Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

На правах рукописи

РЫНДИН Никита Александрович

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ

Специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах

Диссертация на соискание учёной степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Сахаров Юрий Серафимович

Воронеж — 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ С РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДОЙ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ 16

1.1 Характеризация развивающейся цифровой среды, ориентированной на повышение эффективности управления в организационных системах 17

1.2 Роль оптимизационного подхода для повышения эффективности управления в цифровизированной организационной системе 22

1.3 Необходимость реализации оптимизационного подхода на концептуальной основе многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды 32

Выводы первой главы 37

ГЛАВА 2. АППАРАТ МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ КАК КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВИЗИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ 39

2.1 Структуризация взаимодействия управляющего центра, составляющих организационной системы и компонентов развивающейся цифровой среды принятия управленческих решений 40

2.2 Уровни многовариантной структуризации 46

2.3 Построение алгоритмического обеспечения многовариантной структуризации 51

2.4 Этапы многовариантной структуризации в цифровизированных организационных системах 60

Выводы второй главы 66

ГЛАВА 3. ОПТИМИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В ЦИФРОВИЗИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ 69
3.1 Оптимизационное моделирование процесса многовариантной структуризации на компонентном уровне 70
3.2 Оптимизационное моделирование интеграционного процесса многовариантной структуризации 75
3.3 Оптимизационное моделирование процессов кластерной и последовательностной многовариантной структуризации 82
Выводы третьей главы 90
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА СТАДИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 93
4.1 Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления 94
4.2 Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления в организационных системах 102
4.3 Оптимизация процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления 108
Выводы четвертой главы 117
ГЛАВА 5. МНОГОВАРИАНТНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ 119
5.1 Характеризация взаимодействия задач деятельности и групп исполнительных эргатических элементов 120

5.2 Формирование иерархической схемы показателей управления эффективностью функционирования автономной организационной системы 128
5.3 Формирование множества вариантов реализаций компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой 133
5.4 Реализация уровня интеграционной оптимизации 135
5.5 Реализация уровня ресурсно-распределительной оптимизации . . . 147
Выводы пятой главы 152
ГЛАВА 6. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ В ПРАКТИКЕ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ АГРАРНОГО ПРОФИЛЯ 153
6.1 Характеризация компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой «Агрополе» 153
6.2 Формирование требований к показателям эффективности функционирования автономной организационной системы на основе план-фактного анализа 171
6.3 Многовариантная структуризация системы цифрового управления севооборотом 177
6.4 Многовариантная структуризация системы цифрового управления эффективностью функционирования автономной организационной системой 187
Выводы шестой главы 201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 203
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 205
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акты внедрения 227
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ . . . 233

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Эффективность управления в организационных системах на современном этапе существенным образом связана с интенсификацией процесса их цифровизации. Цифровая трансформация при осуществлении мониторинга функционирования организационных систем, принятии управленческих решений определяет перспективные тенденции их развития. Цифровая среда управления превращается в неотъемлемую часть цифровизированной организационной системы и представляет собой сложный, высокоорганизованный комплекс, нацеленный на передачу, обработку и хранение данных для принятия управленческих решений и обладает следующими особенностями:

1. Широкий охват большого количества разнородных задач, связанных с управлением в различных видах деятельности организационных систем.

2. Использование, во многих случаях, нетривиальных технологий, соответствующих специфике решаемых задач.

3. Интеграция программных пакетов, технических средств и технологий различного назначения, вызванная необходимостью решения задач, одновременно затрагивающих несколько слоев управления в организационных системах.

4. Синхронизация распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития как составляющих организационной системы, так и компонентов цифровой среды управления, объединенных в единое целое.

Наиболее активно процесс цифровизации организационных систем имеет место в организационных структурах объектов сетевой торговли, агропромышленной сферы (распределенные холдинги, крупные объединения), объектов промышленной стройиндустрии и т.д.

Эффект, при использовании цифровой среды, зависит от уровня её совместимости с активными элементами управляющего центра и эргатическими исполнительными элементами организационной системы. Такая совместимость определяется структуризацией цифровой среды на компонентном и интеграционном уровнях. Изменение требований управляющего центра к эффективности функционирования организационной системы, необходимость решения новых задач

управления, снижение функциональности эксплуатируемых компонентов ниже критического уровня, требуют исследования цифровой среды как развивающейся системы. Динамика её характеристик влияет на степень выполнения установленных требований в рамках единой цифровизированной организационной системы. Для достижения оптимального результата принимаются управленческие решения, связанные с выбором компонентов, способа их интеграции и распределения объемов ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития составляющих организационных систем, интегрированных с цифровой средой управления.

Исследования по проблемам принятия решений на структурном и ресурсном уровнях базируются на канонических методах оптимизации управления в организационных системах и нашли отражение в научных трудах отечественных и зарубежных ученых Д. И. Батищева, А. М. Бершадского, В. Н. Буркова, Н. П. Бусленко, М. Б. Гузаирова, В. А. Зернова, Э. Квейда, Я. Е. Львовича, В. Г. Наводнова, Д. А. Новикова, Ю. С. Сахарова, Т. Саати, Г. А. Угольницкого, А. В. Щепкина, Д. Б. Юдина и других.

Однако, результаты, полученные в общей теории управления, не направлены на создание концептуальной основы оптимизации принятия управленческих решений в рамках целостной системы: управляющий центр – цифровая среда – составляющие организационной системы. Отсутствие такой концепции снижает эффект применения канонических методов оптимизации, поскольку они не ориентированы на влияние развивающейся цифровой среды управления на показатели эффективности организационных систем.

Вопросам цифровизации управления в организационных системах, управлению человеко-машинными системами, оптимального построения цифровых информационных систем посвящены исследования Д. Роджерса, А. Н. Козырева, С. Д. Кузнецова, А. И. Губинского, Б. Я. Советова, С. А. Баркалова, Д. А. Поспелова, М. Кантора, Д. Клира, А. Якобсона, Г. Буча, Д. Рамбо, Ю. Ф. Тельнова, А. М. Вендорова.

Анализ и обобщение работ в исследуемой области показал, что в них исследуются в основном отдельные аспекты поиска оптимальных структур цифровых систем управления и проектирования информационных систем. При этом недостаточно изучена и проработана задача по выявлению зависимости между показателями эффективности функционирования организационной системы и ресурсным обеспечением на развитие и функционирование цифровой среды управления, оптимальной интеграции компонентов такой развивающейся среды принятия управленческих решений в организационных системах.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью формирования концептуальной основы оптимизации развивающейся цифровой среды принятия решений, интегрированной с организационной системой, в условиях интенсификации перехода к цифровизированному управлению в организационных системах.

Научная проблема исследования заключается в оптимизации управления процессами принятия решений в организационных системах, интегрированных с развивающейся цифровой средой.

Работа выполнена в рамках основных научных направлений Воронежского государственного технического университета «Интеллектуальные информационные системы» и «Вычислительные комплексы и проблемно-ориентированные системы управления» в соответствии с приказом ВГТУ №246 от 20.05.2021 года в русле положений национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7, государственной программной «Информационное общество».

Объект исследования: процесс управления в организационных системах, интегрированных с развивающейся цифровой средой принятия решений.

Предмет исследования: принципы, модели и алгоритмы оптимизации развивающейся цифровой среды принятия решений, обеспечивающие повышение эффективности управления в организационных системах.

Цель и задачи исследования. Целью работы является развитие теоретических основ построения цифровизированных компонент организационных систем для повышения эффективности управления за счет оптимальной интеграции с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений на концептуальной основе многовариантной структурной оптимизации.

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

– проанализировать пути повышения эффективности управления в организационных системах, интегрированных с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений;

– сформулировать и обосновать аппарат многовариантной структуризации, определяющий концептуальную основу оптимизации цифровизированных организационных систем;

– осуществить построение модели задачи компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах;

– осуществить синтез оптимизационных моделей и алгоритмов интеграции компонентов в развивающейся цифровой среде управления в организационных системах;

– разработать модели и алгоритмы оптимизации ресурсного обеспечения процессов функционирования и развития цифровизированных организационных систем;

– осуществить построение проблемно-ориентированных оптимизационных моделей и алгоритмов многовариантной структуризации цифровизированной автономной организационной системы;

– оценить эффективность применения разработанных принципов, моделей и алгоритмов в практике управления в цифровизированных организационных системах.

Методы и методология исследования. Для решения поставленных задач использовались основные положения теории управления в организационных системах. исследования операций, теории вероятностей и математической статисти-

ки, теории информации, методы моделирования, оптимизации и экспертного оценивания. Общей методологической основой является системный подход.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Структура процесса управления в цифровизированных организационных системах, отличающаяся механизмом её интеграции с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений на концептуальной основе многовариантной структуризации и обеспечивающая эффективное взаимодействие управляющего центра и объектов рассматриваемой системы.

2. Аппарат многовариантной структуризации, отличающиеся механизмом последовательной редукции при оптимальном выборе компонентов, объединенных в целостную структуру, на основе энтропийный оценок разнообразия вариантов интеграции и обеспечивающие концептуальную основу моделирования и оптимизации процессов управления в цифровизированных организационных системах.

3. Формализованное описание задачи компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах, отличающееся способами оценивания параметров влияния альтернативных реализации компонентов на достижение установленных требований при построении оптимизационных моделей и обеспечивающее предпосылки для осуществления последующих этапов многовариантной структуризации.

4. Модель и алгоритм интеграционной оптимизации развивающейся цифровой среды управления, отличающаяся формализованным описанием экстремальных и граничных требований многовариантной структуризации на основе зависимости показателей эффективности функционирования организационной системы от альтернативных переменных и обеспечивающие при реализации оптимального варианта интеграции поддержку принятия требуемого комплекса управленческих решений.

5. Модели кластерной и последовательностной оптимизации цифровой среды управления, отличающиеся оценками эффекта влияния характеристик ком-

понентов на выполнение требований к показателям эффективности организационной системы при формировании групповой упорядоченности компонентов и последовательности перехода между ними и обеспечивающие учет порядка их предшествования при введении новых задач принятия управленческих решений.

6. Оптимизационные модели и алгоритмы управления распределением ресурсного обеспечения по временным интервалам функционирования и развития цифровизированной организационной системы, отличающиеся математическими приемами формирования семейства связанных задач оптимизации и их последовательного решения, начиная с последнего интервала, при заданных граничных условиях, до начального и обеспечивающие функциональность эксплуатируемых компонентов и расширение их множества в случае введения новых задач принятия решений.

7. Модель и алгоритм синхронизации объемов ресурсного обеспечения на эффективное функционирование и развитие цифровизированной организационной системы, отличающиеся оптимальным выбором условий перехода от поддержания функциональности эксплуатируемых компонентов к вводу новых компонентов и обеспечивающие устойчивый характер процесса принятия управленческих решений в организационных системах.

8. Проблемно-ориентированные оптимизационные модели и алгоритмы многовариантной структуризации цифровизированной автономной организационной системы, отличающейся характером взаимосвязи задач деятельности, групп исполнительных эргатических элементов, компонентов цифровой среды управления в рамках иерархической схемы показателей эффективности исследуемой системы и обеспечивающие реализацию принципов интеграционной и ресурсораспределительной оптимизации.

9. Структура программного комплекса многовариантной структурной оптимизации цифровизированной организационной системы, отличающаяся оптимальным выбором компонентов программной среды, обеспечивающим выполнение заданных управляющим центром требований к характеристикам организаци-

онной системы, эффективное функционирование цифровой среды на протяжении всего жизненного цикла её существования.

Теоретическая значимость заключается в развитии ряда канонических методов принятия управленческих решений путем их проблемной ориентации на предложенные в работе принципы многовариантной структуризации, являющиеся концептуальной основой оптимизации управления в цифровизированной организационной системе.

Практическая значимость заключается в разработке алгоритмического и программного обеспечения цифровой среды для различных цифровизированных организационных систем:

– системы цифровизации управления экономическими характеристиками в организационных системах предприятий агропромышленного комплекса;

– системы управления акселерации студенческих стартапов ИТ-проектов в организационной системе образования технических вузов;

– систему цифрового управления и распределения бюджета департамента цифрового развития Правительства Воронежской области.

Достоверность и обоснованность результатов. Достоверность научных результатов работы подтверждается непротиворечивостью и согласованностью с известными фактами и исследованиями в рассматриваемой области, высокой степенью сходимости теоретических результатов с данными экспериментов и определяется применением теоретических и методологических основ разработок ведущих ученых в области управления в организационных системах, корректным ои обоснованным использованием математического аппарата, экспериментальными реализациями разработанных моделей и методов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Структура процесса управления позволяет интегрировать в организационную систему цифровые компоненты, поддерживающие принятие решений при взаимодействии управляющего центра и составляющих системы.

2. Аппарат многовариантной структуризации позволяет осуществить на единой концептуальной основе редукционный механизм объединения компонен-

тов в единую структуру и определяет концептуальную основу моделирования и оптимизации управления в цифровизированной организационной системе.

3. Формализованное описание задачи компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах позволяют осуществить процесс дихотомической редукции множества альтернативных реализаций компонентов с выделением перспективного подмножества, используемого на последующих этапах многовариантной структуризации.

4. Модель и алгоритм интеграционной оптимизации позволяет формализовать описание экстремальных и граничных требований многовариантной структуризации с учетом влияния альтернативных переменных выбора компонентов развивающейся цифровой среды управления на показатели функционирования организационной системы и определить оптимальный вариант поддержки принятия требуемого комплекса управленческих решений.

5. Модели кластерной и последовательностной оптимизации развивающейся цифровой среды управления позволяют оценить эффект влияния характеристик компонентов на выполнение требований управляющего центра к показателям эффективности функционирования цифровизированных организационных систем с учетом порядка предшествования этих компонентов при введении новых задач принятия управленческих решений.

6. Оптимизационные модели и алгоритмы управления распределением ресурсного обеспечения по временным интервалам функционирования и развития цифровой среды управления в организационных системах позволяют сформировать семейства связанных задач оптимизации и их последовательное решение, начиная с последнего интервала при заданных граничных условиях до начального.

7. Модель и алгоритм синхронизации ресурсного обеспечения на эффективное функционирование и развитие цифровизированных организационных систем позволяют оптимизировать условия перехода от поддержания функциональности компонентов к вводу новых с обеспечением устойчивого характера процесса принятия управленческих решений.

8. Проблемно-ориентированные оптимизационные модели и алгоритмы многовариантной структуризации цифровизированной автономной организаци-

онной системы позволяют на основе исследования взаимосвязей всех её компонентов в рамках иерархической схемы показателей эффективности выбрать оптимальные реализации цифровых средств в интегрированной сфере управления и оптимизировать распределение ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития.

Внедрение результатов работы. Результаты работы были использованы для реализации в системе цифровизации управления деятельностью агропромышленных предприятий «Агрополе», которая внедрена в ряде предприятий Воронежской области и департаменте аграрной политики Администрации ВО. Система «Агрополе» представляет собой развивающуюся цифровую среду управления организационной системой сельхозпредприятий и использует разработанные модели и алгоритмы для ресурсного планирования, контроля соответствия планируемых и фактических экономических показателей деятельности таких предприятий.

Разработанные методы, математические модели и алгоритмы многовариантной структурной оптимизации цифровой среды используются в департаменте цифрового развития Воронежской области для оценки эффективности эксплуатируемых и разрабатываемых средств цифровизации государственного управления, для оптимизации распределения бюджета на сопровождение и развитие цифровой среды управления департамента в соответствии с требованиями Правительства Воронежской области, что позволяет более рационально использовать выделяемые средства на организацию эффективного функционирования имеющихся программно-технических комплексов.

Разработанная система многовариантной структурной оптимизации информационных систем внедрена в учебный процесс по направлению магистерской подготовки 09.04.02 «Информационные технологии и системы» ВГТУ.

Соответствие паспорту специальности 2.3.4. Управление в организационных системах. Содержание работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

– п.3 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах»;

– п.4 «Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах;

– п.8 «Разработка проблемно-ориентированных систем управления и оптимизации организационных систем»;

– п.10 «Разработка новых информационных технологий для решения задач управления организационными системами».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на: Всесоюзной конференции «Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах» (Воронеж, 2005), 13 Международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2021)» (Пенза, 2021), международной конференции AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Красноярск, 2021), международной конференции Modern informatization problems in economics and safety (MIP-2022ES). Proceedings of the XXVII-th International Open Science Conference, международной научно-практической конференции «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм» (Воронеж, 2018), ежегодных научно-практических конференциях «Интеллектуальные информационные системы» (Воронеж, 2020-2022), ежегодных международных молодежных науч-ных школах «Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах» (Воронеж, 2020-2022), 13 Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании» (ИТО-Саратов-2021), 28 международной открытой конференции «Современные проблемы информатизации» – «Modern Informatization Problems».

