1$. Как пример можно привести рис. 2.2, на котором наглядно показано, что решение 1 является предпочтительнее решения 5 при $\mu_1 = \mu_5 = 1$.

Для точек, которые находятся на конце отрезка, существует строгая геометрическая предпочтительность. Например, если решения будут отождествлены с внутренними точками отрезка, то они будут эквивалентны.

С помощью условий (2.21) и (2.22) можно задать различные траектории изменения значений компонентов μ_i [3]. Существует множество подобных тенденций, которые характерны для многих сфер науки и техники, а также образования в целом. Как пример можно привести проблему, которая касается выбора оптимального варианта инвестиций в бизнеса в образование с целью существенного повышения качества подготовки выпускников вузов. В последнее время образовался устойчивый тренд на активное участие бизнеса в подготовке специалистов. Однако в этой парадигме присутствуют барьеры, так неочевидны направления и усилия бизнеса в определении профиля выпускника, при этом в различных сферах экономики произошли масштабные изменения. В связи с этим классическая парадигма определения эффекта от инвестиций не работает, особенно в сфере подготовки специалистов ИТ отрасли. Поэтому задача состоит в выборе варианта, который будет иметь минимальные издержки на текущий и единовременный периоды. Трудности, однако же, заключаются в том, что существует обратная зависимость между текущими и единовременными затратами. Она заключается в том, собственно, что чем меньше затраты на текущие нужды, тем больше их объем на единовременные. Именно исходя из этого, естественным образом складывается совокупность вариантов. Каждый следующий вариант имеет меньше затрат на текущий период по сравнению с предыдущим вариантом, а также меньшие временные затраты в сравнении с предыдущим вариантом [3, 103].

По словам экспертов на данный момент задача оптимального выбора варианта инвестирования решается путем сопоставления эффективности вложенных средств и их стоимости [3]. основополагающим принципом для данного подхода является осуществления расчета показателей эффективности. Они

представляют собой отношение экономии на текущих затратах к дополнительной экономии по инвестициям [3].

Выборка альтернатив осуществляется следующим образом: варианты, которые занимают промежуточное положение на участке роста эффективности последовательных вложений, исключаются. Это происходит по причине того, что их эффективность уступает экстремальным вариантам при увеличении затрат [2,4]. В случае, если рассматривать данный подход с точки зрения Новожилова, то можно сделать вывод о том, что Это означает, что его показатели эффективности являются не чем иным, как показателями верхней границы. Существуют варианты, которые имеют высокую эффективность. Это так называемые аддитивно эффективные варианты [3].

В результате, это дает нам возможность воспользоваться естественным способом для объяснения значения коэффициентов μ_i и их обобщенного критерия F_i - как суммы затрат, которые были произведены при данном уровне эффективности μ_i .

Данная задача является хорошим примером для того, чтобы дать более полное представление о предлагаемом методе. Величины определяют цену единицы капитала, которая зависит от размера вложенных средств. По данным таблицы 2 можно сделать вывод о том, что чем больше организация располагает капитальными вложениями, тем они будут менее затратными.

Мы получили возможность дать естественную интерпретацию коэффициентов μ_i как показателей эффективности, а критерия F_i - как суммы затрат, которые были приведены при данном значении коэффициента эффективности μ_i [3].

Показана задача, которая имеет хорошую возможность для понимания сути предлагаемого подхода. Стоимость единицы капиталовложений является величиной μ_i , зависящей от размеров инвестиций. Таблица 2.3 показывает, что чем больше организация располагает вложениями, тем они становятся менее затратными.

По причине того, что каждый вариант имеет одинаковый результат, возникает задача нахождения варианта с наименьшими затратами при заданной стоимости инвестиций в научные и технологические разработки. Несмотря на это, более крупные инвестиции дают возможность разрабатывать более эффективные решения. Таким образом каждый следующий вариант более эффективен, чем предыдущий [41].

Следовательно, задача выбора эффективного планирования совместных инвестиций бизнеса и образования крайне актуальна (табл. 2.3) [3].

Таблица 2.3. Соотношение затрат и инвестиций в научно-технологические разработки вузов [3].

Первая последовательность				Вторая последовательность				Третья последовательность			
i	j			i	j			i	j		
	1	2	3		2	1	3		3	2	1
1	15	30	19	4	18	37	11	4	11	18	37
2	20	35	14	3	28	27	21	2	14	35	20
3	27	28	21	1	30	15	19	1	19	30	15
4	37	18	11	2	35	20	14	3	21	28	27

Функция инвестиционных вариантов сотрудничества монотонно возрастает, тогда на основании (2.26) – (2.27) коэффициенты μ_i уменьшаются также монотонно.

При такой постановке μ_i величины F_i есть суммарные затраты по вариантам (табл. 2.4) [3].

Многокритериальный метод оценки решений имеет четкую привязку к конкретной задаче, что позволяет использовать его для решения конкретных задач. Установлено, что все основные понятия - это эффективность, падающая и растущая эффективность, показатели эффективности - определены в соответ-

ствии с этой целью. Существует ряд проблем, которые могут возникнуть при использовании данного метода для оценки различных вариантов инвестиций, которые не дают одинакового результата. В виде это задача, которая имеет два критерия [3].

Таблица 2.4. Удельное снижение затрат в инвестиционные проекты [3].

i	j							$\overline{\mu}_i$	$\underline{\mu}_i$
	J_1		J_2						
	B	A	C	F	D	E			
d	2	0	4	0	2	0	∞	1,6	
b	3	0	3	0	1	1	1,0	4	
a	3	1	2	1	0	1	0	2,0	
c	3	3	2	0	0	0	1,0	0	
v_j	5	6	4	1	3	2	0 1,6 4	4,0 0 0,0 0	

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 $R_i = \{R_{ij}\}, \forall dei \in J$.

Вероятно, что множество Парето является множеством $R = \{R_i\}$.

Определение 2.3. 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 $i_1, i_2, \dots, i_l, \dots, i_n$.

$$\sum_{j \in J_1} v_j (R_{i+1,j} - R_{i,j}) > 0, \quad (2.30)$$

$$\sum_{j \in J_2} v_j (R_{i+1,j} - R_{i,j}) < 0, \quad (2.31)$$

$$J_1 \cap J_2 = \emptyset, \quad (2.32)$$

$$J_1 \cup J_2 = J. \quad (2.33)$$

Многокритериальная задача может быть сведена к двухкритериальной, если учесть очевидность того, что множество эффективных по Парето решений, возможно, привести [3]:

$$D_i = \sum_{j \in J_1} v_j R_{i,j}, \quad (2.34)$$

$$S_i = \sum_{j \in J_2} v_j R_{i,j}, \quad (2.35)$$

Теперь необходимо понять, можно ли получить любое множество решений планирования эффективных по Парето?

Для этого проанализируем результаты табл. 2.4.

Данные результаты представляют множество содержательных решений одного класса, при этом данный набор принадлежит и множеству Парето – решений. Набор является составной частью множества Парето. В то же время, как легко заметить, это множество не поддается рациональному объяснению. К примеру, если рассматривать в первой последовательности: $J_1 = \{1\}$, то можно увидеть следующую последовательность: $J_2 = \{2,3\}$. Если набор имеет значение (2.24), то условие (2.25) будет выполнено при любом конкретном значении v_j

из заданного множества. Следовательно, чтобы убедиться в истинности данного вывода сформируем систему неравенств [3].

$$5v_1 - 5v_2 < 0, \quad -7v_1 + 7v_2 < 0, \quad -10v_1 + 10v_2 < 0$$

Очевидно, что эта система несовместна.

Данная система не совместима с другими.

Основной проблемой при многокритериальных решениях является определение условий, в которых множеству Парето присваивается статус приводимого.

В любом случае на множестве показателей R существует хотя бы одна последовательность, которая имеет отношение к:

а) Благодаря этому критерию можно сделать вывод о том, что существует один показатель, для которого все приращения являются отрицательными. В том случае, когда приращение не превышает нуля, существует хотя бы один показатель, у которого это значение всегда положительное.

б) Для любого из показателей, которые имеют отрицательные приращения, существует один показатель, для которого все изменения не являются положительными. В том случае, когда приращение не превышает нуля, $\exists \mu_i \neq 0$, у которого $F_i < 0$.

Вы можете легко доказать, что в данном случае множество R будет иметь место.

Рассмотрим пример из [3] - «задача жюри».

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 а) и б). Так как это необходимо, его можно использовать. Из [4] были взяты значения.

Имеется ввиду, в соответствии с табл. 2.3, набор значений и множественные последовательности не являются единственными. Препятствуют оценке эффективности вариантов., несомненно, в результате их изменений. Если наборы будут отличаться друг от друга, то варианты, которые будут эффективны при одном варианте, могут быть неработоспособными при другом. Например, варианты d и c в табл. 2.4 являются аддитивно эффективными. Если ввести значение $v_j=1$ для всех j , то они будут эффективны; при этом если будет установлено значение $\mu=1$, то все варианты будут эквивалентны.

Принято считать, что ценность определенных критериев v_j является естественной предпосылкой для оценки этих величин. Если результаты оценки многокритериальных решений неоднозначны, следует обратить особое внимание на определение ценности критериев.

Первое – нужно учитывать особенности задачи и исходить из конкретных критериев. Так, например, при рассмотрении вопроса об эффективном выборе оптимального варианта инвестиций в случае рассмотренной нами задачи элементы из представляют собой результаты (продукты) и затраты (ресурсы). Это объясняется тем, что здесь величины сопоставляются с ценами. Важно отметить, что если критерии имеют ценность в равной степени, то их ценность следует принять равной единице.

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

2.3. Выводы второй главы

В результате синтеза моделей редизайна сложных организационных систем на основе концепции цифрового двойника получены следующие результаты:

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.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РЕДИЗАЙНА СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

3.1. Экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью

Модульные сети, в которых присутствует иерархическое смешение мнений экспертов, а также простое смешение, можно найти в [8]: нейронная сеть является модульной, если выполняемые ею вычисления можно распределить по нескольким подсистемам, которые обрабатывают различные входные сигналы и не пересекаются в своей работе. Сигналы, поступающие от данных подсистем, объединяются интегративным модулем, выход которого не имеет обратной связи с системой. На деле интегральный модуль принимает решение о том, как выходные сигналы отдельных подсистем объединяются в общий выходной сигнал системы, и определяет способы, которые могут служить примером для обучения модулей. Как сказано в [11, 61], модульная нейронная сеть [105] 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. 3.1 в виде иерархической модели. Она является расширением модели простого смешения мнений экспертов (*mixture of experts – ME*), которая представляет собой процесс объединения мнений нескольких экспертов. Является очевидным, что архитектура модели напоминает дерево, в котором ветви и листья являются частями системы шлюзов, а сами шлюзы представляют собой экспертов. Попадание информации в пространство входа разбивается на вложенные подпространства, и происходит ее объединение и перераспределение между экспертами. Все это происходит под управлением иерархических систем шлюзов, кото-

рые имеют четкую иерархию. С помощью рис. 3.1 можно увидеть, что модель состоит из двух слоев сетей шлюза (двух уровней иерархии). При использовании принципа "разделяй и властвуй" возможно создание модели, которая имеет множество уровней.

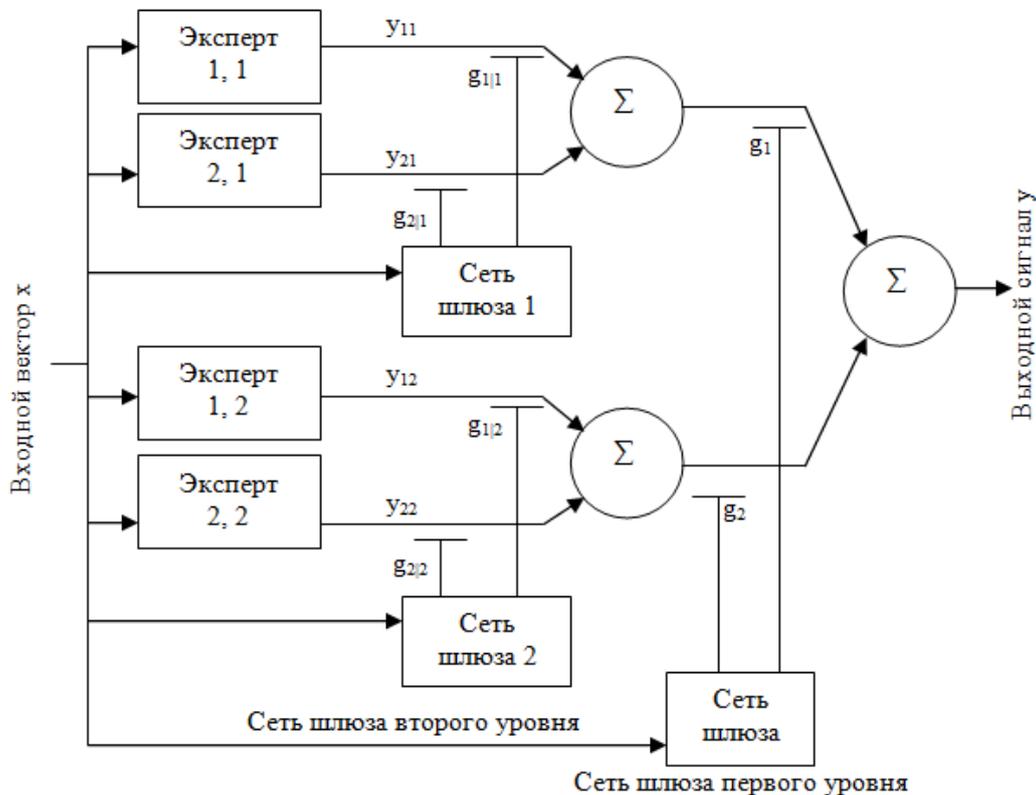


Рис. 3.1. На примере двухуровневой иерархии представлена модель иерархического смешения мнений экспертов (НМЕ).