Публикации. По материалам диссертации обуликовано 45 научных работ: 27 статей [15, 18, 24—26, 77, 111—113, 115—118, 155, 156, 158, 159, 164—167, 169, 170, 173—175, 185], 16 материалов научных конференций [19—23, 56, 114, 157, 160—162, 168, 171, 172, 176, 178], 4 свидетельства о регистрации программы

для ЭВМ [181—184] в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, 2 монографии [163, 177], в том числе 15 работ опубликованы без соавторов.

Работы [77, 111, 112, 116—118, 156, 158, 159, 167, 173, 174, 177, 185] опубликованы в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации; работы [15, 18, 24—26] – в изданиях, включенных в международную наукометрическую базу Scopus.

Личный вклад автора. В совместных публикациях основные научные результаты получены автором лично. Автором предложены методы, модели и алгоритмы интеграционной, кластерной, последовательностной оптимизации, модели и алгоритмы управления распределения ресурсного обеспечения стадий развития и функционирования цифровизированных организационных систем, модель и алгоритм синхронизации ресурсного обеспечения на эффективное функционирование и развитие цифровизированных организационных систем.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Диссертация изложена на 236 страницах машинописного текста. Диссертация содержит 47 рисунков и 10 таблиц. Библиография включает 209 наименований.

ГЛАВА 1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ С РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДОЙ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Первая глава диссертации носит постановочный характер и посвящена методологии исследования. В первом параграфе приводится характеризация развивающейся программной цифровой среды, ориентированной на повышение эффективности управления в организационных системах. Обсуждаются основные понятия и характеристики развивающихся систем и их математическая формализация с помощью динамических и вероятностных характеристик.

Основной замысел работы состоит в приложении теории многовариантной структуризации для решения задач управления в организационных системах, использовании методов многоальтернативной и стохастический оптимизации для повышения эффективности управления в таких системах. Во втором параграфе главы определены подходы к обеспечению эффективности управления при формировании множества требований к функционированию организационной системы. Проведен анализ методов и моделей поддержания функциональности и развития цифровых систем, жизненный цикл которых достаточно длителен и включает в себя серьезные доработки уже в процессе использования этих систем для принятия управленческих решений. Выделены основные этапы оптимизации развития цифровой среды управления. В соответствии с этими этапами предложена структура управления в организационной системе, интегрированной с развивающейся цифровой средой.

В третьем параграфе предлагается концептуальная основа повышения эффективности управления в организационных системах – многовариантная структуризация. Определяются основные понятия и принципы многовариантной структуризация для оптимизации управления в развивающейся цифровой среде принятия управленческих решений в организационных системах.

1.1 Характеризация развивающейся цифровой среды, ориентированной на повышение эффективности управления в организационных системах

Определим основные понятия этого параграфа. Здесь организационная система рассматривается как совокупность внутренних взаимосвязанных частей организации (объектов, групп эргатических исполнительных элементов), образующая некоторую целостность. При этом все составляющие объединены единством целей, взаимосвязанностью осуществляемой деятельности, совместным использованием ресурсов и наличием единого управляющего центра. С этих позиций функционирование организационной системы основано на взаимодействии управляющего центра и составляющих, входящих в систему [50, 104, 192]. В настоящее время характерна разная степень автоматизации процесса принятия управленческих решений от локального применения информационных технологий до построения корпоративных и интеллектуальных систем [4, 63, 68, 75, 119, 137, 143, 145, 152, 194, 202].

Дальнейшее повышение эффективности принятия управленческих решений в организационных системах за счет средств информатизации существенным образом зависит от возможностей и характеристик цифровой среды управления, объединяющей программные и аппаратные компоненты для решения определенного множества локальных задач управления [45, 89, 110, 122, 151, 205]. Такая среда является развивающейся, поскольку с одной стороны происходит снижение эффективности функционирования её компонентов ниже критического уровня и требуется их замена, а с другой – возникают новые задачи управления, требующие применения новых компонентов [21, 23, 156, 159].

В работе под развивающейся цифровой средой будем понимать многокомпонентную цифровизированную систему управления, поддерживающую управленческие действия в организационной системе на двух уровнях: управляющего центра и объектов или групп исполнительных эргатических элементов, каждый из которых интегрирован с компонентами цифровой среды. В этом случае, организационную систему, интегрированную с развивающейся цифровой средой управле-

ния, будем называть цифровизированной организационной системой [20, 71, 113, 114, 162].

Основной комплекс задач управления в организационной системе связан с распределением управляющим центром ресурсного обеспечения на функционирование и развитие составляющих, входящих в систему. В случае цифровизированной организационной системы часть ресурсного обеспечения выделяется на функционирование и развитие цифровой среды управления по двум направлениям:

– поддержание эффективности функционирования компонентов цифровой среды управления и увеличение длительности их жизненного цикла;

– развитие за счет применения компонентов с функциональностью, соответствующей новым задачам управления, и замены компонентов, выработавших свой жизненный цикл.

Рассмотрим возможности реализации цифровизированной организационной системы с использованием традиционных подходов к формированию комплекса аппаратных и программных средств, обеспечивающих цифровое управление [11, 45, 58, 134, 146, 149, 205] и обоснуем необходимость применения оптимизационного подхода для повышения эффективности принятия управленческих решений.

1. Архитектурный подход направлен на формирование единой, в большинстве случаев иерархической, структуры взаимодействия компонентов развивающейся цифровой среды и частично позволяет решить задачу определения структурных решений, которые способствуют увеличению жизненного цикла эксплуатируемых средств и ввода новых [1, 2, 79, 94, 179].

2. Технологический подход основан на использовании современных лингвистических средств для создания программных продуктов, отражающих алгоритмические действия при принятии управленческих решений и обеспечивающих взаимодействие компонентов развивающейся цифровой среды, позволяющей трансформировать архитектурные решения в программные коды с последу-

ющим производством ПО цифровых платформ управления в организационных системах [3, 5, 38, 46, 138].

3. Организационно-ориентированный подход направлен на обеспечение эффективности функционирования и развития цифровых средств управления с учетом архитектурного и технологического решений и позволяет рассматривать некоторые аспекты, связанные с ресурсной поддержкой указанных решений [7, 9, 99, 116, 124].

Однако перечисленные универсальные подходы обладают рядом недостатков при их ориентации на повышение эффективности управления в организационной системе, интегрируемой с развивающейся цифровой средой:

– неиспользование формализованных методов прогностического оценивания функциональности цифровых средств управления на временном интервале их функционирования;

– архитектурный и технологический подходы не нацелены на использование формализованных методов оптимизации для многокритериального анализа и выбора лучшего структурного решения;

– организационно-ориентированный подход не нацелен на применение формализованных методов оптимизации для эффективного использования ресурсного обеспечения, выделяемого управляющим центром как на функционирование и развитие организационной системы, так и цифровой среды управления.

В работе предлагается для повышения эффективности управления в цифровизированной организационной системе использовать оптимизационный подход, сочетающий в себе конструктивные элементы архитектурного, технологического и организационно-ориентированного подходов и методы оптимального выбора варианта структурных решений и принятия управленческих решений при распределении ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровизированной организационной системы [115, 116, 118, 161, 174].

Предлагаемый подход ориентирован на следующие этапы оптимизации цифровизированной организационной системы.

А1. Оптимальный выбор перспективного множества реализаций компонентов развивающейся цифровой среды управления.

А2. Оптимальная интеграция в организационное целое реализаций компонентов, входящих в перспективное множество.

Этап А2 включает в себя несколько внутренних этапов:

А2.1. Оптимальный выбор реализаций компонентов при их объединении;

А2.2. Оптимальная кластеризация компонентов по степени влияния на достижение заданного уровня показателей эффективности цифровизирован-ной организационной системы;

А2.3. Оптимальный выбор последовательности включения компонентов в организационное целое.

А3. Оптимальное распределение ресурсного обеспечения на функционирование и развитие организационной системы и цифровой среды управления.

Этап А3 включает в себя несколько внутренних этапов:

А3.1. Оптимального распределения интегрального объема ресурсного обеспечения на функционирование и развитие организационной системы и цифровой среды управления (объемное распределение);

А3.2. Оптимальное распределение ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления.

А3.3. Оптимальное распределение ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления.

А3.4. Оптимальная синхронизация распределения ресурсного обеспечения на эффективное функционирование и развитие цифровой среды управления.

В соответствии с перечисленными этапами предложена структура управления в организационной системе, интегрированной с развивающейся цифровой средой (цифровизированной организационной системе) (рисунок 1.1) [20, 163].

Для принятия управленческих решений в рамках приведенной структурной схемы обосновано использование оптимизационного подхода на концептуальной основе многовариантной структуризации, представляющей собой процесс

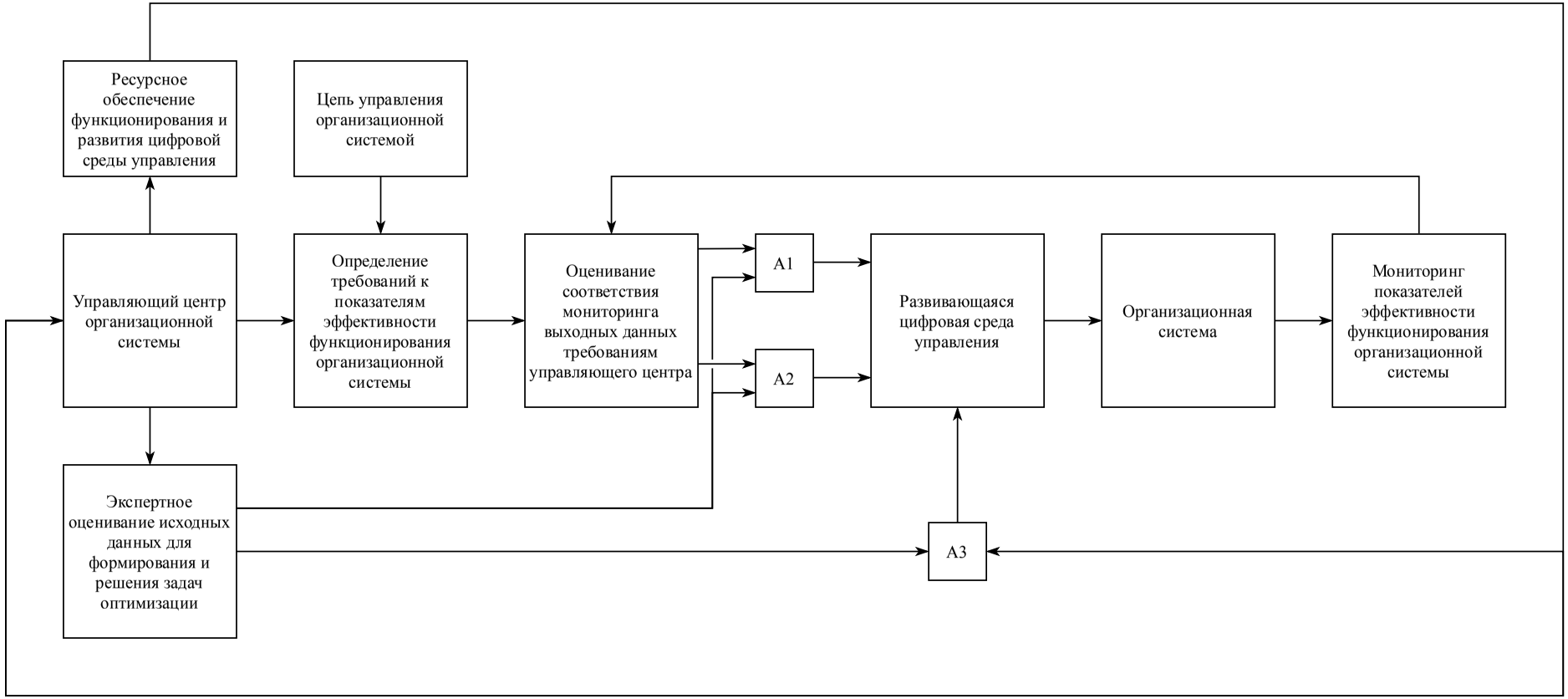

Рисунок 1.1 — Структурная схема управления в цифровизированной организационной системе

редукционного преобразования множеств альтернативных реализаций компонентов при выборе варианта их интеграции в организационное целое и интегрального ресурса при выборе варианта его распределения в соответствии с требованиями к показателям эффективности функционирования и развития цифровизированной организационной системы.

Использование предлагаемого оптимизационного подхода для повышения эффективности цифрового управления организационных системах следует сориентировать на характерные особенности, возникающие в условиях цифровизации.

1.2 Роль оптимизационного подхода для повышения эффективности управления в цифровизированной организационной системе

Рассмотрим характерные особенности цифрового управления в организационных системах, в рамках которых оптимизационный подход играет значительную роль в повышении эффективности принятия управленческих решений.

1. Разнообразие информационных ресурсов, используемых при принятии управленческих решений.

Для принятия управленческих решений в условиях цифровизации используются следующие информационные ресурсы: данные периодического мониторинга показателей функционирования организационных систем [37, 62, 82, 126], их рейтингования [49, 62, 149, 206], оценки потребителей результатов их деятельности, виртуальной трансформации физической среды деятельности с использованием технологии интернета вещей [28, 59, 127] и т.п. На основании имеющихся больших данных появляется возможность построить многоканальную систему управления. Оптимизационный подход позволяет определить последовательность формирования каналов с использованием цифровых средств, обеспечивающую учет их значимости для эффективного функционирования составляющих организационной системы.

2. Многовариантность структурных решений, обеспечивающих управление в организационной системе, интегрированной с развивающейся цифровой средой.

Многовариантность структурных решений связана с многообразием информационных ресурсов и многоканальностью цифрового управления в организационных системах, а также неоднородностью жизненного цикла компонентов цифровой среды. Оптимизационный подход позволяет осуществлять направленный перебор вариантов с целью достижения экстремальных и выполнения граничных требований к функционированию и развитию цифровой среды [19, 163, 170].

3. Необходимость сбалансированности управленческих решений, принимаемых автоматически с использованием цифровых средств, и на основе мнений экспертов управляющего центра. Оптимизационный подход дает возможность выбирать наилучшие условия перехода от формализованных к экспертным оценкам при поиске лучшего варианта цифрового управления в организационных системах [52, 57, 76, 155, 166].

4. Разнообразие способов структуризации развивающейся цифровой среды управления. С позиции системного подхода, традиционно используется либо восходящая структуризация, либо нисходящая [30, 88, 130, 133, 203]. В первом случае осуществляется процесс агрегации цифровой системы управления, начиная с выбора реализации компонентов, до интеграционной их комбинации на макроуровне. Во втором, структуризация начинается с макроуровня цифровой среды, далее осуществляется её декомпозиция до компонентного уровня. Оптимизационный подход позволяет комбинировать эти способы, начиная с выбора наилучшего варианта восходящей структуризации, обеспечивающей редукцию исходного множества компонентов таким образом, чтобы агрегированный вариант цифровой среды соответствовал экстремальным и граничным требованиям к функционированию цифровой среды. Нисходящая структуризация осуществляется, когда требуется замена эксплуатируемых компонентов, соответствующих формированию новых каналов управления.

5. Разнообразие групп задач управления, возникающих в процессе функционирования и развития в цифровизированных организационных системах [7—11, 17, 167].

а) Управление уровнем обслуживания.

Управление уровнем обслуживания (Service Level Management, SLM) является одной из ключевых задач, определяющих ход развития, настройки и эксплуатации компонентов цифровой среды. В рамках этой задачи необходимо определить, какой уровень предоставления того или иного сервиса будет устраивать в каждом конкретном случае, и на основе этого сформировать пакет спецификаций SLA (Service Level Agreement – соглашения о допустимом уровне сервиса).

б) Управление финансами для поддержания уровня функциональности.