В иерархии моделей смешения мнений экспертов можно выделить два основных способа описания. Они представлены на рис. 3.2. Следуя этому факту, можно сделать вывод о том, что второй вариант описания НМЕ-модели является более предпочтительным. Для того чтобы рассчитать аналогичное количество данных для любого количества данных, необходимо рассмотреть модель модели НМЕ с точки зрения вероятностной основы для формирования дерева решений.

На данный момент мы имеем возможность приступить к выбору модели НМЕ, а именно определить количество и композицию узлов решения [8, 49].

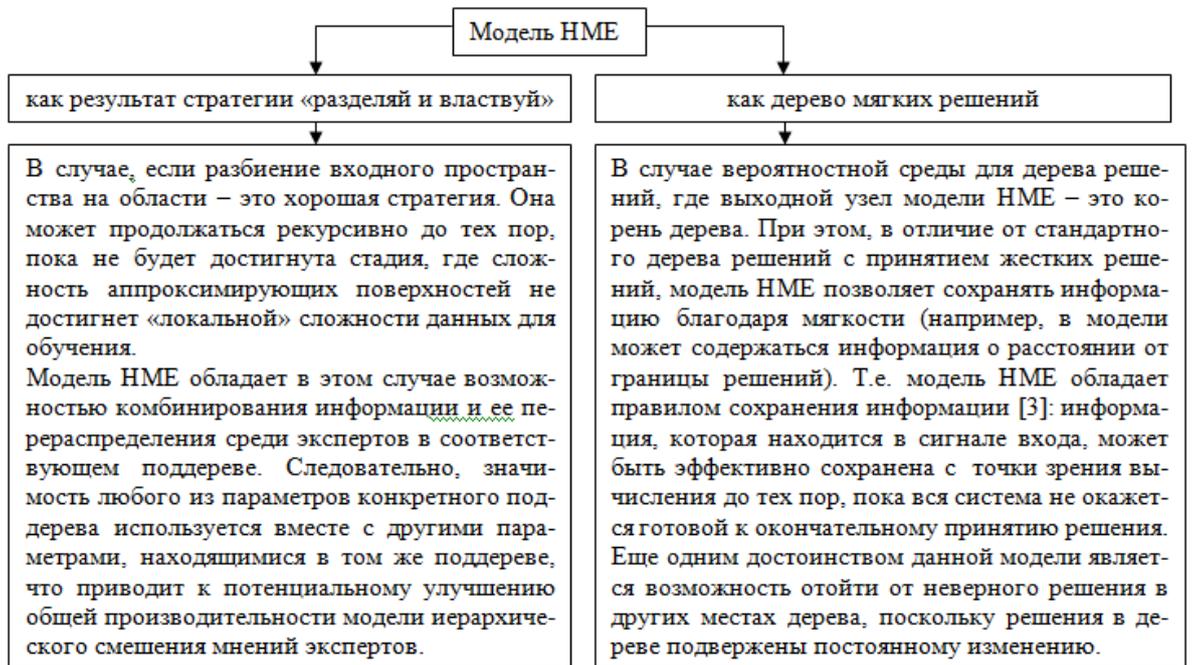


Рис. 3.2. Количество и композиция узлов решения модели НМЕ.

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 [8, 107].

Примером дерева CART является пример, представленный на рис. 3.3. В нем входное пространство X разбивается последовательно серией двоичных чисел, которые можно обозначить терминами терминальных узлов или же структурными узлами. [50, 105].

При сравнении двух рисунков, можно сделать некоторые общие выводы о свойствах моделей CART и НМЕ. В случае если мы сравним рис. 3.1 и 3.3, то обнаружим некоторое сходство между ними: в сетях шлюзов в НМЕ аналогичную роль играет принцип выбора разбиений в ветвях модели CART (промежуточных узлах); сети экспертов в НМЕ имеют схожесть с терминальными узлами в CART [48, 108].

Следовательно, если применить модель CART для задач регрессии или классификации, то преимущества ее дискретной природы позволят эффективно осуществить поиск среди возможных альтернативных ветвей деревьев, а в случае, если дерево будет выбрано в качестве исходного на этапе инициализации, это может обеспечить непрерывную вероятностную основу в модели НМЕ и получит ожидаемый отклик с улучшенной мягкой оценкой [8].

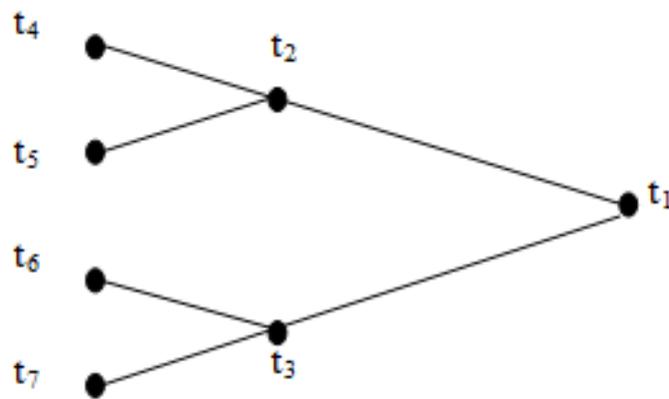


Рис. 3.3. Фрагмент дерева решений с делениями на ветви.

Перед тем как приступить к созданию модели НМЕ, необходимо провести краткое описание алгоритма CART (в контексте регрессионного анализа) на множестве данных обучения $\{(x_i, d_i)\}_{i=1}^N$.

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 .

$$\bar{d}(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{x_i \in t} d_i, \quad (3.1)$$

а суммирование производим по всем d_i , для которых выполняется условие: $x_i \in t$, а $N(t)$ – общее количество подобных случаев [11, 105].

Далее, определим следующие показатели:

$$E(t) = \frac{1}{N} \sum_{x_i \in t} (d_i - \bar{d}(t))^2 \quad (3.2)$$

$$E(t) = \sum_{t \in T} E(t) \quad (3.3)$$

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

В предположении о том, что мы имеем S разбиений узла t дерева T , наиболее предпочтительным вариантом является тот, в котором значение $E(t)$ принимает наименьшее значение. Также допустимо, что для некоторого разделения s узла t на два отдельных узла - t_R (узел справа от t) и t_L (узел слева от t) - будет справедливо следующее соотношение [105]:

$$\Delta E(s, t) = E(T) - E(t_L) - E(t_R). \quad (3.4)$$

Если будет произведено лучшее разбиение s^* , то это приведет к тому, что построенное регрессионное дерево будет стремиться к минимизации ошибок $E(t)$:

$$\Delta E(s^*, t) = \max_{s \in S} \Delta E(t, s). \quad (3.5)$$

Шаг 2. Подтверждение принадлежности терминального узла.

Если условие верно, то узел t можно назвать терминальным:

$$\max_{s \in S} \Delta E(t, s) < \beta, \quad (3.6)$$

где β - заданный порог.

Шаг 3. Проведение оценки параметров терминального узла с помощью метода наименьших квадратов.

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 [8] для поддерева t .

$$w(t) = X^+(t)d(t), \quad (3.7)$$

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

В случае, при использовании весов по формуле (3.7) можно рассчитывать на то, что задача поиска разбиения будет решена благодаря вычислению наименьшей суммы квадратов ошибок по отношению к поверхности регрессий (но не средних значений) в случае использования данной формулы [36, 105].

Имеется некоторое количество деревьев решений, которые были построены для решения поставленной задачи. Это произошло в результате использования CART-технологии по отношению к множеству данных обучения. При моделировании разделения по CART-методу, можно представить его в виде многомерной плоскости, где x и b - входные векторы и вектор параметров, а также их входные вектора и составляющие [105].

$$a^T x + b = 0. \quad (3.8)$$

Описание регрессионной плоскости, которая создается сетью шлюза в двоичном дереве, можно представить следующим образом (3.9): это является разделением, которое возникает в результате разрыва в цепи шлюза, который приводит к образованию новой [105] поверхности (при $g = 1/2$):

$$g = \frac{1}{1 + \exp(-(a^T x + b))}, \quad (3.9)$$

Для рассматриваемой нами сети шлюзов, вектор направления весов будет соответствовать [105] равенству:

$$a = \|a\| \cdot \frac{a}{\|a\|}, \quad (3.10)$$

где $\|a\|$ - модуль расстояния вектора a ; $a/\|a\|$ - нормированный (единичный) вектор.

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

$$g = \frac{1}{1 + \exp\left(-\|a\| \left(\left(\frac{a}{\|a\|} \right)^T x + \frac{b}{\|a\|} \right)\right)}. \quad (3.11)$$

Из формулы следует, что вектор $a/\|a\|$ является определяющим направлением разбиения, а также определяет степень резкости разделения. Данная сеть шлюза в (3.11), основанная на линейном фильтре и функции softmax, которая является нелинейной активационной функцией, может имитировать разбиение, сходное с CART. Еще мы получаем длину векторов параметра $\|a\|$ - дополнительную степень [105] свободы, что оказывает непосредственное влияние на процесс выполнения работы шлюза в НМЕ-модели [8, 37]. Таким образом, вектор синаптических весов с фиксированной ориентацией обладает следующими свойствами: при достаточно большой длине вектора происходит его дробление, а при малой длине оно будет мягким.

В случае если значение резкости разбиения будет равно нулю ($\|a\|=0$), то при условии, что оно не будет иметь значения, произойдет исчезновение разделения по обе стороны мысленного пространства $g=1/2$. При условии, что длина вектора будет равна нулю (или если она не превышает 0), что значит, что шлюзовая сеть больше не включает в себя повреждения, поэтому можно удалить нетерминальный узел из дерева. При условии, что НМЕ-модель имеет крайне малую длину вектора в любом из нетерминальных узлов, она может быть использована как стандартная модель линейной регрессии (как один узел). НМЕ-модель, благодаря увеличению длины вектора, может создавать более мягкие разбиения, что увеличивает количество возможных степеней свободы, доступных для модели [105].

Если обобщить все сказанное ранее, процесс инициализации НМЕ-модели осуществляется на основе следующего алгоритма [105]:

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

Шаг 2. К значениям оценочных показателей можно применить вектор

синаптических весов экспертов НМЕ-модели. Это возможно сделать, применяя метод наименьших квадратов для определения векторов параметров необходимых терминальных узлов, который был создан после использования CART-алгоритма двоичного дерева [8] можно получить значение, соответствующее оценке.

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

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

Существует две модели, которые имеют отношение к смешанному мнению экспертов: это модель дерева классификации и регрессии (CART) и иерархическая смешанная оценка [8] экспертов (НМЕ). Однако НМЕ-модель имеет отличия от последней. Она отличается более мягкой структурой входного пространства. Простым примером является алгоритм CART, который на этапе разделения входного пространства на множество подпространств с собственными экспертами принимает жесткие решения. Это может привести к потерям информации и нежеланию проводить исследования. У НМЕ-модели есть общие черты с моделью многослойного персептрона (МЛП - multilayer perceptron), В виду того, что она применяет вложенную структуру нелинейности, но в отличие от MLP-модели не для создания отображения входного сигнала в выходной, она применяется исключительно для создания отображений входного сигнала на выходной (при этом возникает необходимость использования «черного ящика» для создания единой аппроксимационной функции, которая будет использоваться для данных обучения. Это приводит к тому, что глубина взгляда на исходную задачу снижается, а также может привести к искажению сути задачи) в том случае, если он будет использовать в качестве основного способа конструирования "черный ящик" для создания единой модели для данных обучения, это может привести к утрате глубины взгляда на изначальную задачу

[105].

В результате, **НМЕ-модель** можно определить, как ассоциативную машину с динамическим типом, которая сочетает в себе преимущества CART-модели [105] и MLP [8]. С помощью данной модели можно получить общее решение в трудных вычислительных задачах. 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. Второй этап состоит из разработки большого количества вариантов, которые основаны на имеющейся у него информации. Имеет место быть и такое, что некоторые из величин, которые определяют это множество в Центре, не известны [12].

К примеру, 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 a - множество их возможных значений [12].

Обычно, задача создания множеств X является достаточно трудоемкой и требует детального изучения системы и условий ее функционирования, а также конструирования множества $Y(r)$. Поэтому возникает необходимость в ее решении, рассчитанном на несколько последовательных периодов функционирования. Для достижения данной цели множество строится так, что параметрическое представление множества возможно принимать неизменным на некоторый

период времени, а переменные значения множества допустимых планов относятся к параметрам r . Второй этап процедуры задания множества X состоит в уточнении параметров r для каждого периода функционирования и построении оценок α их значений [12].

При необходимости создания в системе оценочных систем могут быть организованы специальные процедуры обмена между центром и его активными элементами, а также обработка информации о функционировании системы, которая была получена в предшествующих периодах ее функционирования. Данные процедуры были названы в теории активных систем как процедуры создания данных. Эта организация процедур имеет целью создание оценок a и r , которые не известны или не поддаются измерению в процессе получения и обработки информации о системе в процессе ее функционирования. В результате использования данных процедур, за оценку множества $Y(r)$ принимается множество $Y(\alpha)$ [12].