Необходимость в развитии тех или иных функций (увеличение числа пользователей системы, количества процессов и подпроцессов, повышение качества цифровых данных) может привести к серьезному росту расходов. Из-за сложной структуры этих расходов иногда бывает невозможно составить целостную картину капиталовложений в организационную систему. При этом само управление финансами в рамках системы состоит из трех аспектов:

– бюджетирование – планирование и контроль расходов в организации путем составления бюджетов на различные фиксированные периоды времени;

– учет расходов – набор процессов, позволяющих полностью идентифицировать затраты клиента в системе управления;

– учет использования – в отличие от бухгалтерского учета расходов, делает акцент на определении времени и количества реально используемых компонентов цифровой среды

в) Управление производительностью.

Управление производительностью цифровой среды управления организацией необходимо для того, чтобы обеспечивать потребности бизнеса наиболее эффективным с точки зрения времени и стоимости способом. Процесс управления производительностью включает в себя [72, 73]:

– мониторинг общей производительности подсистем цифровой среды и поддерживающих их инфраструктурных компонентов;

– настройка и оптимизация компонентов для более эффективного использования ими вычислительных ресурсов;

– изучение нужд пользователей и прогнозирование на их основе динамики изменения требований к производительности;

– изучение влияния производительности на получаемый финансовый эффект;

– поддержание компонентов цифровой среды управления в состоянии, удовлетворяющим набору соглашений SLA.

г) Управление непрерывностью совершенствования.

Управление непрерывностью совершенствования функций цифровой среды является ключевой частью процесса по организации бесперебойной работы организационной системы. Основной задачей этого процесса является организация такого процесса внедрения новых компонентов цифровой среды и усовершенствования старых, который наносил бы как можно меньше урона текущей деятельности организации. Достижение этой задачи осуществляется за счет следующих составляющих [25, 78, 86]:

– строгий конфигурационный учет;

– непрерывный мониторинг деятельности;

– внедрение передовых технологий технической поддержки;

– обучение персонала новым функциям цифровой среды;

– регулярное тестирование различных компонентов цифровой среды управления.

д) Управление доступностью.

Основной задачей управления доступностью является обеспечение необходимых организационных и технических средств для поддержки процесса работы цифровой среды, а также для ее восстановления в случае различных сбоев за время, не приносящее организации серьезных убытков. Доступность цифровой среды в организационной системе обычно зависит от следующих факторов [12, 24]:

– сложность ИТ-инфраструктуры и предоставляемых с ее помощью сервисов;

– надежность как отдельных компонентов, так и среды, в которой они работают;

– возможности отдела поддержки в области организации бесперебойной работы ИС;

– уровень качества ИТ-услуг, поставляемых субподрядчиками;

– качество и уровень развертывания эксплуатационного процесса.

Минимальный требуемый уровень доступности цифровой среды обычно фиксируется соглашениями SLA. Оценка уровня доступности системы может осуществляться как прямым (эффект от доступности системы), так и обратным способом (потери за счет недоступности системы какое-то время).

Задача разработки сервисов является внешней по отношению к корпоративной ИС и взаимодействует с задачами эксплуатации сервисов следующими потоками задач [4, 16, 18, 26]:

Проектирование сервисов. Основные цели и задачи проектирования ИТ-сервисов можно формализовать в следующем виде:

– удовлетворение потребностей бизнеса путем организации бизнес-процессов более эффективным и технологичным способом;

– поиск более простых и эффективных способов разработки и усовершенствования сервисов;

– разработка эффективных процессов проектирования, разработки, поддержки и модификации высококачественных ИТ-сервисов, а также поддержка сервисов в течении их жизненного цикла;

– выявление и минимизация рисков, сопутствующих разработке сервисов;

– проектирование безопасной и гибкой архитектуры ИС, предусматривающей возможность размещения и использования различных ИТ-сервисов для удовлетворения возникающих нужд бизнеса;

– разработка метрик, методов и критериев оценки эффективности процесса создания и использования ИТ-сервисов;

– определение и внедрение в процесс разработки ИТ-сервисов стандартов, облегчающих работу разработчиков и делающих производимый продукт (модели, исходный код и т.д.) более однородным и понятным;

– повышение эффективности взаимодействия разработчиков сервисов с пользователями для принятия ими при проектировании сервисов максимально эффективных решений с точки зрения бизнеса;

– повышение общего качества разрабатываемых систем за счет увеличения доли повторно используемых сервисов.

6. Необходимость баланса функциональных возможностей компонентов развивающейся цифровой среды при достижении заданных условий следующих характеристик:

– функциональности сервиса;

– его стоимости (включая финансовые, производственные и кадровые ресурсы);

– времени, в течении которого надо запустить сервис в эксплуатацию.

Задачи, возникающие в ходе проектирования и разработки ИТ-сервисов, можно разделить на следующие области:

– проектирование самих сервисов, включая функциональные требования, ресурсы и необходимые (или имеющиеся) возможности;

– проектирование системы управления сервисами, а также инструментов контроля и мониторинга сервисов на всем протяжении их жизненного цикла;

– проектирование технологический архитектуры и системы размещения и предоставления сервисов пользователю;

– проектирование процессов развертывания, использования и развития сервиса, а также средств обеспечения этого;

– проектирование методов оценки качества реализации сервисов, степени их использования и эффективности с точки зрения бизнеса.

При проектировании самих ИТ-сервисов обычно возникают следующие задачи [14, 15, 21, 22, 77]:

– позиционирование сервиса в общем каталоге сервисов (определение, относится ли сервис к пользовательской области, или это технический сервис), а также поддержание в каталоге его актуальной работоспособной версии;

– определение уровня качества услуг, требуемых от сервиса;

– управление требованиями и поддержание функциональности, реализуемой сервисом, на приемлемом уровне;

– проектирование механизмов обеспечения доступности сервиса;

– управление непрерывностью изменения и использования сервиса, включая процессы обучения пользователей новым возможностям и т.д.;

– обеспечение безопасности данных и предотвращение несанкционированного доступа к данным сервиса;

– организация возможностей поддержки существования сервиса соответствующими службами.

Помимо проектирования и реализации ИТ-сервиса и средств управления им, для запуска сервиса в эксплуатацию необходимо обращать внимание на следующие технологические аспекты:

– управление инфраструктурой, включая аппаратные и системные средства поддержки работы сервиса;

– управление сервисным окружением;

– управление данными, как необходимыми для работы сервиса, так и производимыми в ходе работы сервиса;

– управление клиентскими приложениями и инструментальными средствами, использующими сервис.

7. Вариативность способов реализации сервисов цифровой среды за счет выбора реализующих их компонентов.

Данная особенность определяет преимущество оптимизационного подхода в следующих ситуациях [31, 32, 61, 107, 123, 154, 209].

а) Интеграции множества компонентов, реализованными по различным технологиям, обладающими своими уникальными интерфейсами и использующие свои форматы данных. Проблема несовместимости различных компонентов,

их интеграции для обеспечения оптимального управления сильно зависит от стратегии развития организационной системы.

б) Нечеткости и изменчивости пользовательских требований. Это вызвано не только динамичностью процессов в организационной системе, но также и необходимостью для всех участников процесса синхронизации знаний о деталях организации, возможностях информационных технологий, а также о том, какие изменения в общей организационной структуре произойдут после запуска очередного сервиса в работу.

в) Наличии методик управления процессом разработки, внедрения и эксплуатации сервисов со стороны пользователя и необходимости нахождения общего видения ситуации с разработчиками цифровой среды.

В общем случае, цифровизированная организационная система представляет собой динамичную, постоянно меняющуюся среду, необходимость использования в рамках который разрабатываемых компонентов вынуждает осуществлять их постоянную доработку и адаптацию.

8. Высокая вероятность нерациональных решений на компонентном уровне, приводящая к избыточным затратам на функционирование и развитие цифровой среды управления в организационных системах.

Исходя их введенного определения цифровизированной организационной системы эффективность управления в ней во многом определяется сформированными требованиями к функционированию такой системы, которые обеспечиваются цифровой средой управления и принятия решений.

Исследования методик и процессов разработки современных цифровизированных систем, а также состава, структуры и направления их развития, позволяют сделать вывод, что практически на всех этапах их жизненного цикла присутствует значительный элемент неопределенности, вызванный совершенно различными причинами [1, 3, 10, 12, 13, 16].

Эволюция методик создания и функционирования была вызвана именно присутствием различного рода неопределенности и на протяжении нескольких десятилетий была направлена как в сторону увеличения эффективности работы

с пользовательскими требованиями, так и в сторону увеличения гибкости приложений, их открытости к существенным модификациям. Однако, как показывает анализ, во многих случаях увеличение гибкости приложений является чрезмерным.

Оптимизационный подход позволяет избежать следующих составляющих избыточности:

– избыточность затрат на оборудование и платформенные продукты, вызванная непредсказуемостью поведения требований в процессе развития математического и программного обеспечения вычислительного комплекса цифровой среды

– избыточная трудоемкость разработки компонентов цифровой среды, предназначенных для решения задач на коротком отрезке времени;

– избыточность трудозатрат, связанных с интеграцией программных компонентов от различных производителей и команд разработчиков;

– избыточная функциональность используемых программных компонентов, отсутствие глубокой интеграции между компонентами;

– несбалансированность показателей качества удовлетворенности пользователей, вызванная несогласованностью стратегии развития цифровой среды.

9. Акцентирование в процессе структуризации цифровой среды и распределения ресурсного обеспечения, управлению на стадии функционирования без учета необходимости развития цифровизированной организационной системы оптимизационный подход дает возможность среди множества современных цифровизированных организационных систем выделить класс, обладающий всеми свойствами развивающихся систем. Современные методики, как показывает анализ, не учитывают различий между классами таких систем, что, в свою очередь, делает актуальным исследование цифровизированных систем, представляющих собой именно развивающиеся системы, жизненный цикл которых достаточно длителен и включается в себя серьезные затраты на доработки уже в процессе функционирования этих систем.

10. Необходимость реализации оптимизационного подхода с учетом человеко-машинного характера цифровизированной организационной системы [74].

Цифровизированные организационные системы, которые в большинстве случаев, рассматриваются как комплексы аппаратно-программных средств, обеспечивающих эффективное взаимодействие управляющего центра с составляющими систем, включают в себя в качестве главного звена человека, участвующего как в процессе обработки информации, принятия и исполнения управленческих решений. Поэтому оптимизационный подход должен учитывать эту существенную составляющую рассматриваемого класса систем. Следует рассматривать цифровизированную организационную систему как человеко-машинную, состоящую из совокупности эргатических и неорганических элементов, является интеграционной основой процессов, направленных на достижение требований к показателям эффективности. Сами требования устанавливаются эргатическими элементами управляющего центра, а их достижение обеспечивается взаимодействием с исполнительными эргатическими элементами. Оптимизационная структуризация цифровой среды [189] направлена на обеспечение эффективности этого взаимодействия с учетом цели функционирования и развития системы.

11. Синергетическое влияние на повышение уровня показателей эффективности оптимального распределения ресурсного обеспечения на функционирование и развитие как самой организационной системы, так и цифровой среды управления.

Ресурсное обеспечение является основным средством управления, обеспечивающим работоспособность, модернизацию материально-технической базы организационной системы, эффективную деятельность персонала, развинтите интеллектуального капитала, внедрение инноваций. При этом организационная система обладает ограниченным объемом интегрального ресурсного обеспечения, который распределяется между стадиями функционирования и развития составляющими системы.

В [39—43, 60, 93, 105, 109, 131, 132] показано, что для повышения эффективности управления в организационных системах разработаны методы оптимизации распределения ресурсного обеспечения. Однако, в случае цифровизированной организационной системы необходимо учитывать не только ограниченность интегрального ресурса, требования к уровню показателей эффективности, но и синергетический эффект влияния на достижение этих требований с использованием цифровой среды управления. Поэтому оптимизационный подход требует своего развития для комплексного решения задач А3.1-А3.4 этапа оптимизации А3.

Определив роль оптимизационного подхода для повышения эффективности цифрового управления в организационных системах, рассмотрим необходимость его реализации на концептуальной основе многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды.

1.3 Необходимость реализации оптимизационного подхода на концептуальной основе многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды

На основании анализа, проведенного в парагафе 1.2, следует вывод о том, что основной проблемой применения оптимизационного подхода для повышения эффективности управления в организационных системах, является учет при принятии решений их многовариантности, возникающей в процессе объединения в единый цикл восходящей и нисходящей структуризации на множествах реализаций компонентов развивающейся цифровой среды управления и механизмах ресурсного обеспечения стадий функционирования и развития цифровизированной организационной системы.

Для принятия управленческих решений в рамках приведенной структурной схемы (рисунок 1.1) обосновано использование оптимизационного подхода на концептуальной основе многовариантной структуризации, представляющей собой процесс редукционного преобразования множеств альтернативных реализаций компонентов при выборе варианта их интеграции в организационное целое

в соответствии с требованиями к показателям эффективности функционирования организационной системы.

В общем случае для решения задач повышения эффективности управления в организационных системах в настоящее время существует достаточно большое количество различных методик, преимущественно, эмпирического характера, которые позволяют осуществлять эффективное управление с достаточной предсказуемостью результатов [70, 190]. Однако, границей применимости упомянутых методик обычно является некий момент, привязанный к фазе устойчивого функционирования системы. В случае, когда речь идет о развивающихся системах, использование традиционных методик фокусирует внимание на отдельных этапах развития, позволяя принимать локально оптимальные решения в ущерб общей траектории развития цифровизированной организационной системы. Как правило, для решения задач повышения эффективности управления в каждом конкретном случае необходимо тщательно учитывать: состояние и структуру существующей цифровой среды, связь рассматриваемой системы с другими, предполагаемый жизненный цикл цифровой среды. Поэтому, процесс принятия управленческих решений должен базироваться не только на данных конкретной существующей цифровой среды, но и на описании в целом цифровизированной организационной системы, частью которой является цифровая среда. В общем случае каждый компонент цифровой среды организационной системы обладает собственным жизненным циклом, который должен быть согласован с жизненным циклом всей цифровой среды. Иными словами, в общем виде процессы функционирования и развития цифровой среды следует рассматривать, прежде всего, как процессы самой цифровой среды, обеспечивающие ее развитие и являющиеся частью ее жизненного цикла [27, 69].

Исходя из возможности применения сервисного подхода для построения архитектуры развивающейся цифровой среды (РЦС), следует рассматривать траекторию развития цифровой среды в виде последовательности процедур непрерывного и последовательного улучшения качества существующих и введения в эксплуатацию новых компонентов. При этом, между существующими и новыми

компонентами РЦС в реальности существуют сложные, многоступенчатые связи, реализующие их взаимное влияние. Проектирование, реализация и эксплуатация каждого компонента, в свою очередь, может происходить в связи с различными методиками, реализующими различную структуру и подходы в зависимости от характера компонента, используемых технологий, подходов, величины сервиса, масштабности охвата пользователей и т.д.

Рассмотрим, каким образом учесть многовариантность при структуризации РЦС на основных этапах принятия управленческих решений.

Первый этап направлен на приведение исходного описания многовариантности [33, 64, 106, 109, 139, 140]. На этом этапе:

– формулируется табличное описание каждого компонента множеством значений показателей, характеризующих эффективность их функционирования и влияющих на эффективность функционирования развивающейся цифровой среды управления;

– фиксируется информация о результатах деятельности цифровизированной организационной системы по показателям эффективности в разрезе установленных временных интервалов;

– фиксируются предложения управляющего центра организационной системы по выделению ресурсного обеспечения на функционирование и развитие в разрезе установленных временных интервалов;

– формируется последовательность принятия управленческих решений при восходящей и нисходящей структуризации функционирования и развития цифровой среды управления;

– построения прогностических моделей развития на основе временных рядов результатов деятельности цифровизированной организационной системы.

На втором этапе осуществляется подготовка к принятию решений [51, 54, 55, 109, 208]:

– предлагается формализованное описание альтернатив, связанных с многовариантность реализации компонентов РЦС управления, способов распределе-

ния ресурсного обеспечения на функционирование и развитие цифровизированной организационной системы;

– по согласованию с управляющим центром подбирается группа экспертов, компетентных в вопросах функционирования и развития цифровой среды управления;

– выбирается механизм группового экспертного оценивания;

– на основании мнений экспертов определяются множества экстремальных и граничных требований, определяющих формализованную основу оптимизационного подхода.

Третий этап – непосредственный выбор оптимального решения [64, 103, 110, 154, 196—198, 209], включает:

– формирование оптимизационной модели;

– обоснование метода поиска оптимального решения;

– установлении механизма интеграции численного поиска решения и экспертного оценивания в процесс восходящей и нисходящей структуризации развивающейся цифровой среды управления;

– окончательный выбор управленческих решений.

Характеризация перечисленных этапов принятия управленческих решений указывает на необходимость разработки концептуальных основ проблемной ориентации оптимизационного подхода для учета многовариантности процесса структуризации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах. При этом концептуальная основа многовариантной структуризации должна представляться рядом составляющих:

– обоснованием принципов, ориентированных на решение задач оптимизации, изложенных в парагафе 1.1; механизмом формирования оптимизационных моделей, соответствующих этим принципам;

– построением алгоритмического обеспечения на основе теоретико-информационного описания процесса многовариантной структуризации;

– обеспечением при реализации алгоритмических операций сочетания процесса итерационного поиска и экспертного оценивания, позволяющего выбрать

наилучший вариант функционирования и развития цифровой среды управления в организационных системах.

Таким образом, использование концептуальной основы – многовариантной структуризации, позволяет решить проблему математического описания развивающихся программных систем на протяжении всего жизненного цикла. Помимо этого, использование того же самого подхода позволяет определить пути, методы и средства оптимизации управления в процессе разработки РЦС, исходя из реалий различных подходов, а также осуществить комбинацию представлений этих подходов для достижения наиболее качественного результата.

Для исследования процесса создания развивающихся цифровых систем, обеспечивающих повышение эффективности управления в организационных системах, предлагается пользоваться комбинацией различных подходов. Подобная практика позволит достичь следующих результатов:

1. Корректные формулировки задач оптимизации с технико-экономической точки зрения процесса создания РЦС для каждого семейства подходов, включающие в себя ограничения, сформулированные на основе анализа процесса разработки с точки зрения других представлений.

2. Общая постановка задачи оптимизации управления процессом интеграции программных компонентов, основанная на принципах системного подхода, учитывающая различные представления системы и позволяющая находить наиболее рациональные решения с помощью нахождения компромиссных вариантов, либо путем интегрального анализа. При этом оптимальность решений определяется исходя из их эмпирической адекватности и технико-экономической обоснованности.

Таким образом, обобщение результатов предварительного анализа механизмов эффективного управления в организационных системах, интегрированных с цифровой средой принятия управленческих решений определяет, что целью исследования является повышение эффективности управления в организационных системах за счет оптимальной интеграции с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений и оптимизации распределения на эти цели ре-

сурсного обеспечения на концептуальной основе многовариантной структуризации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– проанализировать пути повышения эффективности управления в организационных системах, интегрированных с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений;

– сформулировать принципы многовариантной структуризации, определяющие концептуальную основу оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах;

– осуществить формализацию задачи компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах;

– сформировать оптимизационные модели и алгоритмы интеграции компонентов в развивающейся цифровой среде управления в организационных системах;

– разработать модели и алгоритмы оптимизации управления ресурсным обеспечением процессов функционирования и развития цифровизированной организационной системы;

– оценить эффективность применения разработанных принципов, моделей и алгоритмов в практике управления цифровизированных многообъектных и автономных организационных систем.

Выводы первой главы

1. Трансформация организационных систем, интегрированных с развивающейся цифровой средой управления, в цифровизированные организационные системы требует расширения набора традиционных подходов (архитектурного, технологического, организационно-ориентированного) путем включения оптимизационного подхода к формированию комплекса программных и аппаратных средств, обеспечивающих эффективное цифровое управление.

2. Роль оптимизационного подхода для повышения эффективности цифровизированных организационных систем целесообразно рассматривать по его вли-

янию на особенности реализации цифрового управления: разнообразие информационных ресурсов; многовариантность структурных решений; сбалансированность автоматических и экспертных управленческих решений; разнообразие способов структуризации развивающейся цифровой среды; разнообразие групп задач управления на стадиях функционирования и развития цифровизированных организационных систем; баланс функциональных возможностей компонентов развивающейся цифровой среды; вариативность способов реализации сервисов цифровой среды; высокая вероятность нерациональных решений на компонентном уровне; акцентирование процессов структуризации цифровой среды управления и распределения ресурсного обеспечения стадии функционирования; необходимость оптимизационного подхода с учетом человеки-машинного характера цифровизированной организационной системы.

3. Эффективность принятия управленческих решений в цифровизированных организационных системах существенным образом зависит от учета при использовании оптимизационного подхода многовариантности, возникающей в процессе объединения в единый цикл восходящей и нисходящей структуризации компонентов системы и механизмов её ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития. Этот учет обеспечивается на концептуальной основе многовариантной структуризации.

ГЛАВА 2. АППАРАТ МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ КАК КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВИЗИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Вторая глава диссертации посвящена построению и исследованию концептуальной основы оптимизации цифровой среды управления в организационных системах - многовариантной структуризации. В первом параграфе рассматриваются вопросы структуризации взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы в развивающейся цифровой среде принятия управленческих решений. Вводятся основные понятия и обозначения для характеризации процесса взаимодействия при передаче информационных потоков и принятия управленческих решений. Для развивающейся цифровой среды определяются две стадии состояния цифровизированной организационной системы: стадия функционирования и стадия развития. Приводится формализованное описание этих стадий.

Во втором параграфе главы формулируются положения многовариантной структуризации, как концептуальной основы оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах. Приводится содержательное описание предложенных уровней структуризации и структурная схема взаимодействия управляющего центра и объектов цифровизированной организационной системы. Третий параграф главы посвящен алгоритмизации процесса многовариантной структуризации. Показано, что показатели эффективности организационной системы зависят от выбранных реализаций компонентов развивающейся цифровой среды. При этом, наличие экстремальных и граничных требований приводит к задачам однокритериальной или многокритериальной оптимизации с ограничениями. Строятся оптимизационные модели распределения ресурсного обеспечения на поддержание функциональности и развитие компонентов цифровой среды. Формулируются основные алгоритмические процедуры поиска оптимальных решений и приводится оценка сочетаемости вариантов структур среды.

В четвертом параграфе рассматриваются этапы многовариантной структуризации в цифровизированных организационных системах двух типов: многообъ-

ектной и автономной, приводятся основные характеристики этих этапов, формулируются оптимизационные модели для решения основных задач этих этапов.

2.1 Структуризация взаимодействия управляющего центра, составляющих организационной системы и компонентов развивающейся цифровой среды принятия управленческих решений

Проведем структуризацию взаимодействия управляющего центра и составляющих цифровизированной организационной системы, основанной на её интеграции с компонентами развивающейся цифровой среды управления. Рассматрим структуру взаимодействия для двух классов организационных систем:

– многообъектной;

– автономной.

В первом случае взаимодействие осуществляется через компоненты цифровой среды управляющего центра и объектов, и направлено как на передачу информационных потоков о состоянии объектов, характеризующимся показателями эффективности функционирования, так и на принятие управленческих решений по межобъектному и внутриобъектному распределению ресурсного обеспечения, устанавливаемого для стадий функционирования и развития системы.

Для характеризации процесса взаимодействия при передаче информационных потоков и принятия управленческих решений в рамках структурной схемы цифровизированной организационной системы, приведенной на рисунке 2.1, введем следующие обозначения:

$O_i,\ i = \overline{1,I}$ – нумерационное множество [65] объектов организационной системы;

$y_{ij}, i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}$ – значения показателей эффективности функционирования объекта O_i; $j = \overline{1,J}$ – нумерационное множество показателей эффективности;

$y^{\circ}_{ij},\ i = \overline{1,I},\ j = \overline{1,J}$ – значения показателей эффективности функционирования объекта O_i, соответствующее требованиям управляющего центра.

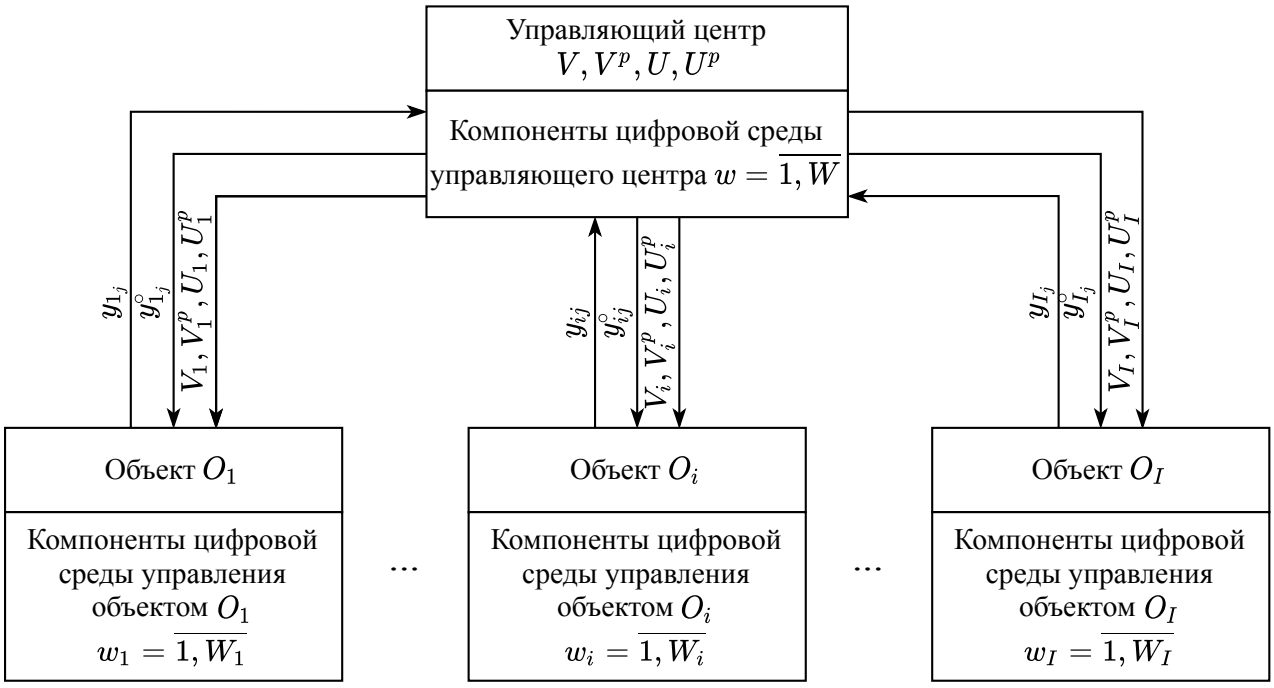

Рисунок 2.1 — Структурная схема взаимодействия управляющего центра и объектов в цифровизированной многобъектной организационной системе

Остальные характеристики процесса взаимодействия отнесем к двум стадиям функционирования и развития цифровизированной организационной системы:

V – интегральный объем ресурсного обеспечения, используемый на стадии функционирования организационной системы;

V^p – интегральный объем ресурсного обеспечения, планируемый на стадии развития организационной системы;

$U < V$ – интегральный объем ресурсного обеспечения, выделенный из объема V, на функционирование цифровой среды управления;

$U^p < V^p$ – интегральный объем ресурсного обеспечения, выделенный из объема V^p, на развитие цифровой среды управления;

$t = \overline{1,T}$ – нумерационное множество временных интервалов стадии функционирования цифровизированной организационной системы;

$t_1 = \overline{1,T_1}$ – нумерационное множество временных интервалов стадии развития цифровизированной организационной системы.

Компоненты цифровой среды управления характеризуются разнообразием альтернатив реализации:

$$w_r,\ r = \overline{1,R};\ w_{ri},\ r_i = \overline{1,R_i},\ i = \overline{1,I}.$$

При интеграции $g = \overline{1,G}$ компонентов в организационное целое формируется вариант $S_l,\ l = \overline{1,L}$, объединяющий конкретные реализации компонентов $w_g,\ g = \overline{1,G}$.

Во втором случае управляющий центр взаимодействует непосредственно с группами исполнительных эргатических элементов $И_n,\ n = \overline{1,N}$, которые участвуют в решении отдельных задач $З_i,\ i = \overline{1,I}$, совокупность которых определяет результаты деятельности организационной системы и характеризуются показателями эффективности $y_{ij},\ i = \overline{1,I},\ j = \overline{1,J}$ и требованиями управляющего центра к этим показателям $y^{\circ}_{ij},\ i = \overline{1,I},\ j = \overline{1,J}$. Особенностью рассматриваемого класса организационных систем является зависимость достижения показателями y_{ij} требований y°_{ij} от эффективности деятельности исполнительных эргатических элементов [150] при выполнении i-й задачи $Z_{nj'i},\ n = \overline{1,N},\ j' = \overline{1,J'},\ i = \overline{1,I}$. Структурная схема взаимодействия управляющего центра и эргатических исполнительных элементов приведена на рисунке 2.2. Элементы взаимодействия характеризуются дополнительными к рисунку 2.2 следующими обозначениями:

$З_i, i = \overline{1,I}$ – нумерационное множество задач деятельности исполнительных элементов в автономной организационной системе;

$И_n,\ n = \overline{1,N}$ – нумерационное множество исполнительных эргатических элементов, участвующих в выполнении задач $З_i$;

$Z_{nj'i},\ n = \overline{1,N},\ j' = \overline{1,J'},\ i = \overline{1,I}$ – значения показателей эффективности деятельности n-го исполнительного элемента при решении задачи $З_i$;

$j' = \overline{1,J'}$ – нумерационное множество показателей эффективности деятельности исполнительных элементов.

Таким образом процесс взаимодействия управляющего центра и составляющих организационной системы в развивающейся цифровой среде на основе многовариантной структуризации представляет собой процесс объединения реализаций компонентов $w_g,\ g = \overline{1,G}$ в систему S' с целью получения варианта на

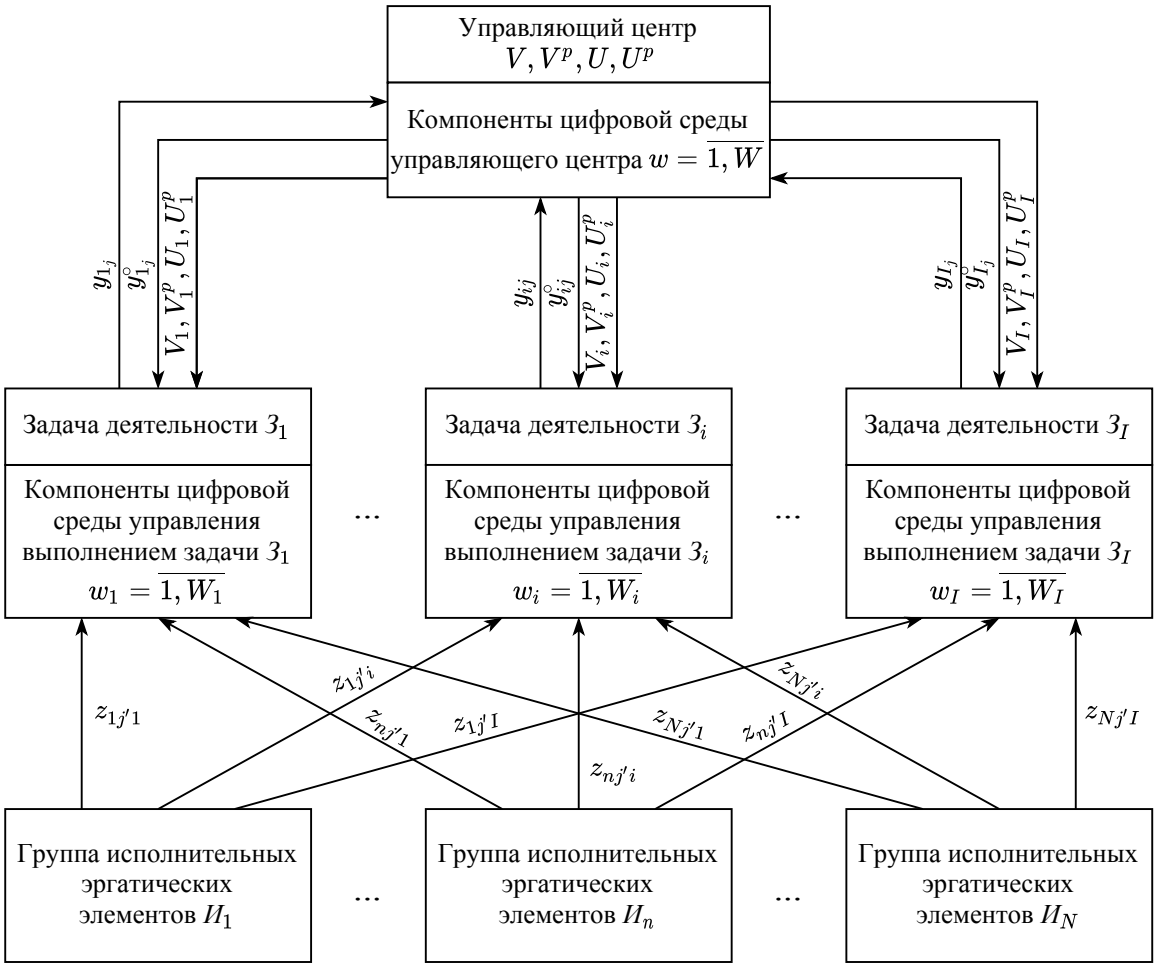

Рисунок 2.2 — Структурная схема взаимодействия управляющего центра и исполнительных элементов в цифровизированной автономной организационной системе

множестве $S_l,\ l = \overline{1,L}$, отвечающего требованиям управляющего центра к показателям эффективности функционирования объектов организационной системы [80, 207]. Проведем формализованное описание этого процесса с использованием энтропийных оценок [47, 48, 121, 128, 204].