При необходимости проведения оценки неизвестных параметров, можно воспользоваться различными методами: экспертным анализом, прогнозированием, принятием тех или иных гипотез о значении этих параметров и т. д. Однако не исключено, что в данной ситуации не потребуются проведение специальных процедур по формированию данных. В качестве примера можно привести ситуацию полной осведомленности Центра о множестве $Y(r)$, которое используется при планировании [12].

Следовательно, при учете наличия различных вариантов осведомленности центра и целого ряда способов действий центра в подобных ситуациях, можно наблюдать большое разнообразие моделей функционирования активных организационных систем, которые отражают эти факторы. Описаны некоторые процедуры, позволяющие создать данные для планирования и затем отразить их на модели. Предметом рассмотрения в процессе процедуры встречного формирования данных является организация функционирования системы, при которой активные элементы на каждом этапе своего существования сообщают о

наличии неизвестных параметров r_i в Центр оценки S_i . Исходя из этого следует, что $a=s$ [12].

Существует еще один вариант получения информации, которая может быть использована для оценки неизвестных параметров. Она будет получена из источников, которые были встречными в данный момент или в период, предшествующий данному периоду [12] функционирования [12].

Обобщение информации α о неизвестных параметрах r в k -м периоде функционирования осуществляется с помощью процедуры вида [12, 44]:

$$\alpha = g(S^i, S^{i-1}, \dots, S^{l-1}) \quad (3.12)$$

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 [12].

$$X^l = \beta(X^{l-1}, S^l), l = 1, 2, \dots, L \quad (3.13)$$

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

$$X = X^L = \beta(X^{L-1}, S^L) = \dots = \hat{\varphi}(X^l, s^1, s^2, \dots, s^L) \quad (3.14)$$

Адаптивный оператор для идентификации результатов α_k , при «глубине памяти» процедуры на некоторый период времени, имеет вид [12]:

$$\alpha^k = g(\alpha^{k-1}, y^{k-1}) \quad (3.15)$$

т. е. оценка, полученная в предшествующем периоде α^{k-1} и реализованной в данном предшествующем состоянии y^{k-1} можно определить период функционирования с номером k [12].

В основе построения процедур комбинированного создания данных лежит совместная разработка описанных выше процедур и их применение. В качестве примера, можно привести один из вариантов комбинированного способа формирования данных [12]:

$$\alpha^i = \tilde{g}(\alpha^i, s^i) = g(g(\alpha^{i-1}, y^{i-1})s^i) \quad (3.16)$$

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 [12] системе (рис. 3.4):



Рис. 3.4. Этапы формирования плана в двухуровневой активной системе.

- Создание параметрического представления множества $X(r)$ возможных планов, выделение неизвестных параметров и множеств Ω 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 [12].

Все те принципы классификации, которые были рассмотрены ранее в контексте отдельных этапов их создания, можно использовать и при классификации процедур планирования [12].

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.

3.2 Алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью

Организационная и соответствующая функциональная структура управления является основой для создания рациональной иерархии управления, которая позволяет организации эффективно использовать ресурсы, которые используются в процессе достижения определенных целей [37].

Зачастую, при поиске оптимального решения в области структуры системы управления возникают проблемы. Это обусловлено большим количеством формальных факторов, которые влияют на качество и количественные характеристики систем управления. При оценке степени их влияния, следует применять традиционные методы использования методов информационной инженерии в сочетании с методами оценки их влияния [37].

Для определения базы знаний об области редизайна структуры управления, можно воспользоваться вычислением функций и языком логики предикатов, который является математической логикой первого порядка [37, 44].

Для того чтобы формализовать задачу реконфигурации организационной структуры системы управления, следует ввести следующие обозначения [37]:

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:

1) некоторые из проблем более низкого уровня могут быть решены задачами более высокого уровня, т.е.

$$F_{n,n-1} = F_n \cap F_{n-1} \neq \phi, F_{n,n-1} \subseteq F_{n-1}; \forall n, n = \overline{2, N};$$

2) некоторые (или все) проблемы верхнего уровня могут быть решены задачами более низкого уровня, т.е.

$$F_{n,n-1} = F_n \cap F_{n-1} \neq \phi, F_{n,n-1} \subseteq F_{n-1}; \forall n, n = \overline{2, N};$$

3) задачи верхнего уровня не могут быть решены задачами более низкого уровня и наоборот:

$$F_{n,n-1} = F_n \cap F_{n-1} = \phi, \forall n, n = \overline{2, N};$$

4) одно или два или три условия могут быть выполнены одновременно для разных уровней и подуровней иерархической структуры [37].

Выбор конкретного варианта определяется требованиями к конкретной структуре управления [37].

Для описания взаимосвязей между задачами, входящими в цикл управления, используется матрица:

$$C = \|C_{i' i}\|, \forall i, i', i, i' = \overline{1, I},$$

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

Для того чтобы эффективно решать задачи, стоящие перед иерархической

структурой, необходимо учитывать степень влияния различных факторов на характеристики структуры управления. При наличии большого количества факторов, которые имеют взаимосвязь и взаимодействие друг с другом, задача по выделению этих факторов представляется довольно трудной с формальной точки зрения. Существует мнение, что ее решение основано на правилах эксперта, которые можно назвать эвристическими [37].

Пусть $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_K\}$ — множество факторов, влияющих на решение задач в иерархической структуре, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_l, \dots, q_L\}$ - множество функций, определяющих характеристики иерархической структуры, где [37]:

$$q_l = q_l(t_1^l, t_2^l, \dots, t_k^l, \dots, t_{K_l}^l) \mid (t_1^l, t_2^l, \dots, t_k^l, \dots, t_{K_l}^l) \subseteq T.$$

$$\forall l, l = \overline{1, L}.$$

На уровне иерархии в m -м узле вероятность решения i -й задачи, находящейся в стадии реализации на n -м уровне, будет определяться формулой $P_{nm}^i(T, Q)$: где P_{nm}^i - это предикат, значение которого зависит от конкретных значений факторов из множества T и функций множества Q [37].

Для того чтобы придать формальный характер процессу решения задач, которые входят в цикл управления, необходимо ввести следующие переменные величины [37]:

$$X_{nm}^i = \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-я задача должна решаться в } m\text{-м узле} \\ \text{на } n\text{-м уровне;} \\ 0 - \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Решение i -й задачи можно определить формулой [37]:

$$\bigvee_{n,m} (X_{nm}^i \ \& \ P_{nm}^i(T, Q)) \rightarrow \varphi_i(X_{nm}^i),$$

где: $\varphi_i(X_{nm}^i)$ - предикат истинный, если i -я задача решена.

Заметим, что:

$$\exists q_l (q_l \in Q) \forall i, n, m (t_k^l = X_{nm}^i)$$

либо

$$\forall q_i (q_i \in Q) \forall i, n, m (t_k^i = X_{nm}^i),$$

т.е. в соответствии с этим, характеристики иерархической структуры зависят от способа размещения задач в данной структуре [37].

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 [37]:

$$\&_{i', c_{i'}=1} (\varphi_i (X_{nm}^{i'})) = \&_{i', c_{i'}=1} \left(\vee_{n,m} (X_{nm}^{i'} \& P_{nm}^{i'}(T, Q)) \right) = \vee_{i'} C_{i'} \&_{n,m} \left(\vee (X_{nm}^{i'} \& P_{nm}^{i'}(T, Q)) \right) \rightarrow \varphi_i.$$

Пусть φ_i — предикат, истинный, если задача φ_i , включающая весь цикл управления, решена. Тогда ее решение в иерархической структуре определяется формулой [37]:

$$\&_{i_2, c_{i_2}=1} \left[\&_{i_3, c_{i_3}=1} \left[\&K \left[\&_{l, c_{l-1, l}=1} \left(\vee_{n,m} (X_{nm}^l \& P_{nm}^l(T, Q)) \right) \right] \right] \right] \rightarrow \varphi_i \quad (3.17)$$

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).

Задачу редизайна структуры сложной системы организационного управления можно представить двояко [37].

Для решения этой проблемы необходимо определить изменения известной рациональной иерархии, которые будут обеспечивать минимальные потери от возникших функциональных отказов [37].

При этом задача состоит в создании новой рациональной структуры, которая будет обеспечивать оптимальное использование ресурсов, которые используются для достижения определенных целей в изменяющихся условиях [37].

На первый взгляд, предложенное деление не является точным, но очевидно, что вторая задача значительно сложнее первой, так как требует более точного учета множества факторов [37].

Также можно допустить, что в начале была задана рациональная иерархическая структура [37]:

$$X^* = \{X_{nm}^i, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}\}, X_{nm}^i = const, \forall i, n, m.$$

Динамические сбои в иерархической структуре управления, которые приводят к функциональным отказам, описываются множественными состояниями узлов системы [37]:

$$W = \{w_{nm}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}\},$$

где: w_{nm} — предикат, истинный, если m -й узел на n -м уровне исправен.

$$\text{Тогда } \forall n, m \quad \bar{w}_{nm} \rightarrow \left(\sum_i X_{nm}^i = \tilde{I} \right),$$

где: \tilde{I} — число задач, требующих распределения которое определяется мощностью множества неисправных узлов:

$$|\bar{W}|, \text{ где } \bar{W} = \{\bar{w}_{nm}\}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}.$$

Очевидно, что $\tilde{I} \leq I$ и $\tilde{Z} \subseteq Z$, где \tilde{Z} — комбинаторное пространство, соответствующее множеству $\tilde{X} = \{X_{nm}^i, i = \overline{1, \tilde{I}}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}\}$, Z - комбинаторное пространство, соответствующее множеству X^* [37].

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 [37].

Необходимо определить факторы, которые определяют состояние системы в целом. Это необходимо для того чтобы формализовать пространство реконфигураций известной рациональной иерархической структуры управления с

учетом функциональных отказов ее элементов [37].

В итоге известно множество X^* и его параметры, которые соответствуют рациональной иерархии в системе управления - множества: T^* , Q^* . Также определены допустимые значения изменения [37] параметров $T_{дон}$, $Q_{дон}$.

В связи с этим возникает необходимость определения значений элементов множества \tilde{X} , которые были бы необходимы [37] для выполнения условия (3.17) при $T \subseteq T_{дон}; Q \subseteq Q_{дон}$.

Как пример можно привести упрощенный вариант экспертной системы «Редизайн структуры управления сложной организационной системой» [37]. Этот прототип имеет в арсенале ряд стандартных факторов, которые оказывают влияние на функциональные возможности системы управления:

1. n — номер уровня;
2. m — номер узла;
3. i — номер задачи;
4. X_{nm}^i — переменная, связывающая решение i -й задачи с m -м узлом и n -м уровнем;
5. w_{nm} — характеристика m -го узла на n -м уровне (исправен/неисправен/возможно исправен);
6. $C_{ii'}$ — величина, устанавливающая причинно-следственную связь между решением i -й задачи и решением i' -й задачи;
7. $\rho_i^{авт} = const$ — величина, характеризующая трудоемкость решения i -й задачи с учетом автоматизации;
8. $\rho_i^{руч} = const$ — величина, характеризующая трудоемкость "ручного" решения i -й задачи;
9. $\alpha_{nm} = const$ — величина, характеризующая производительность m -го узла на n -м уровне;
10. $\lambda_{nm} = (\lambda_{nm}^i) \forall i, i = \overline{1, I}$ — булевый вектор, отражающий максимально общий состав задач, возможно решаемых m -м узлом на n -м уровне;

11. $\xi_{nm}^{n'm'}$ — величина, характеризующая типовость узлов структуры по задачам (рассчитывается исходя из λ_{nm});
12. ξ^* — величина порога типовости (задается);
13. $T_{цикла} = const$ — ограничение на время цикла;
14. $\gamma_i = const$ — важность i -й задачи (например, $\gamma_i = 1$, если i -я задача существенна в цикле управления и $\gamma_i = 0$ в противном случае);
15. β_{nm} — величина, характеризующая максимальное число узлов подуровня n -го уровня m -го узла (как правило, определяется возможностями системы);
16. v_{nm} — важность узлов (предполагается использование взвешенных оценок важности узлов);
17. X_{nm} — предпочтительность передачи задач nm -го узла (на нижний уровень, текущий уровень, верхний уровень).

Основным правилом редизайна структуры управления сложной организационной системой считается следующее [37] :

$$\sum_n \sum_m X_{nm} = 1, \forall i, i = \overline{1, I},$$

т.е. при отсечении узлов верхнего уровня управления система должна решать все задачи исходной структуры при условии проведенного редизайна [37].

Остальные правила имеют следующий вид [37]:

1. В первую очередь распределяются задачи узла N -го уровня (высшего звена управления), затем $(N-1)$ -го и т.д.
2. В первую очередь распределяются задачи наиболее важного узла текущего уровня.
3. Подчиненная задача не может быть на один или более уровень выше подчиняющей. Задачи распределяются с учетом предпочтительности:
 - 3.1. В текущий уровень.
 - 3.2. В нижестоящий уровень.
 - 3.3. В вышестоящий уровень.

4. Задачи не могут распределяться в узлы верхнего уровня если есть незанятые нижние:

4.1. Распределяются только в незанятые узлы.

4.2. Распределяются только в возможно эффективные по времени выполнения задач узлы.

5. Задачи распределяются в узлы, производительность которых была бы достаточной для решения задач в заданное время:

5.1. С учетом автоматизации.

5.2. С учетом "ручной" обработки.

6. Задачи распределяются в узлы с учетом их типовости:

6.1. С максимальной типовостью (общностью задач).

6.2. С типовостью, удовлетворяющей порогу типовости.

7. Задачи распределяются в узлы совместно и отдельно:

7.1. В один узел — все задачи.

7.2. Распределяются существенные для цикла задачи.

7.3. Распределяются несущественные для цикла задачи.

8. Задачи распределяются в узел, для которого число узлов подуровня текущего уровня будет не больше максимально возможного [37].

Работа системы 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. Таким образом, система знаний наращивается [37].

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.

3.3. Выводы по главе 3

В результате разработки способов управления процессами редизайна сложных организационных систем на основе концепции цифрового двойника сформированы следующие результаты:

1. 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.

2. 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.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ РЕДИЗАЙНА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

4.1 Модель человеко-машинной процедуры информационного обеспечения процессов редизайна систем организационного управления

Наиболее актуальными являются задачи, которые направлены на поиск наиболее эффективного решения в системах управления, при этом необходимо учитывать несколько критериев для его оценки. Такие задачи принято обозначать как многоуровневые. Имеются в виду те задачи, которые касаются планирования деятельности сложных комбинированных систем управления (СКСУ). Поэтому необходимо определить критерии, по которым будет сформирован оптимальный план работы СКСУ. Это обусловлено наличием множества несоизмеримых, разнородных и противоречивых критериев. Существует проблема отсутствия оптимальных решений в данных задачах, так как из-за множественных противоречивых критериев невозможно найти решение, которое бы обеспечивало максимальную эффективность по всем функциям. Исходя из этого, решение задач многомерной оптимизации представляется не как одно из мест (в случае с задачами оптимизации, которая имеет дело со скалярными значениями, эффективная или поверхность Парето - это не просто область в пространстве переменных, которую называют эффективной [47]).

На сегодняшний день использование принципов математического программирования становится все более распространенным. Оно позволяет использовать информационные технологии для решения различных задач, которые требуют принятия решений. В качестве наиболее простого и эффективного способа решения проблемы оптимизации с несколькими критериями, можно отметить использование подхода, при котором предпочтения лица, принимаю-

щего решение (ЛПР), определяются одновременно с работой поверхности Парето. Одним из инструментов, позволяющих реализовать данный подход, является использование человеко-машинных процедур. У них есть возможность пользоваться различными способами дополнительной информацией, которая поступает от ЛПР. Для осуществления данных процедур характерно чередование отдельных этапов выполнения формальных математических операций, которые имеют место в период между диалогами с ЛПР [47].

Высокая степень интеграции процесса поиска оптимального решения с активной деятельностью человека дает возможность использовать человеко-машинные процедуры для разрешения сложных задач, который [47] может принимать участие в процессе принятия решений и изменять их параметры. В конце концов, можно выбрать окончательное решение, основанное на компромиссах. Данные процедуры способствуют замене интуитивного поиска решений на целенаправленный, что способствует повышению качества и ускорению процесса принятия решения.

Человеко-машинную операцию допустимо представить в виде процесса, который предназначен для решения различных задач. При ее построении был использован модульный принцип (рис. 4.1), что дает возможность легко и быстро создавать варианты процедур, которые будут наиболее эффективны в решении конкретной задачи, а также легко добавлять и изменять новые программные модули, расширяя возможности процедуры.

Программы написаны на языке *Python*, а интерфейсный модуль на *Java* [38].

На основе рассмотренной человеко-машинной процедуры происходит взаимодействие ЛПР и ЭВМ, в процессе которого происходит поиск наиболее эффективных (Парето-оптимальных) решений для различных задач, а также их анализ. При этом ЭВМ освобождает человека от трудоемких и рутинных вычислений.

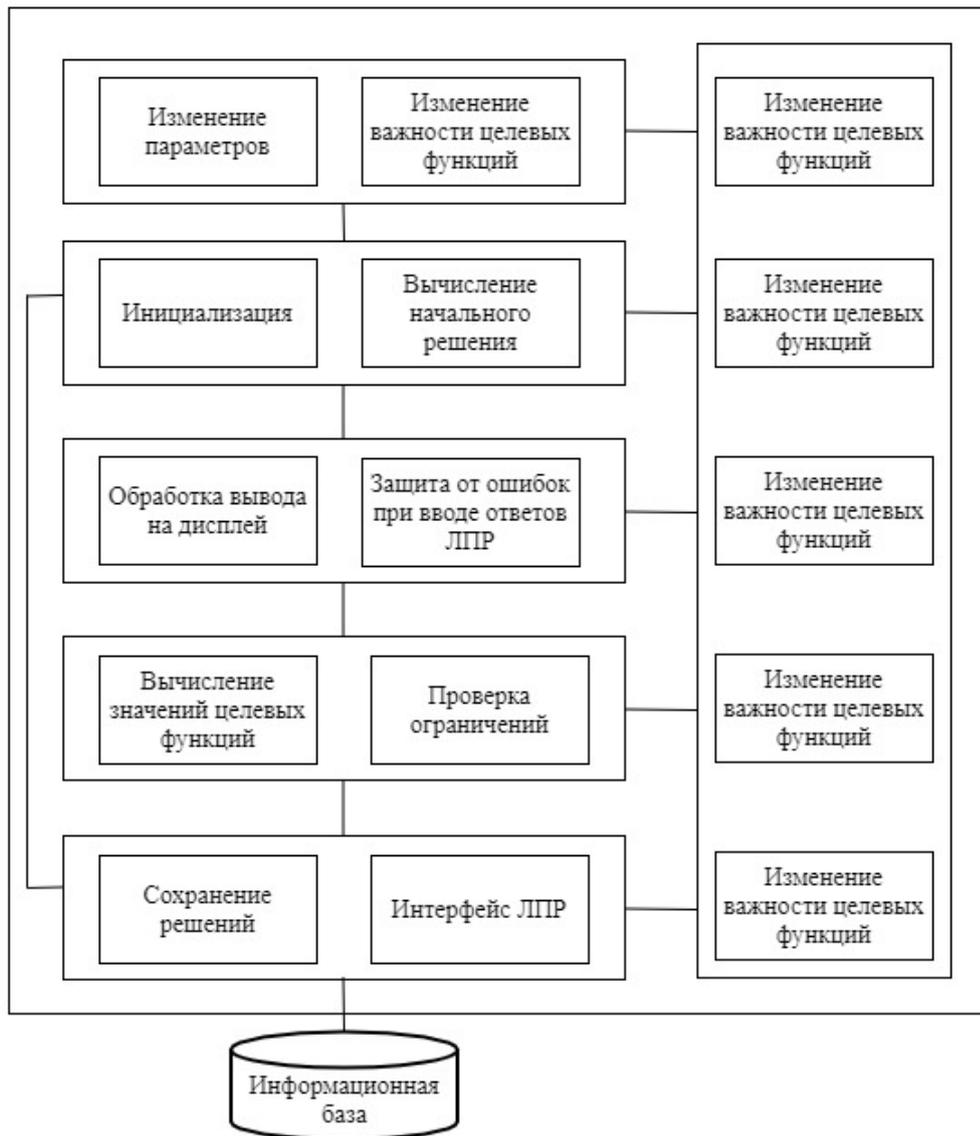


Рис.4.1. В основе этих модулей лежит процесс поиска компромисса между человеком и машиной.

При проведении процедуры, необходимо использовать следующие комбинации формализованных и неформализованных этапов: с помощью ЭВМ осуществляется разработка и представление вариантов решения, а также их предоставление для ЛПР (формализованный этап). Принятие решения является основной задачей ЛПР, которая включает в себя выбор наиболее подходящего варианта из двух предложений, представленных на рассмотрение (неформали-

зованный этап), было выбрано одно из двух. Следуя за направлением движения ЭВМ, она рассчитывает шаг поиска (или этап), после чего переходит к следующей задаче [47].

В работе можно использовать человеко-машинную процедуру. В диалоге происходит работа над процедурой, которая относится к ЛПР и ЭВМ [47]. На экране дисплея можно найти множество вопросов, которые задаются людьми. Существует два варианта ответа на вопрос ЛПР: либо указать "да", "нет" или "не знаю", либо ввести цифру, которая соответствует номеру одного из альтернативных ответов [47]. Планировщики и управляющие не являются специалистами в области программирования и вычислительной техники, поэтому они могут выступать в роли ЛПР. В целях таких ЛПР, наиболее эффективным является режим диалогов, которые ведутся под управлением ЭВМ.

Для наглядности, на рис. 4.2 представлен график взаимосвязей основных кадров диалогического процесса. 1-7 - Эти этапы являются начальными, они соответствуют тому уровню подготовки, который необходим для начала работы с процедурой [47].

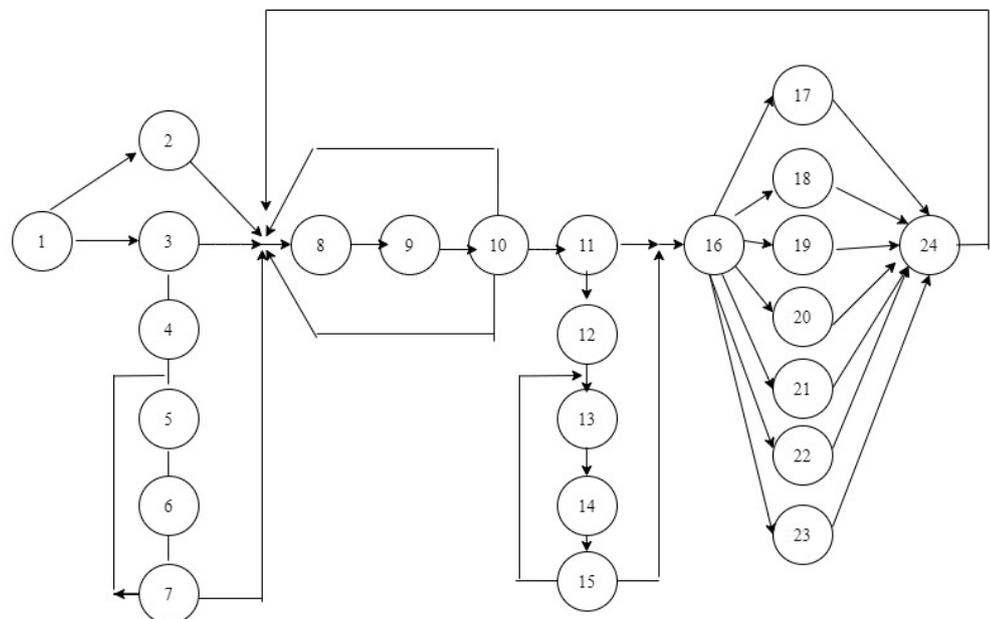


Рис. 4.2. Связь основных кадров в диалоге машинной и человеческой деятельности.

Эта группа включает в себя кадры, которые работают с 8 по 15 и участвуют в процессе выдачи результатов на экран, принятия решения. Кадры, которые находятся в группе с 16 по 24 включительно, соответствуют эти этапы включают в себя изменение направления поиска, изменения параметров и создание промежуточных решений.

В процессе вспомогательного использования процедуры, можно определить экстремальные значения целевых функций (максимум и минимум) и значения переменных для них. Для этого используется специальная программа. Благодаря этому исследованию, данные сохраняются в информационной базе и могут быть предоставлены ЛПР в любое время [47]. В случае необходимости найти компромиссное решение, они могут стать для него "ориентирами".

В качестве целевой функции можно выбрать линейную или нелинейную. При использовании определенных принципов из теории нечетких множеств, можно добиться формализации и обработки целевых функций, которые имеют качественный характер. Он позволяет применять единые подходы, которые используются для обработки разных видов деятельности. Это способствует более широкому использованию человеко-машинной процедуры в целях решения различных задач.

Все этапы работы ЛПР проводит в пространстве функций, а не в временном пространстве. Оно имеет размерность значительно больше размера области функций.

Правила действий ЛПР на каждой из i -ых итераций сводятся к операции сопоставления двух альтернатив, т.е. X_{i-1} -го и X_i -го вариантов, которые представлены в (табл. 4.1).

На данной странице представлена таблица, в которой содержатся [47]:

- Прямой номер целевой функции и ее название: (1ЭС - это первый элемент системы, 2ЭС - второй элемент системы, 3ЭС+4ЭС-это третий элемент системы, который является частью 4 элемента системы. 5ЭС-это пятый элемент системы).

- Определение целей для прошлых (X_{i-1}) и новых (X_i) решений.
- Целевые функции имеют минимальное и максимальное значение [47].

Таблица 4.1. Предоставление информации для ЛПР о значении целевых функций на каждой итерации [47].