Процесс многовариантной структуризации осуществляется в двух пространствах:

– процесс A на основе задач оптимального выбора A_1, A_2 – в пространстве вариантов $S_l,\ l = \overline{1,L}$;

– процесс B, характеризующий интеграцию компонентов цифровой среды $w_g,\ g = \overline{1,G}$ в пространстве альтернатив их реализаций.

Первый процесс A представим множеством значений вероятностей $P_l,\ l = \overline{1,L}$, характеризующих степень соответствия системы $S_l,\ l = \overline{1,L}$ требованиям

управляющего центра к показателям эффективности функционирования организационной системы

$$P_l,\ l = \overline{1,L},\ \sum_{l=1}^{L} P_l = 1. \tag{2.1}$$

Для характеризации процесса B будем считать, что множество альтернатив, связанных с реализацией компонентов w_g образует нумерационное множество $m_g = \overline{1,M}$. Выбор m-й реализации будем характеризовать значениями вероятностей $P_{m_g} = 1$. В случае, если альтернатива исключается из процесса B, то она характеризуется значением вероятности $P_{m_g} = 0$.

Степень соответствия результатов при принятии управленческих решений в развивающейся цифровой среде процессов многовариантной структуризации A и B определим усредненной оценкой на множествах значений вероятностей соответственно $P_l,\ l = \overline{1,L}$ и $P_m,\ m = \overline{1,M}$ – величиной энтропии H [48, 121].

$$H(A) = -\sum_{l=1}^{L} P_l \lg P_l, \tag{2.2}$$

$$H(B) = -\sum_{g=1}^{G} \sum_{m_g=1}^{M_g} [P_{m_g} \lg P_{m_g} + (1 - P_{m_g}) \lg(1 - P_{m_g})]. \tag{2.3}$$

Оба процесса направлены на выбор управленческого решения в развивающейся цифровой среде организационной системы, обеспечивающего реализацию наилучшего варианта достижения требований управляющего центра к показателям эффективности.

При этом на начальном этапе принятия решений варианты являются равнозначными и только в процессе многовариантной структуризации определяется единственный оптимальный вариант. Тогда величины энтропии (2.2), (2.3) характеризуют динамику процесса многовариантной структуризации.

В случае процесса A на начальном этапе имеем равномерное распределение вариантов $S_l,\ l = \overline{1,L}$ с вероятностями $P_l = \frac{1}{L}, l = \overline{1,L}$. Значение энтропии принимает максимальное значение

$$H(A) = \lg L. \tag{2.4}$$

Окончательный выбор единственного варианта S_{l^*} означает, что $P_{l^*} = 1,\ P_l = 0,\ l = \overline{1,L},\ l \neq l^*$ и энтропия имеет минимальное значение $H(A) = 0$.

В случае процесса B на начальном этапе имеем равновероятный выбор альтернативы $m_g = \overline{1,M}$ с вероятностью $P_{m_h} = 0{,}5$. Значение энтропии принимает максимальное значение

$$H(B) = \sum_{g=1}^{G} m_g \lg 2. \tag{2.5}$$

Окончательный выбор единственной реализации компонента $w_g - m_g^*$ с вероятностью $P_{m_g^*} = 1$, при вероятностях остальных реализаций $P_{m_g} = 0,\ m_g = \overline{1,M_g},\ m_g \neq m_g^*$ приводит к минимальному значению энтропии $H(B) = 0$.

В процессе многовариантной структуризации возникает ситуация, связанная с тем, что оценочные значения вероятностей $q_l,\ l = \overline{1,L}$ отличаются от фактических значений $P_l,\ l = \overline{1,L}$. Тогда величина энтропии (2.2) характеризует неопределенность процесса принятия решений при выборе на множестве вариантов $S_l,\ l = \overline{1,L}$

$$N(S_l) = N(\frac{P_l}{q_l}) = -\sum_{l=1}^{L} P_l \lg q_l. \tag{2.6}$$

На начальном этапе величины (2.2) и (2.6) будут различаться между собой и это различие указывает наличие скрытой информации, которую следует использовать для реализации процесса многовариантной структуризации [36].

$$I_{\text{скр}} = \lg L - N(\frac{P_l}{Q_l}).$$

Величина Q_l определяет оценочную вероятность выбора реализации компонентов w_g, входящих в развивающуюся организационную систему S_l

$$Q_l = \prod_{g=1}^{G} \frac{1}{m_g} \sum_{m_g=1}^{M_g} q_{m_g}.$$

Для того, чтобы начальная неопределенность (2.6) процесса многовариантной структуризации сокращалась при начальной энтропии (2.3) процеесса B необходимо, как показано в [36], обеспечить выполнение соотношения

$$\lg L - N(S_L) \leq [\sum_{g=1}^{G} m_g \lg 2 - H(A)] + I_{\text{скр}}. \tag{2.7}$$

Таким образом, для того, чтобы обеспечить эффективный переход от величины энтропии (2.2) для процесса A и (2.3) для процесса B многовариантной структуризации развивающейся цифровой среде следует выполнять соотношение (2.7).

Структуризация взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы и формализованное описание принятия управленческих решений в развивающейся цифровой среде на основе энтропийных оценок позволяет перейти к формулированию уровней многовариантной структуризации и соответствующих им принципам построения алгоритмического обеспечения.

2.2 Уровни многовариантной структуризации

Для оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах на этапах $A1 - A3$ предложено использовать концептуальную основу многовариантной структуризации, обеспечивающую следующие уровни решения оптимизационных задач.

Уровень 1 – компонентной оптимизации.

На предварительном этапе многовариантной структуризации цифровой среды управления следует ограничить разнообразие реализаций компонентов с включением в перспективное подмножество тех реализаций, которые на основании экспертного оценивания в наибольшей степени обеспечивают соответствие показателей эффективности организационной системы заданным требованиям.

Уровень 2 – интеграционной оптимизации.

На этапе многовариантной структуризации, связанным с объединением компонентов в организационное целое, следует продолжить редукционный процесс до выбора определенной реализации таким образом, чтобы сформированный вариант цифровой среды управления обеспечивал достижение показателей эффективности организационной системы заданного уровня.

Уровень 3 – кластерной оптимизации.

На этапе многовариантной структуризации, связанным с групповым упорядочением компонентов, включенных в цифровую среду управления, распреде-

ление в кластеры осуществляются в соответствии с максимальной близостью по эффекту влияния на выполнение требований к показателям эффективности организационной системы.

Уровень 4 – последовательностной оптимизации.

На этапе многовариантной структуризации, связанным с характером взаимодействия компонентов, включенным в цифровую среду управления, следует сформировать последовательность переходов между ними при принятии управленческих решений, которые направлены на достижение показателями эффективности организационной системы заданного уровня.

Уровень 5 – ресурснораспределительной оптимизации.

На этапе многовариантной структуризации, связанным с распределением ресурсного обеспечения по стадиям функционирования и развития цифровизированной организационной системы, следует учитывать необходимость сочетания средств, выделенных для деятельности её составляющих, и средств на поддержку функциональности эксплуатируемых компонентов и введения компонентов, соответствующих новым задачам управления в организационной системе.

Поскольку уровни 1-4 многовариантной структуризации основаны на процессе оптимального выбора из множества альтернативных реализаций компонентов, формализованное описание целесообразно построить с применением методов многовариантной оптимизации в следующей последовательности:

– введение альтернативных переменных задачи оптимизации;

– формирование оптимизационной модели;

– оценивание параметров и функций влияния альтернативных переменных на достижение заданного уровня показателей эффективности организационной системы;

– оценивание размерности задачи оптимизации.

В оптимизационных моделях данного вида используются альтернативные переменные двух типов:

– с одним индексом:

$$x_m = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-реализация компонента является} \\ & \text{перспективной для заданного уровня показателей} \\ & \text{эффективности организационной системы;} \\ 0, & \text{в противном случае } m = \overline{1,M}; \end{cases} \tag{2.8}$$

– с двумя индексами:

$$x_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-й компонент необходимо} \\ & \text{связать с } n\text{-м для достижения} \\ & \text{заданного уровня показателя;} \\ 0, & \text{в противном случае } m = \overline{1,M},\ n = \overline{1,N}; \end{cases} \tag{2.9}$$

Значения показателей эффективности организационной системы зависят от выбранных реализаций компонентов развивающейся цифровой среды и являются функциями альтернативных переменных:

$$y_j = f_j(x_m),\ y_j = f_j(x_{mn}),\ j = \overline{1,J}, \tag{2.10}$$

где зависимости $f_j,\ j = \overline{1,J}$ задаются в табличной форме. Кроме функций (2.10) для автономной организационной системы необходимо использовать зависимости $y_j = f_j(z_{nj'}(x_m)),\ y_j = f_j(z_{nj'}(x_{mn})),\ j = \overline{1,J}$.

Требование управляющего центра состоит в увеличении их значений до уровня не менее, чем y_j°, то есть:

$$y_j = f_j(x_m) \geq y_j^\circ,\ j = \overline{1,J}. \tag{2.11}$$

Кроме того, эксперты управляющего центра выделяют один или несколько наиболее значимых показателей, для которых требования (2.11) трансформируется в экстремальные $\psi_{j_1}(x_m) \to \min\limits_{x_m},\ j_1 = \overline{1,J_1}$ с использованием следующей функции:

$$\psi_{j_1}(x_m) = \begin{cases} y_{j_1}^\circ - f_{j_1}, & \text{если } y_{j_1} \geq y_{j_1}^\circ, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \tag{2.12}$$

где $j_1 = \overline{1,J_1} \in \overline{1,J}$ – нумерационное множество показателей, к которым предъявляются экстремальные требования (2.12).

Наличие экстремальных и граничных требований приводит к задачам однокритериальной или многокритериальной оптимизации с ограничениями. Влияние альтернативных переменных на выполнение условий (2.11) оценивается в нескольких формах:

– двоичной:

$$c_{mj} = \begin{cases} 1, & \text{если реализация компонента соответствующая} \\ & m\text{-й альтернативной переменной способствует} \\ & \text{выполнению условий } (2.11)(2.12) \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \tag{2.13}$$

$$m = \overline{1,M},\ j = \overline{1,J};$$

– ранговой:

$$a_{mj} = 1 - \frac{\rho_{mj}}{\sum\limits_{j=1}^{J} \rho_{mj}},\ m = \overline{1,M},\ j = \overline{1,J}, \tag{2.14}$$

где a_{mj} – коэффициент значимости реализации компонента, для выполнения j-го требования (2.11), соответствующего m-й альтернативной переменной.

$$0 \le a_{mj} \le 1,\ \sum_{j=1}^{J} a_{mj} = 1;$$

$\rho_{mj} = 1, 2, \ldots, \rho_{mj}, \ldots, J$ – нумерационное множество ранговой упорядоченности по значимости m-й реализации компонента для выполнения j-го условия (2.11);

– функциональной (2.10).

Значения параметров (2.13), (2.14) определяются с использованием методов экспертного оценивания [35, 52, 66, 100, 101, 136], а функциональные зависимости (2.10) – либо путем использования табличных данных, либо путем обработки статистических данных методом регрессионного анализа [103], нейросетевого

моделирования [95, 120, 147, 153, 193], иммитационного моделирования систем массового обслуживания [87, 97, 188], ситуационного моделирования [90, 129, 142].

Оценивание размерности переменных опмитизационных задач B, соответствующих реализации уровней 1-4, осуществляется по условию сохранения разнообразия, характеризующего задачи оптимального выбора на этапах $A1, A2$. Для количественной оценки разнообразия в исходных и формализованных задачах используется величины энтропии (2.2), (2.3). Тогда условие адексватности запишется следующим образом:

$$H(B) \geq H(A). \tag{2.15}$$

Исходя из (2.3), величина $H(B)$ зависит от значений $w_g,\ g = \overline{1,G}$ и G, а величина $H(A)$ от значений M, N. Тогда при известных $w_g, g = \overline{1,G}$ и G из соотношения (2.15) определяется размерность оптимизационных задач M, N.

При реализации уровня 5 оптимальный выбор осуществляется на множествах значений ресурсов, распределенных по временным периодам:

– на стадии функционирования:

$$u(t),\ t = \overline{1,T},\ \sum_{t=1}^{T} u(t) \leq U; \tag{2.16}$$

– на стадии развития:

$$u(t_1),\ t_1 = \overline{1,T_1},\ \sum_{t_1=1}^{T_1} u(t_1) \leq U^p; \tag{2.17}$$

В этом случае оптимизационная модель представляет собой семейство формализованных описаний задач оптимизации, связанных при распределении ресурсного обеспечения по временным интервалам с ограничениями (2.16), (2.17).

Оценивание влияния альтернативных вариантов выполненных условий (2.16), (2.17) на достижения заданного уровня показателей эффективности организационной системы осуществляется с использованием функций:

$$y_j = f_j(u(t)),\ j = \overline{1,J},\ t = \overline{1,T}; \tag{2.18}$$

$$y_j = f_j(u(t_1)),\ j = \overline{1,J},\ t_1 = \overline{1,T_1}. \tag{2.19}$$

Желаемые изменения (2.18), (2.19) задаются экспертным путем.

2.3 Построение алгоритмического обеспечения многовариантной структуризации

Введем и обоснуем уровни, определяющие построение алгоритмического обеспечения многовариантной структуризации [157, 158, 169].

Уровень 6. При алгоритмизации поиска оптимального варианта функционирования организационной системы в развивающейся цифровой среде следует обеспечить гибкость и адаптируемость оптимизируемой функции, объединяющей экстремальные и граничные требования в оптимизационных задачах многовариантной структуризации.

В качестве характеристик, за счет варьирования которыми обеспечивается гибкость оптимизируемой функции, рассмотрим следующие.

1. Декомпозиционную, определяющую разделение нумерационного множества $j = \overline{1,J}$ показателей эффективности функционирования организационной системы на два нумерационных подмножества:

– $j_1 = \overline{1,J_1}$ – нумерационное подмножество показателей, к которым предъявляются экстремальные требования (2.12);

– $j_2 = \overline{1,J_2}$ – нумерационное подмножество показателей, к которым предъявляются граничные требования (2.11)

при условии

$$\overline{1,J_1} \cup \overline{1,J_2} = \overline{1,J}.$$

2. Интегральную, определяющую структуру и параметры объединения локальных экстремальных требований $j_1 = \overline{1,J_1}$ в единое глобальное требование, которые отражаются в интегральной зависимости от оптимизируемых переменных

$$F(x_m) = F(\omega, \alpha;\ f_{j_1} = (x_m);\ j_1 = \overline{1,J_1}), \tag{2.20}$$

где ω – множество структур интегральной функции; α – множество параметров интегральной функции.

Предлагается использовать при решении оптимизационных задач многовариантной структуризации следующие модификации интегральной функции [32, 141]:

– аддитивная

$$F(x_m) = \sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \hat{f}_{j_1}(x_m),$$

где $\alpha_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1}$ – весовые коэффициенты (параметры),

$0 \le \alpha_{j_1} \le 1,\ \sum\limits_{i_1=1}^{I_1} \alpha_{j_1} = 1;$

$\hat{f}_{j_1}(x_m)$ – нормированные значения показателей $y_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1}$,

$$\hat{f}_{j_1}(x_m) = \frac{f_{j_1} - y^{\circ}_{j_1}}{y^{\text{макс}}_{j_1} - y^{\circ}_{j_1}}, \tag{2.21}$$

где $y^{\text{макс}}_{j_1}$ – максимально возможные значения показателей;

– среднестепенная

$$F(x_m) = (\frac{1}{J_1} \sum_{j_1=1}^{J_1} [\hat{f}_{j_1}(x_m)]^{\beta})^{1/\beta},$$

где $\beta > 0$ – степенной показатель (параметр);

– среднегеометрическая

$$F(x_m) = \frac{1}{J_1} \prod_{j_1=1}^{J_1} \hat{f}_{j_1}(x_m);$$

– мультипликативная

$$F(x_m) = \prod_{j_1=1}^{J_1} \hat{f}_{j_1}(x_m).$$

Возможны и другие структуры интегральной функции, преимущества и недостатки которых при решении задач оптимизации охарактеризованы в [85].

3. Штрафную, определяющую степень влияния граничных требований (2.11) на достижение экстремума функций (2.20)

$$\phi(x_m) = \sum_{j_2=1}^{J_2} \lambda_{j_2} \phi_{j_2}(x_m), \tag{2.22}$$

где $\lambda_{j_2} \geq 0$ – штрафные коэффициенты, играющие роль параметров; $\phi_{j_2}(x_m)$ – функции, оценивающие степень приближения значения функции $f_{j_2}(x_m)$ к граничному значению $\phi^{\circ}_{j_2}$.

Разнообразие штрафных функций (2.22) определяется структурой функций $\phi_{j_2}(x_m),\ j_2 = \overline{1,J_2}$ и значениями параметров $\lambda_{j_2}\ j_2 = \overline{1,J_2}$ [103].

Предлагается использовать следующие структуры функции $\lambda_{j_2}(x_m)$:

– линейная

$$\phi_{j_2}(x_m) = (y^{\circ}_{j_2} - f_{j_2}(x_m));$$

– степенная

$$\phi_{j_2}(x_m) = (y^{\circ}_{j_2} - f_{j_2}(x_m))^{\beta},$$

где β – показатель степени;

– обратная

$$\phi_{j_2}(x_m) = \frac{1}{(y^{\circ}_{j_2} - f_{j_2}(x_m))};$$

– догарифмическая

$$\phi_{j_2}(x_m) = \log\,(y^{\circ}_{j_2} - f_{j_2}(x_m)).$$

Возможны и другие структуры функций $\phi_{j_2}(x_m)$.

С использованием перечисленных характеристик формулируется оптимизируемая функция, эквивалентная оптимизационной задаче многовариантной структуризации:

$$\psi(x_m) = F(x_m) - \sum_{j_2=1}^{J_2} \hat{\lambda}_{j_2}\hat{\phi}_{j_2}(x_m) \to \min_{x_m}, \tag{2.23}$$

где ϕ_{j_2} – нормированные значения штрафной функции по формуле (2.21):

– линейная – $(-\hat{f}_{j_2}(x_m))$,

– степенная – $(-\hat{f}_{j_2}(x_m))^{\beta}$,

– обратная – $(-\frac{1}{\hat{f}_{j_2}(x_m)})$,

– логарифмическая – $\log\,(-\hat{f}_{j_2}(x_m))$;

$\hat{\lambda}_{j_2}$ – нормированные значения штрафных коэффициентов $0 \leq \hat{\lambda}_{j_2} \leq 1$.

Гибкость (2.22) определяется разнообразием вариантов разделения нумерационного множества показателей эффективности на два подмножества, числом

сочетаний вариантов интегральной и штрафной функций, варьируемостью их параметров.

Нумерационное множество вариантов разделения $b_1 = \overline{1,B_1}$ формируется на основе экспертного оценивания, нумерационное множество сочетаний $b_2 = \overline{1,B_2}$ определяется количеством используемых структур интегральной и штрафной функций.

Адаптируемость оптимизируемой функции (2.23) к особенностям решаемой комбинаторной оптимизационной задачи многовариантной структуризации [148, 180] достигается за счет рандомизации нумерационных множеств $b_1 = \overline{1,B_1}$, $b_2 = \overline{1,B_2}$ и настройки в рамках итерационного процесса поиска решения оптимизационной задачи [81, 91] с использованием (2.23) следующих вероятностных характеристик

$$\begin{gathered} P_{b_1},\ b_1 = \overline{1,B_1},\ \sum_{b_1=1}^{B_1} P_{b_1} = 1, \\ P_{b_2},\ b_2 = \overline{1,B_2},\ \sum_{b_2=1}^{B_2} P_{b_2} = 1. \end{gathered} \tag{2.24}$$

В единый цикл рандомизированного поиска предлагается ввести наряду с (2.24) вероятностные характеристики, определяющие:

– поиск параметров:

$$\begin{gathered} P_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1},\ \sum_{j_1=1}^{J_1} P_{j_1} = 1; \\ P_{j_2},\ j_2 = \overline{1,J_2},\ \sum_{j_2=1}^{J_2} P_{j_2} = 1; \end{gathered} \tag{2.25}$$

– поиск значений оптимизируемых переменных $x_m,\ m = \overline{1,M}$, принимающих значения 1 либо 0

$$\begin{gathered} p_{x_m} = P(x_m = 1),\ q_{x_m} = P(x_m = 0),\ p_{x_m} + q(x_m) = 1; \\ P_m,\ m = \overline{1,M},\ \sum_{m=1}^{M} P_m = 1, \end{gathered} \tag{2.26}$$

где $P(\cdot)$ – обозначение вероятности события, вероятности привлечения оптимизационной переменной к поиску.

В случае альтернативных переменных x_{mn} рассматриваются вероятностные характеристики

$$P(x_{mn}=1)=p_{x_{mn}},\ P(x_{mn}=0)=q_{x_{mn}},\ p_{x_{mn}}+q_{x_{mn}}=1;$$
$$P_m,\ \sum_{m=1}^{M} P_m=1; \tag{2.27}$$
$$P_n,\ \sum_{n=1}^{N} P_n=1.$$

Для построения алгоритмического обеспечения, реализующего адаптационных подход, необходимо сформировать алгоритмические операции перехода от значений вероятностных характеристик (2.24) и (2.25) на k-й итерации к новым значениям на $(k+1)$-й итерации. Такой переход определяется условиями локального улучшения (УЛУ) и является следующим уровнем алгоритмического обеспечения.

Уровень 7. Для обеспечения эффективности перехода от начальных условий итерационного процесса поиска решения оптимизационных задач многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды организационной системы к окончательному выбору управленческого решения следует обеспечить монотонность этого процесса на основе условия H-релаксационности.

В работах по теории оптимизации [103, 106] обосновано, что монотонность итерационного процесса достигается за счет выполнения на каждой k-й итерации УЛУ. В случае минимизации оптимизируемой функции эти условия строятся на простейшем соотношении

$$\psi(x_m^{k+1}) \le \psi(x_m^k). \tag{2.28}$$

При этом, в правую часть (2.28) включаются дополнительные слагаемые, регулирующие соотношение скорости и точности сходимости итерационного процесса к оптимальному решению.

Оптимизационные задачи многовариантной структуризации в работе предложено решать в пространстве вероятностных характеристик с использованием

энтропийных оценок итерационного процесса поиска. В этом случае УЛУ возможно построить на основе соотношения (2.28). Однако оно требует сложных вычислений. С другой стороны монотонность итерационного процесса поиска приемлемо контролировать на основе изменения величины энтропии процессов A и B многовариантной структуризации от максимального к минимальному значению. В этом случае в качестве УЛУ применим условие H-релаксационности [106]:

– процесса A

$$H^{k+1}(A) \leq H^k(A), \tag{2.29}$$

где

$$H^{k+1}(A) = -\sum_{l=1}^{L} p_l^{k+1} \lg p_l^{k+1},$$

$$H^k(A) = -\sum_{l=1}^{L} p_l^k \lg p_l^k;$$

– процесса B

$$H^{k+1}(B) \leq H^k(B), \tag{2.30}$$

где

$$H^{k+1}(B) = -\sum_{g=1}^{G} \sum_{m_g=1}^{M_g} [p_{m_g}^{k+1} \lg p_{m_g}^{k+1} + (1 - p_{m_g}^{k+1}) \lg(1 - p_{m_g}^{k+1})],$$

$$H^k(B) = -\sum_{g=1}^{G} \sum_{m_g=1}^{M_g} [p_{m_g}^{k} \lg p_{m_g}^{k} + (1 - p_{m_g}^{k}) \lg(1 - p_{m_g}^{k})].$$

Значение вероятностей $p_l,\ l = \overline{1,L},\ p_{m_g},\ m_g = \overline{1,M_g},\ g = \overline{1,G}$ зависят от вероятностных характеристик (2.26) альтернативных переменных на каждой k-й итерации:

$$p_{m_g}^k = p_{x_m}^k, p_l^k = \prod_{m=1}^{M_1} p_{x_m}^k \prod_{m=M_1+1}^{M} (1 - p_{x_m}^k), \tag{2.31}$$

где $m = \overline{1,M_1}$ – нумерационное множество альтернативных переменных, для которых принято значение $x_m = 1$; $m = \overline{1,M_1}$ – нумерационное множество альтернативных переменных, для которых принято значение альтернативных переменных $x_m = 0$.

В [106] показано, что переход от вероятностных характеристик (2.26), (2.27) альтернативных переменных на k-й итерации к вероятностям альтернативных переменных на $(k+1)$-й итерации осуществляется на основе УЛУ (2.28), использующего сравнение значений оптимизируемой функции. При этом на первом шаге принимается равномерное распределение: альтернатив $x_m = 1$ или $x_m = 0$ $p^1_{x_m} = 0{,}5,\ m = \overline{1{,}M}$; координаты поиска $p^1_m = \frac{1}{M},\ m = \overline{1{,}M}$.

С этой целью определяются случайные вариации функции (2.23) при фиксированных значениях альтернативной переменной $x_{m_1},\ m_1 \in \overline{1{,}M}$ и известных значениях $p^k_{x_m}$

$$\begin{aligned}\tilde{\Delta}\psi^k = \psi(\tilde{x}_1, \ldots, x_{m_1} = 1, \tilde{x}_{m_1+1}, \ldots, \tilde{x}_m, \ldots, \tilde{x}_M) - \\ \psi(\tilde{x}_1, \ldots, x_{m_1} = 0, \tilde{x}_{m_1+1}, \ldots, \tilde{x}_m, \ldots, \tilde{x}_M),\end{aligned} \tag{2.32}$$

где

$$\tilde{x}_m = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{x_m} \le \tilde{\xi}, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$
$$m = \overline{1{,}M},\ m \ne m_1,$$

$\tilde{\xi}$ – последовательность случайных чисел, равномерно распределенных на интервале $[0{,}1]$.

По значениям (2.32) корректируются значения вероятностей $p^{k+1}_{x_m}$ на $(k+1)$-й итерации [54].

В отличие от алгоритма рандомизированного поиска [54] предлагается дополнительно использовать УЛУ (2.30). Если оно выполняется, то осуществляется переход к выполнению алгоритмических операций на $(k+1)$-й итерации, в противном случае возвращаются к вычислению вариаций (2.32).

Одновременно на основе УЛУ (2.29), (2.30) строится правило останова итерационного процесса на K-й итерации:

$$\begin{aligned} H^{K-1}(A) - H^K(A) \le \gamma, \\ H^{K-1}(B) - H^K(B) \le \gamma, \end{aligned} \tag{2.33}$$

где значение $p^{K-1}_l,\ p^K_l$ вычисляются на основе значений $p^{K-1}_m,\ p^K_m$ по формулам (2.31) с предварительным выделением множеств альтернативных переменных

$m = \overline{1,M_1}$ при значениях $p_{x_m}^K \geq 0{,}5$ и $m = \overline{M_1+1,M}$ при значениях $p_{x_m}^K < 0{,}5$, $\gamma > 0$ - малое число, задаваемое на первой итерации.

Если условия (2.33) выполняются, принимают по значениям $x_m^K = 1,\ m = \overline{1,M}$ окончательное управленческое решение, в противном случае переходят к $(K+1)$-й итерации.

В рассмотренный итерационный процесс рандомизированного поиска управленческого решения на основе значений оптимизируемых переменных $x_m^K = 1$ предлагается интегрировать поиск значений вероятностных характеристик, определяющих структуру и параметры оптимизируемой функции (2.24) и (2.25). С этой целью проведем рандомизацию следующих переменных:

$$\tilde{b}_1 = \overline{1,B_1},\ p_{b_1},\ b_1 = \overline{1,B_1},\ \sum_{b_1=1}^{B_1} p_{b_1} = 1; \tag{2.34}$$

$$\tilde{b}_2 = \overline{1,B_2},\ p_{b_2},\ b_2 = \overline{1,B_2},\ \sum_{b_2=1}^{B_2} p_{b_2} = 1; \tag{2.35}$$

$$\tilde{j}_1 = \overline{1,J_1},\ p_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1},\ \sum_{j_1=1}^{J_1} p_{j_1} = 1; \tag{2.36}$$

$$\tilde{j}_2 = \overline{1,J_2},\ p_{j_2},\ j_2 = \overline{1,J_2},\ \sum_{j_2=1}^{J_2} p_{j_2} = 1. \tag{2.37}$$

Тогда на k-й итерации осуществляется выбор случайных реализаций (2.34) — (2.37):

– b_1^k на основе последовательного сравнения суммы вероятностей $p_{b_1}^k$ со случайной величиной $\tilde{\xi}$ [187];

– b_2^k на основе последовательного сравнения суммы вероятностей $p_{b_2}^k$ со случайной величиной $\tilde{\xi}$;

– j_1^k на основе последовательного сравнения суммы вероятностей $p_{j_1}^k$ со случайной величиной $\tilde{\xi}$;

– j_2^k на основе последовательного сравнения суммы вероятностей $p_{j_2}^k$ со случайной величиной $\tilde{\xi}$.

Кроме того, структуру аддитивной интегральной функции $F(X_m)$ и штрафных функций в (2.23) будем интерпретировать как усредненное значение при значениях вероятностей переменной $\tilde{j}_1 - p^k_{j1}$, $\tilde{j}_2 - p^k_{j2}$. В результате получим выражение оптимизируемой функции (2.23), отвечающее уровню 6:

$$\psi^k(x_m) = F(x^k_m, b^k_1, b^k_2, p^k_{j_1}) - \sum_{j_2=1}^{J_2} p^k_{j_2} \hat{\varphi}^k_{j_2} \to \min_{x_m}. \qquad (2.38)$$

Именно функция (2.38) используется для расчета случайных реализаций вариации по переменной x_{m_1} (2.32).

При переходе к $(k+1)$-й итерации требуется скорректировать значение вероятностных характеристик (2.26) и (2.27) с учетом информации о выполнении УЛУ при определении $p^{K+1}_{X_m}$. Если УЛУ не выполняется, то вычисляется величина

$$\Delta H^{K+1} = H^{K+1}(p^{k+1}_{x_m}) - H^K(p^k_{x_m}) > 0.$$

На первом шаге для переменных b_1, b_2 принимается равномерное распределение значений $\tilde{b}_1 = \overline{1,B_1}$, $\tilde{b}_2 = \overline{1,B_2}$

$$p^1_{b_1},\ b_1 = \overline{1,B_1};$$

$$p^1_{b_2},\ b_2 = \overline{1,B_2}.$$

Для переменных j_1, j_2 предлагается формировать распределение значений $\tilde{j}_1 = \overline{1,J_1}$, $\tilde{j}_2 = \overline{1,J_2}$ на основе предварительного экспертного оценивания группой экспертов с номерами $d = \overline{1,D}$ с использованием метода априорного ранжирования [103]. Каждый эксперт указывает ранг по значимости экстремального или граничного требования $\rho_{j_1 d}$, $\rho_{j_2 d}$ (для наиболее значимого $\rho_{j_1 d} = 1$, $\rho_{j_2 d} = 1$; наименее значимого – $\rho_{j_1 d} = J_1$, $\rho_{j_2 d} = J_2$.