целевая функция	первое: новое: решение:	верхний: нижний: пределы:
1-доход для 1ЭС	358.24: 343.47:	406,07: 179.37
2-доход для 2ЭС	779.72; 734,611:	971.97: 368.29
3-доход для 3ЭС+4ЭС	655.73: 627.30:	783.72: 238.96
4-доход для 5ЭС	498.32: 475.51:	611.99: 196.70
5-доход для осн. узла	837.34: 811.69:	952.94: 224.28
6-риск потерь	681.42: 671.21:	710.01: 610.00

Задания переменных, которые ЛПР может выбрать по своему усмотрению, должны быть представлены в табличном виде. По получению информации о предпочтительности X_{i-1} -го и X_{i-2} -го решений ЭВМ определяет, в каком направлении следует двигаться дальше, какие шаги необходимо предпринять. Все переменные рассчитываются для каждой из них, значения переменных и целевых функций в новой точке также рассчитываются с помощью дисплея, что позволяет представить решение ЛПР. Данное решение становится X_i -м решением, а предыдущее решение стало X_{i-1} -м решением после принятия данного ре-

шения. ЛПР снова используется для сравнения двух вариантов решения проблемы. В двумерной эффективной зоне, представленной на рис. 4.3, существует несколько возможных путей для нахождения компромиссного решения [47].

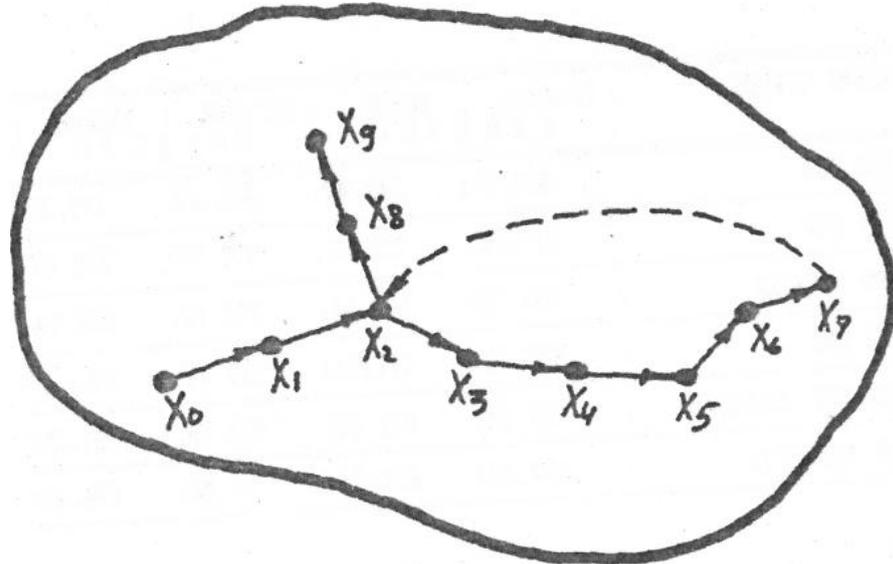


Рис. 4.3. Вариант маршрута поиска компромиссного решения в эффективной области

(X_0 - начальное решение, X_2 -промежуточное сохраненное решение, X_9 - окончательное решение, пунктиром обозначен переход от одного из промежуточных решений к сохраненному, т.е. запомненному решению) [47].

Планируя поисковое направление, следует помнить о том, что важно учитывать распределение важности целевых функций. Упрощенная процедура определения распределения ЛПР позволяет определить само ЛПР, используя данную операцию. Он просто присваивает номера целевых функций в порядке убывания их важности, для того чтобы использовать данный ЛПР [47]. Изменение в процессе работы данного распределения, дает возможность ЛПР изменять направление поиска. Учет важности упорядочения по важности осуществляется также и в случае расчета оптимального значения шага, соответствующего вы-

бранному направлению для каждой переменной, когда производится расчет шага в выбранных направлениях для каждой переменной.

Основополагающей особенностью, характеризующей описываемый тип человеко-машинной процедуры, является возможность повторного использования некоторых решений, которые были даны в ЛПР и их последующего применения в ходе выполнения работы с процедурой [47]. ЛПР может вернуться к одному из этих решений и продолжить поиск нового решения, изменив при этом направление поиска. Завершенные этим способом решения ЛПР может, в частности, представить экспертам для получения более точного и окончательного решения, а также для того, чтобы помочь им в поиске наиболее подходящего варианта. Данное дает ЛПР расширить свои возможности по просмотру области Парето при поиске компромисса, что позволит им использовать эти ресурсы более эффективно, а также способствует расширению возможностей в поиске компромиссного решения.

На стадии проведения работ по человеко-машинной процедуре ЛПР имеет возможность изменять некоторые исходные данные, которые он получил при начале работы над процедурой. Он может изменять распределение значимости целевых функций и переменных, изменять значения некоторых функций и переменного в определенных пределах и выполнять ряд других действий. С помощью данных изменений есть возможность изменять направления поисков, проводить анализ [47] степени соответствия решения и т.д. На любом этапе можно завершить работу с процедурой ЛПР. Из этого следует, что в качестве окончательных могут быть оставлены (в зависимости от ситуации [47] завершения) X_{i-1} -го и X_{i-20} или какое-либо из ранее принятых решений.

Предложенная человеко-машинная система имеет целью решение многих взаимосвязанных проблем, которые касаются распределения и комплексного использования ресурсов при создании сложных организационных систем для целей оптимизации управления по различным критериям и целевым функциям [47].

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*.

4.2. Вариант построения системы информационного обеспечения при редизайне процессов управления образовательной деятельностью

В ходе исследований на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» 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» [40].

В табл. 4.2 представлена экспертная модель формирования целевой функции для цифрового двойника на основе показателей, формируемых профессиональным ИТ сообществом на примере Тестировщика.

Таблица 4.2. Экспертная модель формирования целевой функции для цифрового двойника на основе показателей, формируемых профессиональным ИТ сообществом на примере Тестировщика

Необходимые знания и умения	Лингвистическая переменная		Система измерения (оценка)	Коэффициент важности	Интервальная шкала оценки	Приведенная оценка
	Отлично	Хорошо				
			$k_i \leq x_{ig} \leq k_j$		$40 \leq x_{ig} \leq 60$ $61 \leq x_{ig} \leq 80$ $81 \leq x_{ig} \leq 100$	
Выявлять мнения пользователей об ИТ-продукте	40 дней			2	61-80	0,8
	Отлично	$x_{ig} \leq 20$				
	Хорошо	$21 \leq x_{ig} \leq 40$				
	Удовлетворительно	$41 \leq x_{ig} \leq 55$				
Обрабатывать статистические данные	20 дней			1	81-100	1
	Отлично	$x_{ig} \leq 20$				
	Хорошо	$21 \leq x_{ig} \leq 40$				
	Удовлетворительно	$41 \leq x_{ig} \leq 55$				
Оценивать соответствие ИТ-продуктов предъявляемым к ним требова-	54 дня			3	61-80	0,8
	Отлично	$x_{ig} \leq 40$				
	Хорошо	$41 \leq x_{ig} \leq 60$				

ниям	Удовлетворительно	$61 \leq x_{ig} \leq 80$			
Проводить консультации для разработчиков требований к ИТ-продуктам	60 дней		3	61-80	0,8
	Отлично	$x_{ig} \leq 40$			
	Хорошо	$41 \leq x_{ig} \leq 60$			
	Удовлетворительно	$61 \leq x_{ig} \leq 75$			
Планировать мероприятия по развитию и продвижению ИТ-продукта	49 дней		3	81-100	1
	Отлично	$x_{ig} \leq 50$			
	Хорошо	$51 \leq x_{ig} \leq 70$			
	Удовлетворительно	$71 \leq x_{ig} \leq 95$			
Целевая функция					0,88

Данная модель синтезирована на основе матрицы парных оценок, а привлечение правил формируется на основе показателей медианы Кемени. Формирование показателей осуществляется по квалиметрическим шкалам, что дает возможность получать наиболее достоверные оценки для целевой функции путем применения нормирующих коэффициентов. Формирование количественной и качественной экспертной группы осуществляется также квалиметрическими методами. Полученные матрицы в дальнейшем можно использовать для машинного обучения и принятия решений [38].

В табл. 4.3 рассматриваются экспертная модель формирования целевой функции для цифрового двойника на основе показателей, формируемых профстандартом соответствующей профессии, что удобно отражается в соответствующей матрице и формирует набор компетенций для успешного освоения трудовых действий.

Таблица 4.3. Экспертная модель формирования целевой функции для цифрового двойника на основе показателей, формируемых профстандартом соответствующего направления подготовки

Необходимые знания и умения	Лингвистическая переменная	Система измерения (оценка) $k_i \leq x_{ig} \leq k_j$	Коэффициент важности	Интервальная шкала оценки	Приведенная оценка
	Отлично			$40 \leq x_{ig} \leq 60$	
	Хорошо			$61 \leq x_{ig} \leq 80$	
	Удовлетворительно			$81 \leq x_{ig} \leq 100$	
Освоение языка, на котором написана техническая	20 часов		2	61-80	0,8

документация тестируемого ПО, на уровне, достаточном для чтения технической документации	Отлично	$x_{ig} \leq 14$			
	Хорошо	$15 \leq x_{ig} \leq 23$			
	Удовлетворительно	$24 \leq x_{ig} \leq 30$			
Изучение основных терминов и сокращений, используемых в технической документации и принятые в организации	6 часов		2	61-80	0,8
	Отлично	$x_{ig} \leq 4$			
	Хорошо	$5 \leq x_{ig} \leq 8$			
	Удовлетворительно	$9 \leq x_{ig} \leq 12$			
Работа с инструментами подготовки тестовых данных	7 часов		2	61-80	0,8
	Отлично	$x_{ig} \leq 6$			
	Хорошо	$7 \leq x_{ig} \leq 10$			
	Удовлетворительно	$11 \leq x_{ig} \leq 15$			
Составление отчета о выполнении тестирования ПО	5 часов		1	81-100	1
	Отлично	$x_{ig} \leq 6$			
	Хорошо	$7 \leq x_{ig} \leq 10$			
	Удовлетворительно	$11 \leq x_{ig} \leq 15$			
Целевая функция					0,84

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 [38].

На рис. 4.4 представлена динамическая модель управления процессом подготовки специалистов на основе цифрового двойника.

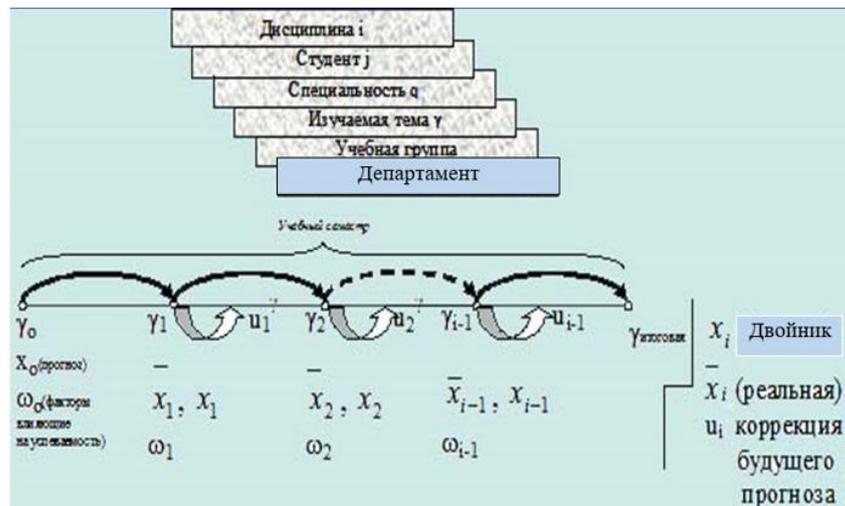


Рис. 4.4. Динамическая модель управления процессом подготовки специалистов на основе цифрового двойника.

Формируемые показатели успешности результатов обучения по конкретному модулю (теме, дисциплине в целом) для профессии берутся из моделей машинного обучения цифрового двойника, далее просчитываются механизмы условного оптимального управления промежуточных результатов обучения для каждого студента выбравшего данную профессию. Зафиксировав в соответствующей матрице эти результаты определяется фазовое пространство, соответствующее количеству показателей целевой функции.

На этапе реализации идет сравнение реальных показателей и рассчитанных на основе статистического критерия согласия Фишера для нормального закона распределения искомой случайной величины [31].

Определив степень расхождения необходимо задать корректирующее управленческое решение для возвращения на заданную индивидуальную траекторию обучения. Сформулируем алгоритм управления процессом образовательной деятельности на основе индивидуальных образовательных траекторий студентов с использованием механизмов цифрового двойника выпускника. В этом случае при отклонении студента от ИОТ производится анализ причин и определяется возможное управленческое воздействие путем редизайна части системы правления:

Определение факторов и их влияния на успешное обучение, которые могут привести к отклонению и какому органу управления удалось значительно повлиять на их весовые значения.

В ходе исследования вероятных причин, мы можем воспользоваться матрицей, которая состоит из строк и столбцов. В ней объекты управления соответствуют факторам, которые имеют непосредственное влияние на эффективность. С помощью пересечения строки и столбца можно получить весовой коэффициент, который определяет степень ответственности за низкие показатели и уровень ответственности за высокие. Для того чтобы определить вектор, имеющий наибольшее весовое значение в матричной системе, необходимо суммировать каждую строку матрицы. В случае если разница между суммами меньше 0,2, то эти два объекта управления нуждаются в совместном изменении. Когда происходит формирование комплекса воздействий, направленных на коррекцию и конкретного исполнителя, может быть сформировано до трех матриц [40].

Мы можем определить объект, который имеет наибольший вес, только суммировав все стороны матрицы. Критерии Сэвиджа определяют выбор органа управления, который будет включать в себя набор управляющих решений.

Первоначально на первом этапе происходит расчет максимального дополнительного выигрыша. Каждый элемент матрицы решения вычитается из наибольшего результата соответствующего столбца, после чего происходит его дальнейшее вычисление. Эти различия образуют матрицу, которая содержит остатки. Строка наименьших разностей в этой матрице пополняется столбцом. Выбор осуществляется среди тех вариантов, в которых значение для данного столбца наименьшее.

Также можно отметить, что представленная модель предоставляет возможность выбора управленческих решений из большого количества вариантов для конкретного органа управления при рассмотрении причин, которые привели к отклонению от индивидуальной образовательной траектории.

Индивидуальная образовательная траектория (рис. 4.6) предусматривает наличие содержательного компонента – индивидуального образовательного маршрута, разработанный способ его реализации (технологии организации образовательного процесса) и наличие индивидуальной образовательной программы.

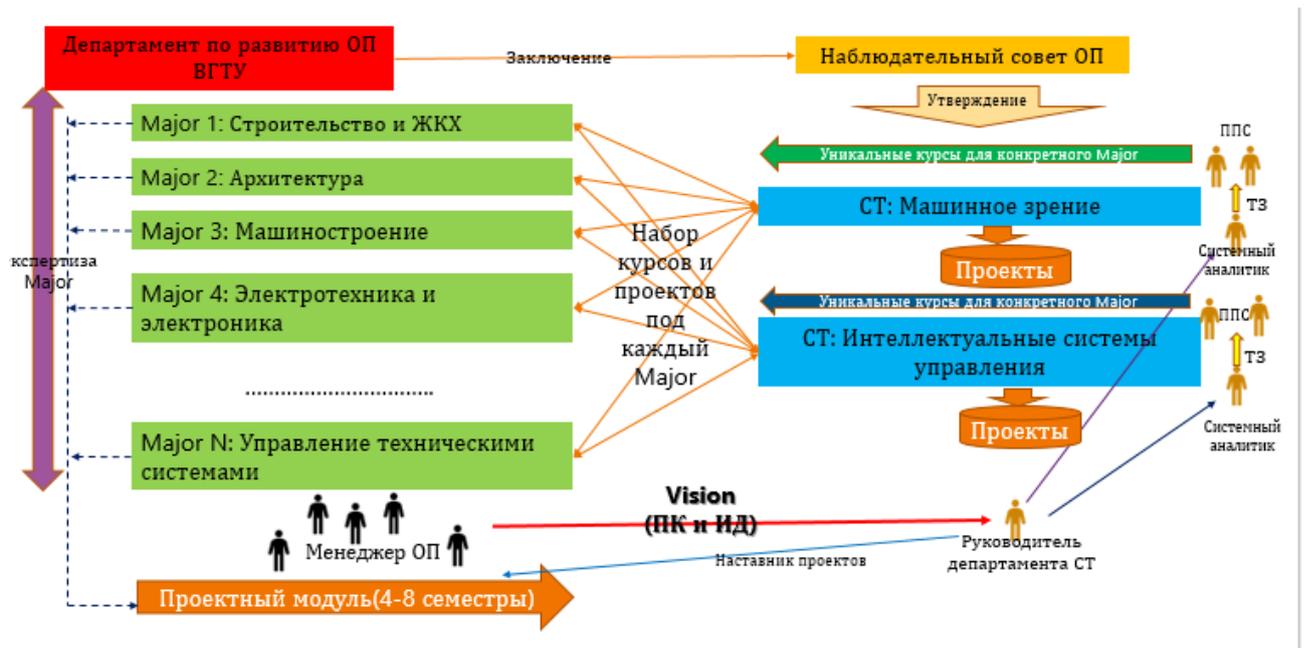


Рис. 4.6. Выбор индивидуальной образовательной траекторией.

Реализованный индивидуальный образовательный маршрут является индивидуальной образовательной траекторией. Функциональная модель показывает, в каком ключе должна работать образовательная система.

1. Студент определяет индивидуальную траекторию обучения используя шаблоны цифровых двойников профессий. Наравне с ИОТ определяется Major и сквозная технология для дополнительного образования.

2. В результате формируется индивидуальный учебный план студента и формируются временные учебные группы для каждой сквозной технологии.

В математической модели для определения кластера предпочтений студента используется Евклидово расстояние. Представленная мнемосхема отражает функции профессий в IT проекте, что облегчает выбор предпочтений сту-

дента по результатам предыдущего обучения (на младших курсах) и его потенциала (рис. 4.7).

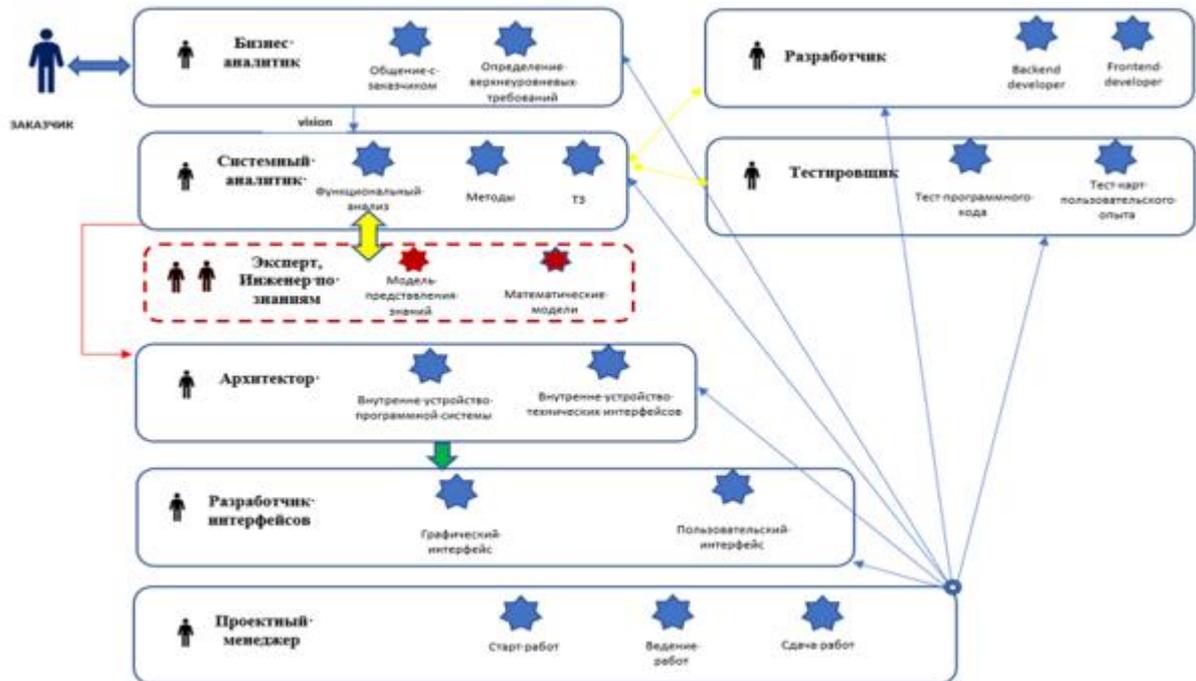


Рис. 4.7. Мнемосхема выбора ИОТ на основе проектного подхода.

На рис. 4.8 – 4.11 представлены подходы к редизайну организационной системы управления подготовкой специалистов на основе цифрового двойника.

Возможность выбора траекторий студентами концептуально меняет организационное управление системой подготовки путем формирования мощных курсов ядерной и профильной программ, когда студенты имеют возможности:

- формировать индивидуальные образовательные траектории;
- выбирать для изучения курсов лучших преподавателей;
- осуществлять проектную деятельность с первого до последнего курса на реальных проектах вуза и компании.

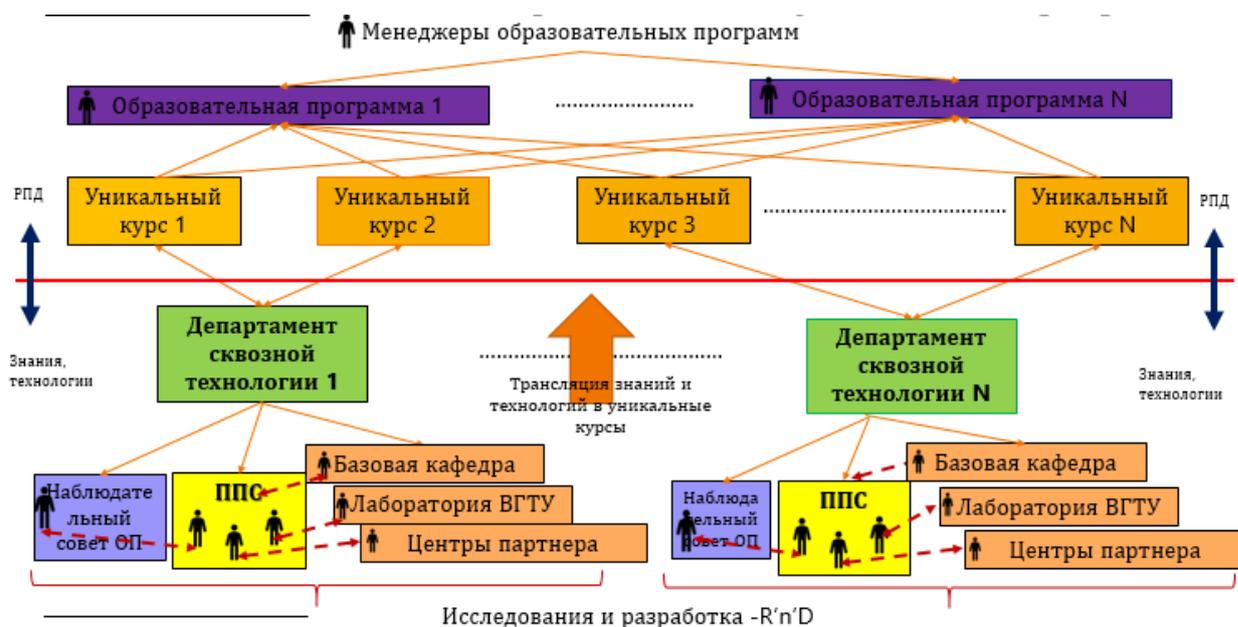


Рис. 4.8. Управление образовательными программами в концепции цифрового двойника профессии.

Для реализации динамической модели управления предлагается создать институт Менеджеров образовательных программ, что позволит отделить Департаменты от рутинной бумажной работы и посвятить требованиям R&D деятельности и высококлассным курсам сформированным на основе реализации проектов. В такой системе важными становятся маркетинговые задачи привлечения на курсы значительного числа студентов, что позволит через конкурсные механизмы повысить качество образовательной деятельности.

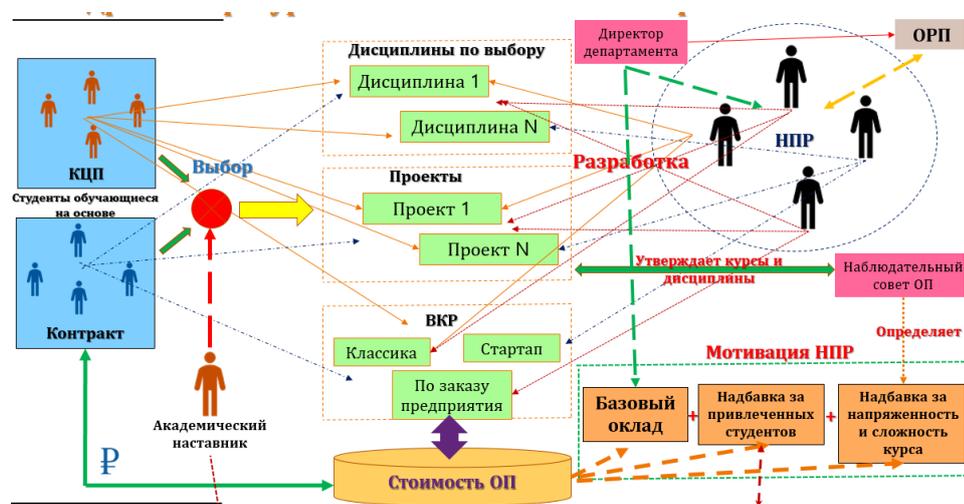


Рис. 4.9. Модель стимулирования преподавателей.

Во все профильные Маюоги программ внедряются технологии машинного зрения, на основе которых профильные студенты будут разрабатывать совместно с ИТ студентами свои проектные решения.

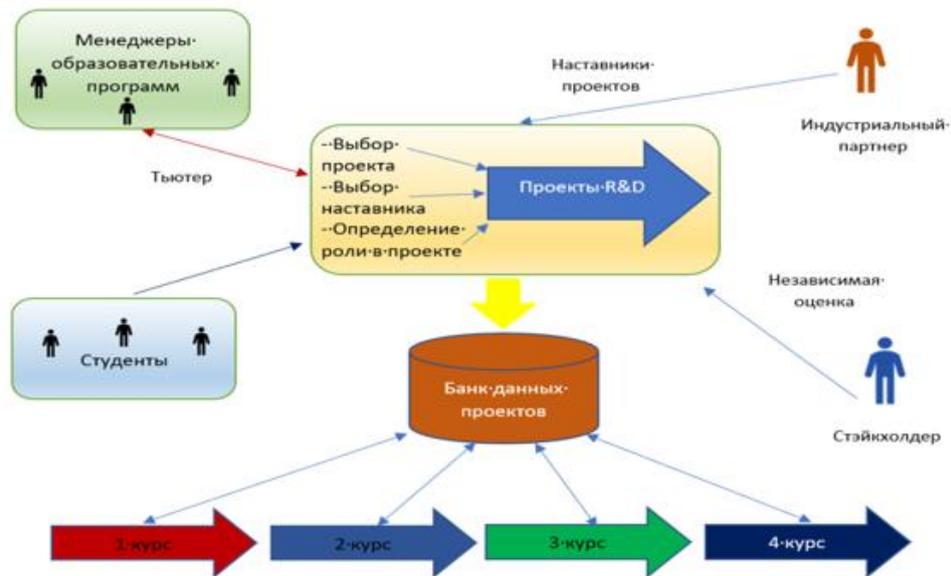


Рис. 4.10. Проектная деятельность в концепции цифрового двойника профессии.