Далее определяются $\sum\limits_{d=1}^{D} \rho_{j_1 d}$ и $\sum\limits_{d=1}^{D} \rho_{j_2 d}$ и вероятностные характеристики соответствующие оценкам весовых α_{j_1} и штрафных λ_{j_2} коэффициентов

$$p^1_{j_1} = 1 - \frac{\sum\limits_{d=1}^{D} \rho_{j_1 d}}{\sum\limits_{j_1=1}^{J_1} \sum\limits_{d=1}^{D} \rho_{j_1 d}},\ j_1 = \overline{1,J_1};$$

$$p_{j_2}^1 = 1 - \frac{\sum\limits_{d=1}^{D} \rho_{j_2 d}}{\sum\limits_{j_2=1}^{J_2} \sum\limits_{d=1}^{D} \rho_{j_2 d}},\ j_1 = \overline{1,J_2}.$$

Вероятностные характеристики для $(k+1)$-й итерации определяются следующим образом

$$p_{b_1^K}^{k+1} = \frac{p_{b_1^K}^k + \epsilon_1 \mathrm{sign}(\Delta H^{k+1})}{1+\epsilon_1},$$

$$p_{b_1^K}^{k+1} = \frac{p_{b_1}^k}{1+\epsilon_1},\ b_1 = \overline{1,B_1},\ b_1 \neq b_1^k,$$

где величина корректирующего коэффициента $\epsilon_1 > 0$ задается на первом шаге. Значения $p_{b_2}^{k+1}$, $p_{j_1}^{k+1}$, $p_{j_2}^{k+1}$ рассчитываются аналогично при заданных на первом шаге ϵ_2, ϵ_3, ϵ_4.

Рассмотренные выше алгоритмические операции, обеспечивающие реализацию уровней 6,7, объединены в структурную схему алгоритма решения оптимизационных задач многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды управления организационной системы (рисунок 2.3).

2.4 Этапы многовариантной структуризации в цифровизированных организационных системах

Исходя из уровней 1-7, определим этапность процесса многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах двух типов: многообъектной (рисунок 2.1) и автономной (рисунок 2.2).

Этап 1. Характеризация механизмов и показателей эффективности взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы.

Анализируются виды деятельности, реализуемые составляющими организационной системы, структура и механизм их взаимодействия с управляющим центром при объединении в организационное целое по однородным видам деятельности. Характеризуются показатели эффективности деятельности объектов

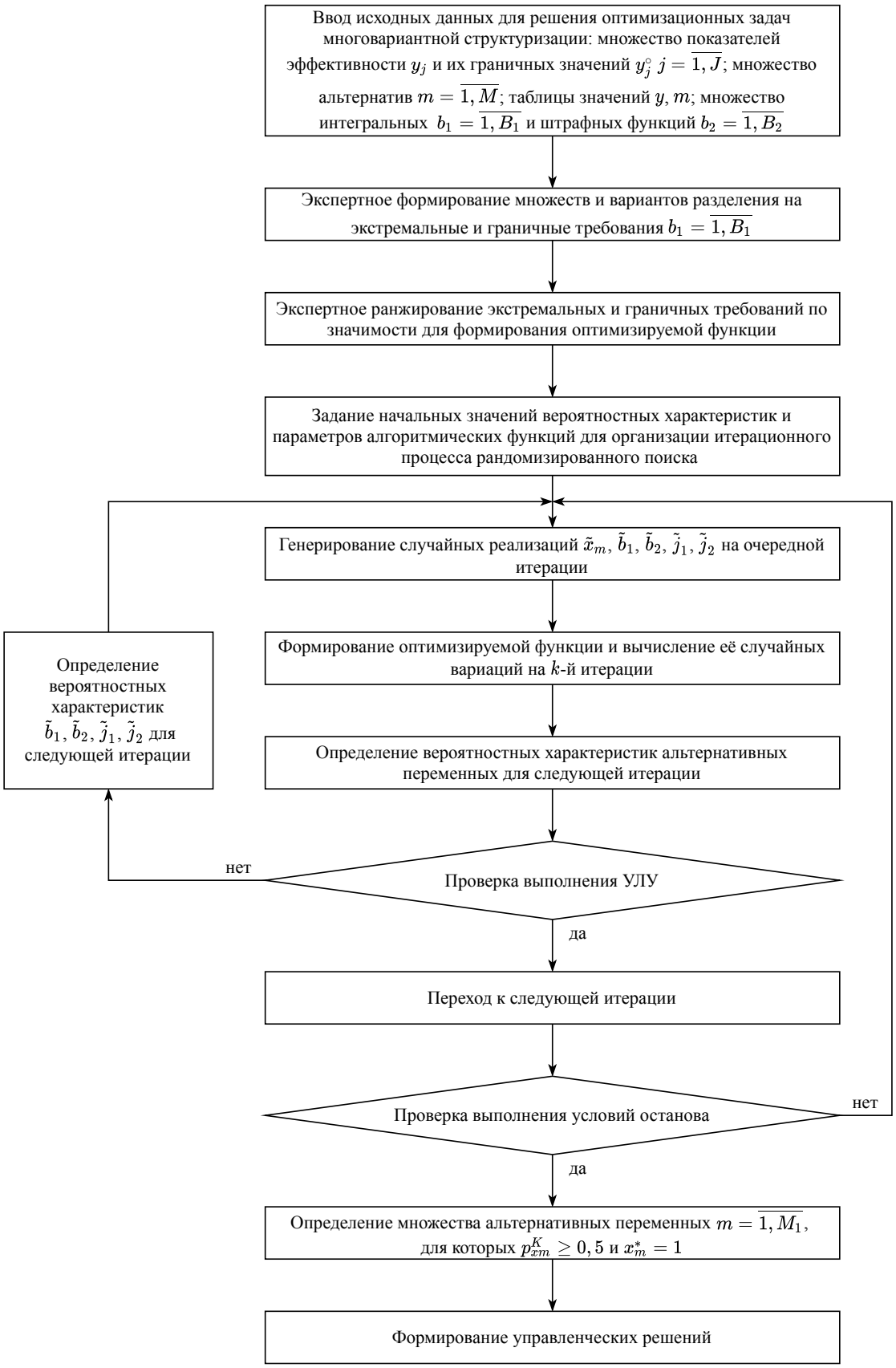

Рисунок 2.3 — Структурная схема алгоритма решения оптимизационных задач многововариантной структуризации развивающейся цифровой среды управления организационной системой

$y_{ij},\ i=\overline{1,I},\ j=\overline{1,J}$ и приводятся значения показателей, соответствующие требованиям управляющего центра y°_{ij}, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$. Для автономной организационной системы дается описание показателей и требований, определяющих эффективность выполнения задач деятельности З$_i$, $i=\overline{1,I}$. Перечисляются группы исполнительных эргатических элементов И$_n$, $n=\overline{1,N}$, характеризуются показатели эффективности их деятельности y_{nji} и влияние этих показателей на выполнение задач y_{ij}.

При анализе механизмов взаимодействия указываются роль ресурсного обеспечения на стадиях функционирования V и развития V^p организационной системы и уровень влияния на показатели эффективности с целью достижения установленных требований. Всё множество требований $j=\overline{1,J}$ экспертным путем разделяется на два подмножества: экстремальные $j_1=\overline{1,J_1}$ и граничные $j_2=\overline{1,J_2}$. Предлагается несколько вариантов разделения $b_1=\overline{1,B_1}$.

Этап 2. Формирование множеств задач управления и управленческих решений.

Исходя из анализа видов деятельности, механизмов взаимодействия управляющего центра с объектами и исполнительными элементами, характеристик показателей эффективности и экспертных оценок устанавливаются задачи управления. Задачи управления относятся либо к каждому виду деятельности, либо к функционированию системы в целом. С другой стороны, задачи управления направлены на достижение заданного уровня либо одним показателем, либо совокупностью показателей. Для каждой задачи управления определяется множество управленческих решений, которые влияют на их изменение. Кроме того, задачи разделяются на первоочередные и перспективные.

Этап 3. Оценивание вариативности решения задач управления с использованием цифровых средств.

Ориентируясь на характер задачи управления и соответствующие ей управленческие решения оценивают разнообразие формализованных методов достижения этих решений и формы реализации цифрового управления.

Этап 4. Структуризация множества реализаций компонентов цифровой среды управления.

С учетом вариативности решений задач управления устанавливают нумерационное множество реализаций цифровых компонентов, ориентированных на каждую задачу, сформированную на этапе 2. Для каждого элемента этого множества фиксируются значения показателей, достигаемых в случае использования этого средства при цифровом управлении в организационной системе.

Этап 5. Реализация принципа компонентной оптимизации.

Вводятся альтернативные переменные, соответствующие нумерационным множествам, полученным на этапе 4, и устанавливается размерность задачи, оценивается степень влияния каждого альтернативного элемента на выполнение экстремальных и граничных требований к функционированию организационной системы. Экстремальные и граничные требования записываются в формализованном виде и объединяются в модель компонентной оптимизации. На основе оптимизационной модели формируется оптимизационная функция и организуется итерационный процесс поиска решений.

Этап 6. Характеризация механизма агрегации компонентов в развивающуюся цифровую среду управления.

Выбирается механизм агрегации при объединении компонентов в развивающуюся цифровую среду управления с учетом разделения задач управления на первоочередные и перспективные. Выделяются два механизма:

– агрегации в организационное целое цифровых средств, поддерживающих первоочередные задачи управления;

– расширение агрегированной среды путем включения перспективных задач управления.

Этап 7. Реализация принципа интеграционной оптимизации.

Вводятся результаты этапов 5,6, позволяющие установить редуцированные множества $\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_g},\ g = \overline{1,G}$ и механизм их агрегации в варианты $S_l,\ l = \overline{1,L}$ цифровой среды управления. Устанавливается форма влияния сочетаний альтернативных переменных при интеграции компонентов на значения показателей

$y_j,\ j = \overline{1,J}$. При наличии статистических выборок для разных вариантов этих сочетаний осуществляется машинное обучение регресионной модели, отражающей функциональную зависимость (2.10). Формируется оптимизационная модель, объединяющая экстремальные и граничные требования, выраженные через альтернативные переменные, осуществляется переход к эквивалентной оптимизируемой функции и на основе сочетания итерационного поиска по уровням 6, 7 с экспертным оцениваением при выборе окончательного варианта интеграции S^*. В случае, если такой вариант не удается выбрать, возвращаемся к этапам 5,6.

Этап 8. Реализация уровня кластерной оптимизации.

Формируется матрица кластерной упорядоченности компонентов синхронизованая с результатами этапа 6, элементы которой характеризуют степень влияния m-го компонента, вошедшего в вариант S^*, на достижение установленного требования к j-му показателю эффективности деятельности объектов О, либо выполнения задач деятельности З$_i$ при его принадлежности к n_1-му кластеру, $n_1 = \overline{1,N}$. Вводятся альтернативные переменные, характеризующие принадлежность m-го компонента в n_1-й кластер, $n_1 = \overline{1,N_1}$. С использованием матричного описания формируется экстремальное требование. Граничные требования связаны с тем, что каждый компонент может входить только в один кластер, а каждый кластер содержит m–й компонент только один раз. На основе оптимизационной модели осуществляется переход к оптимизируемой функции и организуется итерационный поиск решений по 6,7 уровням, учитывающий результаты поиска при реализации этапа 7.

Этап 9. Реализация уровня последовательностной оптимизации.

Для формирования последовательности переходов между использованием компонентов цифровой среды, входящих в n_1-й кластер, необходимо ввести некоторую нумерацию $n_2 = \overline{1,N_2}$ позиций этой последовательности и альтернативные переменные, определяющие m-й компонент в n_2-ю позицию. Так же, как для этапа 8 строится матрица последовательностной упорядоченности синхронизированая с результатами этапа 6 и характеризующая степень влияния m-го компонента на достижение требования по j-му показателю эффективности деятельности

объектов О, либо выполнения задач деятельности З$_i$ при его размещении в n_2-ю позицию. С использованием этой матрицы формируется экстремальное требование последовательностной оптимизации. Граничные требования определяются размещением только каждого компонента в определенную позицию и каждая позиция соответствует определенному компоненту. Формируется оптимизационная модель, осуществляется переход к эквивалентной оптимизируемой функции и организуется итерационный поиск решения по 6,7 уровням, учитывающий результаты поиска при реализации этапа 7.

Этап 10. Реализация уровня ресурсно-распределительной оптимизации.

На этом этапе на основе объемов ресурсного обеспечения, установленных управляющим центром на реализацию стадии функционирования с временным периодом $T-V$ и стадии развития цифровизированной организационной системы с временным периодом $T_j - U^p$. Кроме того, определяются потребности в ресурсном обеспечении функционирования и развития v_i°, u_i°, необходимые для деятельности объектов О$_i$ или выполнения задач З$_i$; потребности в ресурсном обеспечении функционирования и развития компонентов цифровой среды v_g°, u_g°; нумерационное множество первоочередных и перспективных задач управления в соответствии с результатом этапа 6, принятие решений в рамках которых реализуется цифровымии средствами; характеристики изменения функциональности компонентов цифровой среды; временной интервал в течении которого целесообразно перейти от стадии функционирования к стадии развития цифровой среды.

С использованием перечисленных исходных данных на основе 5 уровня многовариантной структуризации формируются оптимизационные модели для решения следующих задач:

– определения допустимого уровня ресурсного обеспечения функционирования и развития цифровой среды, исходя из установленных объемов интегрального ресурсного обеспечения функционирования и развития организационной системы;

– распределения ресурсного обеспечения, предназначенного для обеспечения деятельности объектов О$_i$, $i = \overline{1,I}$ или выполнения задач З$_i$, $i = \overline{1,I}$;

– распределения ресурсного обеспечения для поддержания функциональности компонентов цифровой среды управления на стадии функционирования;

– распределения ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления;

– синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления.

Осуществляется многовариантная структуризация ресурсно- распределеительного механизма с использованием перечисленных оптимизационных моделей, многошаговых и итерационных алгоритмических схем.

Этап 11. Оценка эффективности результатов многовариантной структуризации.

Рассматривается использование предложенной концептуальной основы в практике цифрового управления многообъектными и автономными организационными системами. Для оценки эффективности осуществляется сравнение показателей, достигнутых в эксплуатируемых цифровизированных организационных системах и расчетных показателей, полученных на основе проведения вычислительного эксперимента с использованием уровней многовариантной структуризации.

Целостная последовательность реализации этапов многовариантной структуризации приведена в виде структурной схемы на рисунке 2.4.

Выводы второй главы

1. Структуризация взаимодействия управляющего центра и составляющих цифровизированной организационной системы зависит от формы реализации этих составляющих в рамках двух классов систем: многообъектной и автономной. При этом в первом случае компоненты цифровой среды управления интегрируются с объектами организационной системы, характеризующимися однородными видами деятельности, а во втором – обеспечивают поддержку деятельности исполнительных эргатических элементов при взаимодействии с компонентами цифровой среды управляющего центра.