Такой подход даст возможность охватить разработками компаний-партнеров практически всех выпускников, а разработанные проекты обеспечат мощный маркетинговый тренд в регионах вуза. Реализации прикладных проектов осуществляется в течении всего обучения, а не только на последних курсах, что наряду с R&D деятельностью создаст условия для опережающей подготовки инженерных кадров путем внедрения в образовательный процесс результатов исследований и разработок.

Повышение мотивации педработников, привлекаемых для решения задач инженерной школы осуществляется на основе комбинированной системы компенсаторного и пропорционального типа (формируемого за счет привлеченных средств).

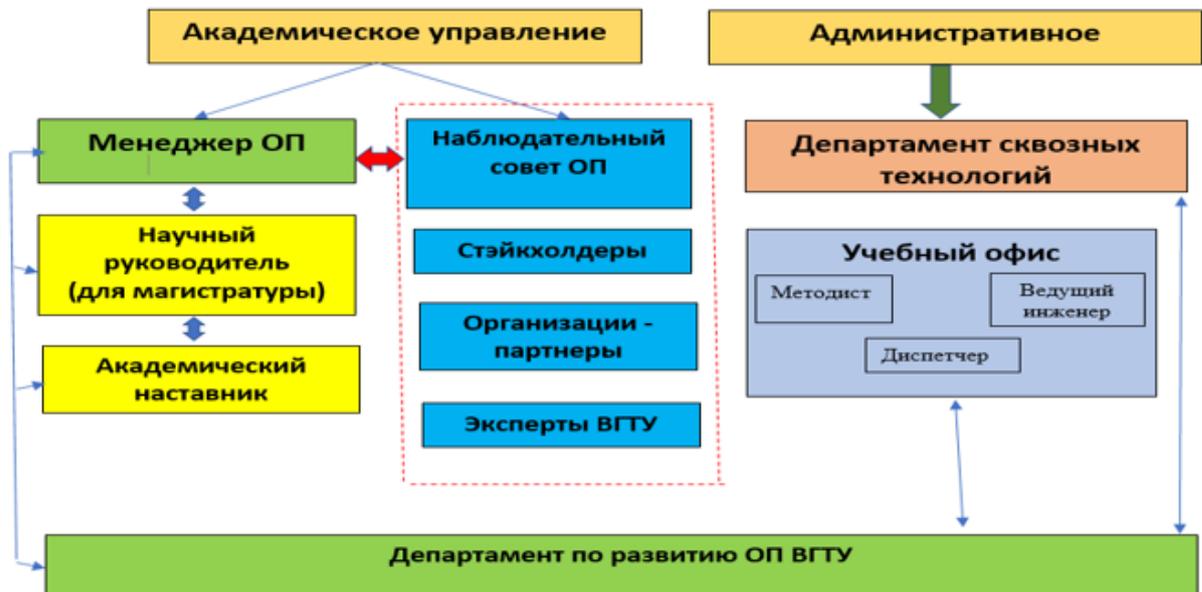


Рис. 4.11. Редизайн системы управления образовательной деятельностью.

По решению руководства ВУЗа каждый студент будет проходить индивидуальную образовательную траекторию, которая будет включать в себя изучение дисциплин по выбору и планы развития. Присутствие неопределенности (информационной непрозрачности) в системе образования, является основной причиной для функционирования системы управления ВУЗом. С целью формирования общего представления о динамике процесса обучения и его результатах, необходимы показатели успеваемости, их средние значения и соотношение учебных предметов с учебными планами и многое другое. Согласно статистическим данным, приведенная оценка является одной из основных составляющих успешного обучения.

Остановимся на подробном анализе управления такой схемой.

Пусть: A – ЛПР, $X - X$ – коэффициент возможных ситуаций в процессе обучения.

Тогда получается классическая игра с неопределённостью.

Пусть оценочные значения вероятности состояний системы известны.

$$q_1 = p(x_1)$$

$$q_2 = p(x_2)$$

$$q_3 = p(x_3)$$

Тогда орган управления имитирующий игрока А (в нашем случае A_1 располагает стратегиями, представляющими собой выбор определенного алгоритма обучения. Множество этих стратегий ограничено учебными планами, нагрузкой преподавателей, привлечением внешних совместителей и т.д. Успешность проекта определяется как процент повышения числа трудоустроенных студентов к линейной функции, описывающей среднее значение представлены матрицами (табл. 4.3 и 4.4). Первая соответствует тестировщику, вторая – product-менеджеру, описывающих стратегию А (принимающего решение), где:

A_1 – проректор по учебной работе

A_2 – декан факультета

A_3 – заведующий кафедрой

A_4 – ответственный за направление

A_5 – методист

X_1, X_2, X_3 – предполагаемые управленческие решения;

Принимающему решение стоит выбирать стратегию так, чтобы планка коэффициента не была ниже 0,72.

Подсчитаем показатели эффективности стратегий, по критерию Сэвиджа.

	X_1	X_2	X_3	q_i
A_1	0,8	1	0,8	$\geq 0,72$
A_2	0,6	0,8	0,8	
A_3	1	1	0,8	
A_4	0,8	0,8	0,8	
A_5	0,6	1	1	
q_i	0,76	0,92	0,84	

	X_1	X_2	X_3	q_i
A_1	0,8	0,8	0,8	$\geq 0,72$
A_2	0,6	0,8	1	
A_3	1	0,8	0,8	
A_4	0,8	0,8	0,8	
A_5	0,6	0,6	1	
q_i	0,76	0,76	0,88	

Ниже представлены расчетные результаты для показателей эффективности:

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{q_1} \quad 0,76 \quad 0,92 \quad 0,84 \\
 \mathbf{q_2} \quad 0,76 \quad 0,76 \quad 0,88
 \end{array}$$

Согласно полученным результатам, в соответствии с критериями и индивидуальными проявлениями игрока А к пессимизму и оптимизму, игрок А более склонен к пессимистическому анализу ситуации, чем к оптимистическому. Однако эти показатели находятся в одинаковом диапазоне значений.

По критерию Вальда $\alpha = \max_i \min_l a_{ik}$ вычисляем значение ключевого коэффициента, показывающего результативность выбора стратегии.

Расчет по Критерию Вальда показывает, что прирост трудоустроенных студентов по специальности «тестировщик» случае q_1 составит в среднем 76%, прирост трудоустроенных студентов по специальности «product – менеджер» в q_2 -также на 76%.

Результаты диссертации прошли апробацию и внедрены в виде раздела о индивидуальных образовательных траекториях студентов положения «О проектно-ориентированных образовательных программах в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»». Проведенные натурно-

вычислительные эксперименты показали, что успеваемость студентов бакалавриата направления 27.03.03 «Системный анализ и управление», обучающихся по индивидуальным образовательным траекториям повысилась на 19%.

Также результаты диссертации внедрены в практическую деятельность ООО «Angels IT» в виде регламента подготовки студентов базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления в учебном центре по партнерским программам. В результате корректировки учебных планов уточнены профессиональные компетенции выпускников, а также получены цифровые двойники следующих профессий: системный аналитик, администратор базы данных, что позволило повысить количество студентов-выпускников, максимально адаптированных под задачи компании на 19%.

4.3. Выводы по главе 4

1. 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 ЛПР.

2. 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 профессиональных компетенций необходимых для конкретной профессии. Программные модули управления реализуются на языке Python с соответствующими библиотеками, базы данных синтезированы в СУБД postgresSQL. 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

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, состоят в следующем:

1. В ходе анализа современных подходов к повышению эффективности управления в сложных организационных системах на основе их редизайна установлено следующее:

- 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. Варианты отыскания областей «общего блага» также неэффективны, т.к. интересы участников нежесткой организационной системы имеют вектора разной направленности.

- При автоматном варианте работы сложной организационной системы большинство моделей полученной системы массового обслуживания сводятся к блокировке каналов обслуживания, при изменении характера поступающих транзактов, что в условиях необходимости формирования гибких комбинированных структур недопустимо.

- Регулируемые параметры, которые влияют на эффективность работы организационной системы, являются детерминированными функциями, которые определяют показатель эффективности ее работы, при этом характер изменения целевой функции системы может носить накопительный непрерывный характер.

- Модель информационной поддержки принятия решений на основе логики предикатов не может быть применима для задач синтеза и управления сложными организационными системами, т.к. зачастую определить значения предикатов не представляется возможным, а взаимодействие со стейкхолдерами вообще трудно реализуемо.

- Технологии цифрового двойника в обучении студентов вузов являются перспективным направлением развития образования в целом и, изучив более подробно технологию "Цифровой двойник", вузы смогут повысить эффективность подготовки студентов, а также закрепить получение новых знаний и мотивировать их дальнейшее обучение, однако данная концепция на сегодняшний день не применяется для управления образовательным процессом в вузах при условии создания цифрового двойника выпускника конкретной специальности.

2. 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.

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

4. 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.

5. 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.

6. 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 ЛППР.

7. 2. 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.

8. 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 postgresSQL. 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%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев // Москва: Финансы и статистика. - 2001. - С. 203-211.
2. Баркалов С.А. Теория и практика имитационного моделирования при управлении / В.Е. Белоусов, С.А. Баркалов и [др.]. - Воронеж: Научная книга, 2008. - 436 с.
3. Баркалов С.А. Информационное обеспечение определения Парето оптимального решения динамических задач календарного планирования. /Баркалов С.А., Белоусов А.В.// Проектное управление в строительстве. Научный журнал. №1 (28). 2023. – С.102-109.
4. Баркалов С.А. Управление качеством / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов и [др.]. - Научная книга, 2009. - 372 с.
5. Баркалов С.А. Методы и модели оценки эффективности бизнес-процессов / В.Е. Белоусов, С.А. Баркалов и [др.]. – Нижний Новгород: Монография, 2012.- 225 с.
6. Баркалов, С.А. Моделирование системы оценки компетенций в управлении профессорско-преподавательским составом вуза / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Н.Ю. Калинина, Т.В. Насонова. М.А. Фомина, А.В. Лексашов // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). - Сборник докладов в 2-х томах. - Санкт-Петербург. - СПбГЭТУ «ЛЭТИ». - SCM 2018. - 23-25 мая 2018 г. - Т1. - С. 355 – 358.
7. Белоусов, В.Е. Алгоритм для оперативного определения состояний объектов в многоуровневых технических системах / В.Е. Белоусов, С.А. Кончаков// Экономика и менеджмент систем управления. Изд-во «Научная книга». - № 3.2. (17). - 2015. - С. 227-232.

8. Irina Pochbneva, Vadim Belousov, Irina Fateeva, Vitaly Lukinov and Tatyana Folomeeva. Algorithms of hierarchical mixture of opinions of experts in problems of synthesis of information management systems city development // MATEC Web of Conferences 170, 01120 (2018) SPbWOSCE-2017. – С. 55-59.

9. Белоусов, В.Е. Алгоритмы получения упорядоченных правил предпочтения в задачах принятия решений при планировании производственных программ / В.Е. Белоусов, К.С. Нижегородов, И.С. Соха // Научный журнал «Управление строительством». - Изд-во ВГТУ. – Воронеж. - 2019. - №1 (14). - С.105-111.

10. Белоусов, В.Е. Ресурсно-временной анализ в задачах календарного планирования строительных предприятий / В.Е. Белоусов, С.А. Баркалов, К.С. Нижегородов //Материалы XVI-ой Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами». - Изд-во ТГТУ. – Тамбов. - 2019. – Т.1. - С.98-101.

11. Белоусов В.Е. Алгоритм идентификации состояний многоуровневой технической системы с использованием расплывчатых категорий модели представления знаний [Текст]/ Белоусов В.Е., Абросимов И.П., Губина О.В.// Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. № 3. 2017. - С. 124-129.

12. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977.

13. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981.

14. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. - 245 с.

15. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. – 128 с.

16. Бурков, В.Н. Механизмы функционирования организационных систем /В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев // М.: Наука. - 1981.- 301 с.

17. Бессмертный, И. А. Интеллектуальные системы / И. А. Бессмертный, А. Б. Нугуманова, А. В. Платонов// Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 243 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01042-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт.
18. Болотова, Л. С. Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 1. Л.С. Болотова; ответственные редакторы В. Н. Волкова, Э.С. Болотов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 257 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8250-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт.
19. Болотова, Л. С. Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 2 Л. С. Болотова ; ответственные редакторы В. Н. Волкова, Э. С. Болотов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 250 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8251-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт
20. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для студ. Вузов. – 9-е изд., стер / Е.С. Вентцель. // – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 576.
21. Воробьев С.Н. Управленческие решения: учебник для вузов/ С.Н. Воробьев, В.Б. Уткин. // – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 317 с.
22. Вудкок Дж. Современные информационные технологии совместной работы/Пер. с англ. – М: Издательско-торговый дом «Русская Редакция», 1999.
23. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1972. Т. 1 – 3.
24. Воронин Александр Александрович, Губко Михаил Владимирович, Мишин Сергей Петрович, Новиков Дмитрий Александрович. Математические модели организаций: Учебное пособие. — М.: ЛЕНАНД, 2008. — 360 с.
25. Воронов А.А. Исследование операций и управление. М.: Наука, 1970. – 128 с.
26. Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
27. Воронина, Валерия Вадимовна Теория и практика машинного обу-

чения : учебное пособие / В. В. Воронина, А. В. Михеев, Н. Г. Ярушкина, К. В. Святков. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 290 с.

28. Гламаздин Е.С., Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы управления корпоративными программами: информационные системы и математические модели. М.: Спутник+, 2001. – 159 с.

29. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. – 156 с.

30. Губко, М.В. Согласование интересов в матричных структурах управления / М.В. Губко, А.П. Караваев // Москва: Автоматика и телемеханика. – 2001. - № 10. - С. 112 – 119.

31. Горелик, А.Л. Методы распознавания /А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин// Москва: Высшая школа. – 2004. – 341 с.

32. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М.: Наука, 1976. - 327 с.

33. Гилев С.Е., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.

34. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Т. Джонс. — Москва : ДМК Пресс, 2011. — 312 с. — ISBN 978-5-94074-746-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1244>.

35. Дегтярева, Н.А. Модели анализа и прогнозирования на основе временных рядов: монография / Н.А. Дегтярева. – Челябинск: Изд-во ЗАО «Библиотека А. Миллера, 2018. – 160 с.

36. Дорофеев Д.В. Моделирование автоматизированных информационных систем на основе вероятностных автоматов с блокировкой обслуживания. [Текст]/ Белоусов В.Е., Дорофеев Д.В., Можарова Л.А.// Вестник Южно-Уральского государственного университета. серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2022. т. 22. № 4. - С.- 27-37.

37. Дорофеев Д.В. Применение методов информационной инженерии для изменения структуры многоуровневых систем организационного управления. [Текст] /Белоусов В.Е., Дорофеев Д.В., Зенкова Е.Н.// Вестник Южно-Уральского государственного университета. серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. т. 21. № 2. - С.- 136-144.

38. Дорофеев Д.В. Информационная модель поддержки процессов управления производственными потоками автоматизированного производства. [Текст] /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. Том 23, № 4 (2023) - С. - 47-57.

39. Dorofeev D.V. 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.

40. Дорофеев Д.В. Моделирование процессов информационного обеспечения при принятии решений. [Текст] /Белоусов В.Е., Дорофеев Д.В., Котенко А.М.// «Междисциплинарные исследования экономических систем». Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией А.Н. Бородулина. Тверь, 2022. - С. - 29-35.

41. Дорофеев Д.В. Механизмы парного сравнения объектов в сложных системах управления. [Текст]/Белоусов В.Е., Харитонов Т.Б., Дорофеев Д.В.// Проектное управление в строительстве. 2020. № 4 (21). - С. 113-122.

42. Дорофеев Д.В. Механизмы планирования и оценивания результатов функционирования двухуровневых организационных систем. [Текст] /Белоусов В.Е., Дорофеев Д.В., Кудрявцева И.С.// Проектное управление в строительстве. 2021. № 2 (23). - С. - 90-96.

43. Дорофеев Д.В. Механизмы парного сравнения объектов в сложных

системах управления. [Текст] /Белоусов В.Е., Аверина Т.А., Дорофеев Д.В.// Проектное управление в строительстве. 2021. № 4 (25). - С. 20-29.

44. Дорофеев Д.В. Оптимизационная математическая модель перераспределения ресурсов в управлении проектами. [Текст] /Глушков А.Ю., Дорофеев Д.В., Моисеев С.И., Перевалова О.С.// В сборнике: Системное моделирование социально-экономических процессов. труды 43-ой Международной научной школы- семинара. Под редакцией В.Г. Гребенникова, И.Н. Щепиной. Воронеж, 2020. - С. - 422-426.

45. Жилаев А.А. Средства построения «Цифрового двойника» продукции при управлении предприятием на основе мультиагентных подходов.: Диссертация. Самарский ГТУ., 2021. – 137 с.

46. Капустин В. Ф. Элементы статистической теории информации: Конспект лекций. Лекция 1. —СПб., 1996.

47. Белоусов А.В., Кудрявцева И.С. Информационное обеспечение процессов поиска Парето-оптимального решения многокритериальных задач междисциплинарные исследования экономических систем // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Междисциплинарные исследования экономических систем». Под редакцией А.Н. Бородулина. Тверь, 2022 – С.176-183.

48. А.В. Кугаевских, Д.И. Муромцев, О.В. Кирсанова. Классические методы машинного обучения. – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 53 с.

49. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ / под. ред. И.В. Красикова. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.

50. Лимановская, О.В. Основы машинного обучения: учебное пособие / О.В. Лимановская, Т.И. Алферьева; Мин-во науки и высш. образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. — 88 с.

51. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. М.: Наука, 1972 – 576 с.

52. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
53. Лотоцкий В.А. Идентификация структур и параметров систем управления // Измерения. Контроль. Автоматизация. 1991. № 3-4. С.30–38.
54. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования / Ю.П. Лукашин. // - М.: Статистика, 1979. – 121с.
55. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров. // - М.: Наука, 1982. – 212с.
56. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. - 344 с.
57. Масюк Н.Н. Основные тренды цифровой трансформации экономики: Коллективная научная монография / Под редакцией д.э.н. Масюк Н.Н. – Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2021. – 200 с.
58. Мишин С.П. Оптимальное стимулирование в многоуровневых иерархических структурах // Автоматика и Телемеханика. 2004. № 5. С. 96 – 119.
59. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1974. - 526 с.
60. Моррис У. Наука об управлении: Байесовский подход. М.: Мир, 1971.
61. Мякишев В.В. Использование методов искусственного интеллекта в САПР. Анализ отечественного и зарубежного опыта / В.В. Мякишев, В.В Тарасов.// - Техническая кибернетика, №1.- 1991.- С. 164-176.
62. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. -161 с.
63. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. – 102.
64. Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. М.: ИПУ РАН, 2002. – 124 с.
65. Основы управления качеством продукции. – М.: Издательство стандартов, 1996.

66. Петров В.Н. Информационные системы СПб. Издательство: - Питер, 2002.-688с.
67. Подлипаев Л.Д. Технология внедрения и постоянное улучшение системы менеджмента качества на предприятии. – М.: Гелиос АРВ, 2004 – 408 с.
68. Розанов Ю.В. Случайные процессы / Ю.В. Розанов.//– М.: НАУКА, 1971. – 287 с.
69. Розен В.В. Цель - оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений) / В.В. Розен.//– М.: Радио и связь, 1982. – 168 с.
70. Сай В.М. Формирование организационных структур управления. М.: ВИНТИ, 2002. - 437 с.
71. Санталайнен Т. Управление по результатам. М.: Прогресс, 1988.- 320с.
72. Система стандартов эргонометрических требований и эргонометрического обеспечения. Методы обработки экспертных систем //– Постановление Государственного комитета по стандартам № 2098. - 1985.-35с.
73. Новиков Д.Н. Механизмы гибкого планирования в активных системах с неопределенностью / Д.Н. Новиков. //- Автоматика и телемеханика, - 1997. - С. 188-125.
74. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. – 108 с.
75. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. М.: Апрстроф, 2005. – 584 с.
76. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Московский психолого-социальный университет, 2005. – 68 с.
77. Новиков Д.А., Петраков С.Н., Федченко К.А. Децентрализация механизмов планирования в активных системах // Автоматика и Телемеханика. 2000. № 6. С. 120 – 126.

78. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. – 102.
79. Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. М.: ИПУ РАН, 2002. – 124 с.
80. Петраков С.Н. Децентрализация механизмов планирования в активных системах /Новиков Д.А., Петраков С.Н., Федченко К.А. // Автоматика и телемеханика, Москва. Номер: 6 Год: 2000 – С.143-155.
81. Петров В.Н. Информационные системы СПб. Издательство: - Питер, 2002.-688с.
82. Подлипаев Л.Д. Технология внедрения и постоянное улучшение системы менеджмента качества на предприятии. – М.: Гелиос АРВ, 2004 – 408 с.
83. Райзберг Б.А. Программно-целевое планирование и управление. Учебник /Б.А. Райзберг.//– М.: ИНФА – М, 2002. – 428 с.
84. Розанов Ю.В. Случайные процессы / Ю.В. Розанов.//– М.: НАУКА, 1971. – 287 с.
85. Розен В.В. Цель - оптимальность – решение (математические модели принятия оптимальных решений) / В.В. Розен.//– М.: Радио и связь, 1982. – 168 с.
86. Сай В.М. Формирование организационных структур управления. М.: ВИНТИ, 2002. - 437 с.
87. Санталайнен Т. Управление по результатам. М.: Прогресс, 1988.- 320с.
88. Сакато Сиро. Практическое руководство по управлению качеством продукции (пер. с японск.) – М.: Машиностроение, 1994.
89. Система стандартов эргонометрических требований и эргонометрического обеспечения. Методы обработки экспертных систем //– Постановление Государственного комитета по стандартам № 2098. - 1985.-35с.
90. Советов Б.Я. Моделирование систем: Учеб. для вузов / Б.Я. Советов

тов.// – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. шк.,2001. – 343 с.

91. Судоплатов С.В. Элементы дискретной математики: Учебник / С.В. Судоплатов. // – М.: ИНФРА-М, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 280 с.

92. Смирнов Э. А. Разработка управленческих решений: Учебник для вузов. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.

93. Санталайнен Т. Управление по результатам. М.: Прогресс, 1988.- 320 с.

94. Салимова Т.А., История управления качеством. Учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2005 – 256 с.

95. Сыроежин И. М. Планомерность. Планирование. План. (Теоретические очерки). - м.: Экономика, 1986. - 248 с.

96. Томпсон А. А., Стрикленд А. Дж. Стратегический менеджмент. — М.: ЮНИТИ, 1998. - 576 с.

97. Такенбаум Э. Компьютерные сети / Э. Такенбаум. // – СПб.:Питер. 2002. – 848 с.

98. Толковый словарь по управлению проектами / Под ред. В.К. Иванец, А.И. Кочеткова, В.Д. Шапиро, Г.И. Шмаль. М.: ИНСАН, 1992.

99. Уздемир А.П. Динамические целочисленные задачи оптимизации в экономике. – М.: Физматлит, 1995.

100. Уемов В.И. Системный подход и общая теория систем. - М.: Наука, 1978.-272с.

101. Федюкин В.К. Актуальные вопросы методологии квалиметрии// Вестник ИНЖЭКОНа. Серия «Технические науки». Выпуск 6 (19). СПб.: СПбГИЭУ, 2007. С. 155-164.

102. Extractive Summarization using Continuous Vector Space Models / M. Kageback et al. // Proc. 2nd Workshop on Continuous Vector Space Models and their Compositionality (CVSC)@ EACL, 2024. — P. 31–39.

103. A Hierarchical Recurrent Encoder-Decoder for Generative Context-Aware Query Suggestion / A. Sordoni et al. // Proc. 24th ACM International on Con-

ference on Information and Knowledge Management, New York, NY, USA: ACM, 2020. — P. 553–562.

104. Show, Attend and Tell: Neural Image Caption Generation with Visual Attention / K. Xu et al. // arXiv, 2019, vol. 2, no. 3. — P. 5.

105. Jordan M.I. [Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine]. *The Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 2019, pp. 531-546, (Amherst, MA.)

106. Ballesteros M., Dyer C., Smith N. A. Improved Transition-based Parsing by Modeling Characters instead of Words with LSTMs // Proc. EMNLP 2015, Lisbon, Portugal: ACL, 2015. — P. 349–359.

107. Baroni M., Zamparelli R. Nouns Are Vectors, Adjectives Are Matrices: Representing Adjective-noun Constructions in Semantic Space // Proc. EMNLP 2010, Stroudsburg, PA, USA: ACL, 2020. — P. 1183–1193.

108. Hierarchical Neural Language Models for Joint Representation of Streaming Documents and Their Content / N. Djuric et al. // Proc. 24th WWW, New York, NY, USA: ACM, 2015. — P. 248–255.

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования **Дорофеева Дмитрия Валериевича «Управление процессами принятия решений в образовательных системах в условиях редизайна на базе модели цифрового двойника»**, а именно:

- Экспертная модель синтеза и пополнения знаний для редизайна систем управления образовательной деятельностью,

- Алгоритм принятия управленческих решений в условиях редизайна систем управления образовательной деятельностью,

внедрены в практическую деятельность ООО «Angels IT» в виде регламента подготовки студентов базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления в учебном центре по партнерским программам. В результате корректировки учебных планов уточнены профессиональные компетенции выпускников, а также получены цифровые двойники следующих профессий: системный аналитик, администратор базы данных, что позволило повысить количество студентов-выпускников, максимально адаптированных под задачи компании на 19%.

Директор ООО «Angels IT»



Роман Иванович Попов

«1» сентября 2023 г.