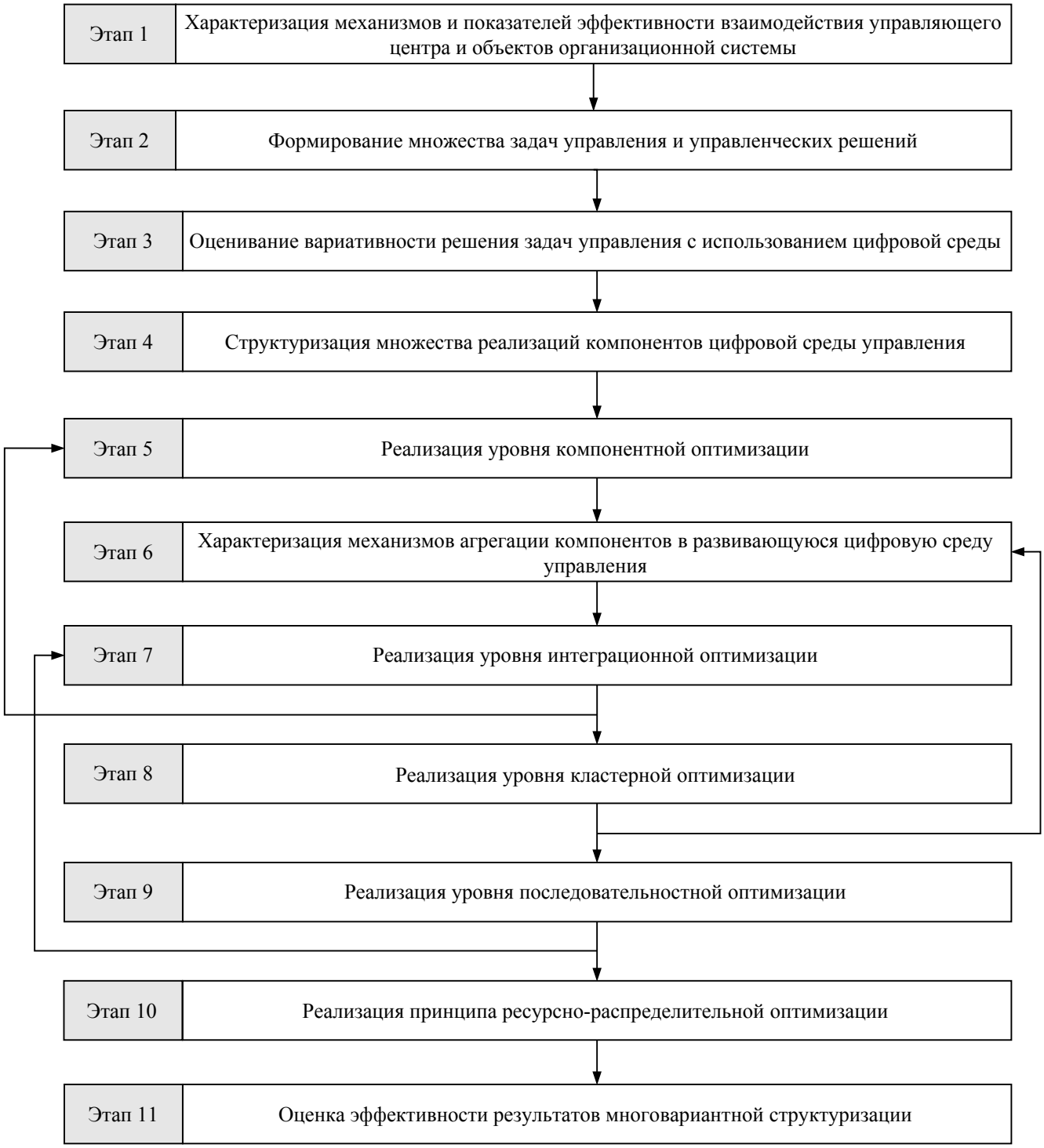

Рисунок 2.4 — Последовательность реализации этапов многовариантной структуризации

2. Аппарат многовариантной структуризации определяет концептуальную основу комплекса задач оптимизации принятия управленческих решений на стадиях функционирования и развития цифровизированной организационной системы: компонентной, интеграционной, кластерной, последовательностной, ресурсно-распределительной. При этом структура варианта цифрового управления определяется набором альтернативных переменных, способом формализации их влияния на значения показателей эффективности организационной системы, разделения требований управляющего центра к эти показателям на экстремальные и граничные.

3. Для реализации энтропийного условия адекватности исходных задач оптимального выбора структурных решений и их формализованных постановок на концептуальной основе многовариантной структуризации целесообразно ввести дополнительные уровни, определяющие характер построения алгоритмического обеспечения, которое при принятии управленческих решений обеспечивает гибкость и адаптируемость оптимизационной функции, объединяющей экстремальные и граничные требования, и монотонность процесса итерационного рандомизированного поиска на основе H-релаксационности.

4. Для практического применения оптимизационного подхода при управлении в цифровизированной организационной системе на концептуальной основе многовариантной структуризации следует установить этапность этого процесса с детализацией действий, связанных с содержательным описанием взаимодействия управляющего центра и составляющих системы, интегрированных с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений, реализацией уровней многовариантной структуризации и оценкой эффективности результатов.

ГЛАВА 3. ОПТИМИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В ЦИФРОВИЗИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Оптимизационное моделирование процесса многовариантной структуризации направлено на постановку и алгоритмизацию задач оптимального принятия управленческих решений в цифровизированной организационной системе на основе принципов, изложенных в параграфе 2.2, параграфе 2.3.

В первую очередь необходимо трансформировать первый уровень в последовательность вычислительных и оценочных операций, позволяющих определить двоичные и ранговые оценки степени соответствия компонентов цифровой среды экстремальным и граничным требованиям к показателям цифровизированной организационной системы, размерность задач компонентной оптимизации, математические конструкции функции экстремального и граничных требований задачи, а также энтропийные оценки, необходимые для организации H-релаксационного итерационного процесса.

Реализация уровней 2-4 определяется постановкой и решением прежде всего задачи интеграционной оптимизации. Математическое описание зависимости функций экстремальных и граничных требований этой задачи может быть представлено в аддитивной и мультипликативной форме от соответствующих значений показателей компонентов с использованием имитационного моделирования многообъектной организационной системы и показателей эффективности, качества и надежности человеко-машинной автономной системы. Возможны два способа описания альтернатив выбора: одноиндексный и двухиндексный в соответствии с числом компонентов и числом их реализаций в рамках редукционного множества.

Итерационный процесс поиска решения задачи интеграционной оптимизации синхронизируется с соответствующими итерационными процессами решения задач кластерной и последовательностной оптимизации. Постановка последних осуществляется в соответствии третьему и четвертому уровням многовариантной структуризации. Синхронизация необходима для вычисления коэффици-

ентов оптимизируемых функций на основе вероятностных характеристик альтернативных переменных задачи интеграционной оптимизации.

3.1 Оптимизационное моделирование процесса многовариантной структуризации на компонентном уровне

Согласно первому уровню многовариантной структуризации оптимизационная модель на компонентном уровне направлена на ограничение разнообразия множеств реализации g-го компонента $w_g = \overline{1,W_g}$ до некоторого редуцированного множества $\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_1}$, $g = \overline{1,G}$. При этом редуцированные множества должны включать реализации $\hat{w}_g$ в наибольшей степени соответствующие по своим показателям $y_{w_g j},\ j = \overline{1,J},\ w_g = \overline{1,W_g}$ граничным (2.11) и экстремальным требования (2.12) к показателям цифровизированной организационной системы. Источником определения такого соответствия в форме двоичных (2.13) или ранговых (2.14) оценок является экспертная информация и её интеллектуальная обработка [100, 101, 125, 173].

Рассмотрим, каким образом использовать экспертную информацию для определения двоичных оценок. Формируются G наборов, фиксирующих мнение эксперта

$$e_{w_g j} = \begin{cases} 1, & \text{если } w_g\text{-я реализация } g\text{-го компонента} \\ & \text{влияет на достижение } j\text{-го требования,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \tag{3.1}$$

$$w_g = \overline{1,W},\ g = \overline{1,G},\ j = \overline{1,J}.$$

На основе (3.1) и с учетом правила большинства [125] при экспертном оценивании определим интегральную оценку g-го компонента

$$E_{w_g} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum\limits_{j=1}^{J} e_{w_g j} \geq \frac{1}{2}J, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$w_g = \overline{1,W_g},\ g = \overline{1,G}.$$

Тогда степень влияния m-й альтернативной переменной, соответствующей w_g-реализации g-го компонента будем вычислять

$$e_{mj} = E_{w_g} e_{w_g j}. \tag{3.2}$$

Для вычисления ранговых оценок к экспертному оцениванию привлекается группа $d = \overline{1,D}$ экспертов. С учетом выполнения условий согласованности экспертов определяется значения рангов каждой реализации $w_g = \overline{1,W_g}$ по j-му требованию к показателям эффективности цифровизированной организационной системы

$$\rho_{w_g j},\ w_g = \overline{1,W_g},\ g = \overline{1,G}, j = \overline{1,J}, \tag{3.3}$$

которые определяют значимость w_g-й реализации g-го компонента для выполнения j-го требования: наиболее значимая – $\rho_{w_g j} = 1$, наименее значимая – $\rho_{w_g j} = W_g$.

На основе (3.3) определяются коэффициенты значимости w_g-й реализации g-го компонента соответствующей m-й альтернативной переменной

$$a_{mj} = 1 - \frac{\rho_{w_g j}}{\sum\limits_{w_g=1}^{W_g} \rho_{w_g j}},\ m = \overline{1,M},\ j = \overline{1,J}. \tag{3.4}$$

Для формирования оптимизационных моделей, включающих альтернативные переменные $x_m = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}$, $m = \overline{1,M}$, необходимо определить размерность нумерационного множества $m = \overline{1,M}$ в соответствии с условием (2.15). Следует обеспечить сохранение разнообразия процесса многовариантной структуризации A в пространстве вариантов редуцированных множеств $S_l,\ l = \overline{1,L}$ при реализации процесса многовариантной структуризации B в пространстве альтернативных переменных.

На начальном этапе процесса многовариантной структуризации A принимается равномерным распределение вероятностей формирования вариантов $S_l,\ l = \overline{1,L}$, что приводит к зависимости энтропийной оценки $H(A)$ от числа вариантов L. Многовариантная структуризация на компонентном уровне основана

на делении множеств $w_g = \overline{1,W_g},\ g = \overline{1,G}$ на два подмножества: редуцированное $\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_g}$ и остаточное. При этом число возможных вариантов

$$L = 2^{W_g},\ g = \overline{1,G}.$$

Тогда

$$H_g(A) = W_g \lg 2,\ g = \overline{1,G}. \tag{3.5}$$

На начальном этапе процесса многовариантной структуризации B принимается равномерное распределение значений альтернативных переменных для g-го компонента

$$p_{mg} = 0{,}5,\ m_g = \overline{1,M_g}\ g = \overline{1,G}.$$

Тогда энтропийная оценка в соответствии с (2.5)

$$H_g(B) = M_g \lg 2. \tag{3.6}$$

Исходя из условия (2.15) и энтропийных оценок (3.5) и (3.6), размерность оптимизационной модели при многовариантной структуризации на компонентном уровне будет

$$M_g = W_g,\ g = \overline{1,G}.$$

Поскольку для всех компонентов $g = \overline{1,G}$ формирование редуцированного множества $\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_g}$ осуществляется идентично, далее будем обозначать при окончательном формировании оптимизационных моделей множество альтернативных переменных $m = \overline{1,M}$.

Определившись с размерностью множества альтернативных переменных и характеризацией влияния компонентов $w_g,\ g = \overline{1,G}$ соответствующих им, перейдем к формированию экстремальных и граничных требований. Непосредственные математические конструкции, отражающие требования, различны для оценок влияния (3.1) и (3.2).

В случае оценок (3.1) их имеет смысл использовать при формировании граничных требований, разделив на две группы: соответствующие требованиям (2.12) $j_1 = \overline{1,J_1}$, требованиям (2.11) – $j_2 = \overline{1,J_2}$, где $\overline{1,J_1} \cup \overline{1,J_2} = \overline{1,J}$. При этом каждая реализация w_g-го компонента, включаемая в редуцированное множество

$\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_g}$ должна обеспечивать влияние на выполнение не менее C_{j_1} требований (2.12) и C_{j_2} требований (2.11)

$$\begin{aligned} &\sum_{m=1}^{M} c_{mj_1} x_m \geq C_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1}; \\ &\sum_{m=1}^{M} c_{mj_2} x_m \geq C_{j_2},\ j_2 = \overline{1,J_2}. \end{aligned} \tag{3.7}$$

Тогда экстремальное требование направлено на минимизацию числа компонентов $\hat{W}_g$, включаемых в редуцированное множество [83, 175]

$$\sum_{m=1}^{M} x_m \to \min_{x_m}. \tag{3.8}$$

Объединяя (3.7), (3.8), получаем следующую оптимизационную модель

$$\begin{aligned} &\sum_{m=1}^{M} x_m \to \min_{x_m}, \\ &\sum_{m=1}^{M} c_{mj_1} x_m \geq C_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1}, \\ &\sum_{m=1}^{M} c_{mj_2} x_m \geq C_{j_2},\ j_2 = \overline{1,J_2}, \\ &x_m = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ m = \overline{1,M}. \end{aligned} \tag{3.9}$$

В отличие от модели (3.9), где данных c_{mj_1}, C_{j_1}, c_{mj_2}, C_{j_2} достаточно для её построения, оценки (3.4) позволяют сформировать только экстремальное требование, которое заключается во включении в редуцированное множество тех реализаций w_g, g-го компонента, которые обеспечивают наибольшее влияние на выполнение j-го требования. Поскольку имеем $j_1 = \overline{1,J_1}$ экстремальных $j_2 = \overline{1,J_2}$ граничных требований получаем многокритериальную задачу

$$\begin{aligned} &\sum_{m=1}^{M} a_{mj_1} x_m \to \max,\ j_1 = \overline{1,J_1}, \\ &\sum_{m=1}^{M} a_{mj_2} x_m \to \max,\ j_2 = \overline{1,J_2}. \end{aligned} \tag{3.10}$$

Граничные требования связывают задачу компонентной оптимизации с задачей ресурсной оптимизации, рассмотренной в п.4, по следующим характеристикам:

– $U^{\circ}_{w_g},\ w_g = \overline{1,W_g},\ g = \overline{1,G}$ – ресурсное обеспечение, требуемое для ввода в эксплуатацию и поддержание функциональности w_g-й реализации g-го компонента;

– $U_g,\ g = \overline{1,G}$ – ресурсное обеспечение, которое установлено для ввода в эксплуатацию и поддержание функциональности g-го компонента.

Будем считать, что альтернативные переменные $x_m,\ m = \overline{1,M}$ соответствуют множеству реализаций $w_g = \overline{1,W_g}$ g-го компонента. Тогда граничное требование имеет вид

$$\sum_{m=1}^{M} U^{\circ}_m x_m \le (\sum_{m=1}^{M} x_m) U, \tag{3.11}$$

где $\sum\limits_{m=1}^{M} x_m$ соответствует числу компонентов, включаемых в редуцированное множество.

Объединяя (3.10), (3.11) получаем следующую оптимизационную модель

$$\begin{gathered}
\sum_{m=1}^{M} a_{mj_1} x_m \to \max,\ j_1 = \overline{1,J_1}, \\
\sum_{m=1}^{M} a_{mj_2} x_m \to \max,\ j_2 = \overline{1,J_2}, \\
\sum_{m=1}^{M} U^{\circ}_m x_m \le (\sum_{m=1}^{M} x_m) U, \\
x_m = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ m = \overline{1,M}.
\end{gathered} \tag{3.12}$$

Следующим этапом после формирования оптимизационных моделей (3.9), (3.12) является итерационная реализация многовариантной структуризации. Для обеспечения H-релаксационности при переходе от k-й итерации к $(k+1)$-й процесса A используется условие

$$-\sum_{l=1}^{L} p_l^{k+1} \lg p_l^{k+1} \le -\sum_{l=1}^{L} p_l^{k} \lg p_l^{k}, \tag{3.13}$$

где p_l^k определяется на k-й итерации по формуле (2.31)

процесса B

$$\sum_{m=1}^{M}[p_{x_m}^{k+1}\lg p_{x_m}^{k+1}+(1-p_{x_m}^{k+1})\lg(1-p_{x_m}^{k+1})]\leq \\ \sum_{m=1}^{M}[p_{x_m}^{k}\lg p_{x_m}^{k}+(1-p_{x_m}^{k})\lg(1-p_{x_m}^{k})]. \tag{3.14}$$

Энтропийные оценки (3.13), (3.14) используются для проверки правила останова (2.33) итерационного процесса при $k = K$. После останова на основе альтернативных переменных $x_m^* = 1$ формируются редукционные множества реализаций компонентов

$$\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_g},\ g = \overline{1,G},$$

что и является результатом многовариантной структуризации на компонентном уровне.

Структурная схема оптимизационного моделирования процесса многовариантной структуризации на компонентном уровне приведена на рисунке 3.1.

3.2 Оптимизационное моделирование интеграционного процесса многовариантной структуризации

В соответствии с уровнем 2 многовариантной структуризации интеграционная оптимизация обеспечивает объединение компонентов цифровизированной организационной системы на редуцированных множествах их реализаций $\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}_g},\ g = \overline{1,G}$. С целью формирования варианта системы, наилучшим образом удовлетворяющего требованиям (2.11), (2.12) к показателям эффективности функционирования и развития $y_j,\ j = \overline{1,J}$.

Для постановки задачи интеграционной оптимизации в первую очередь требуется определить математическую зависимость (2.10) показателей интегрированной системы от показателей реализации компонентов $y_{j\hat{w}_g}$, считая, что каждая реализация компонента связана с определенной альтернативной переменной. При этом возможны три способа формирования этих зависимостей.

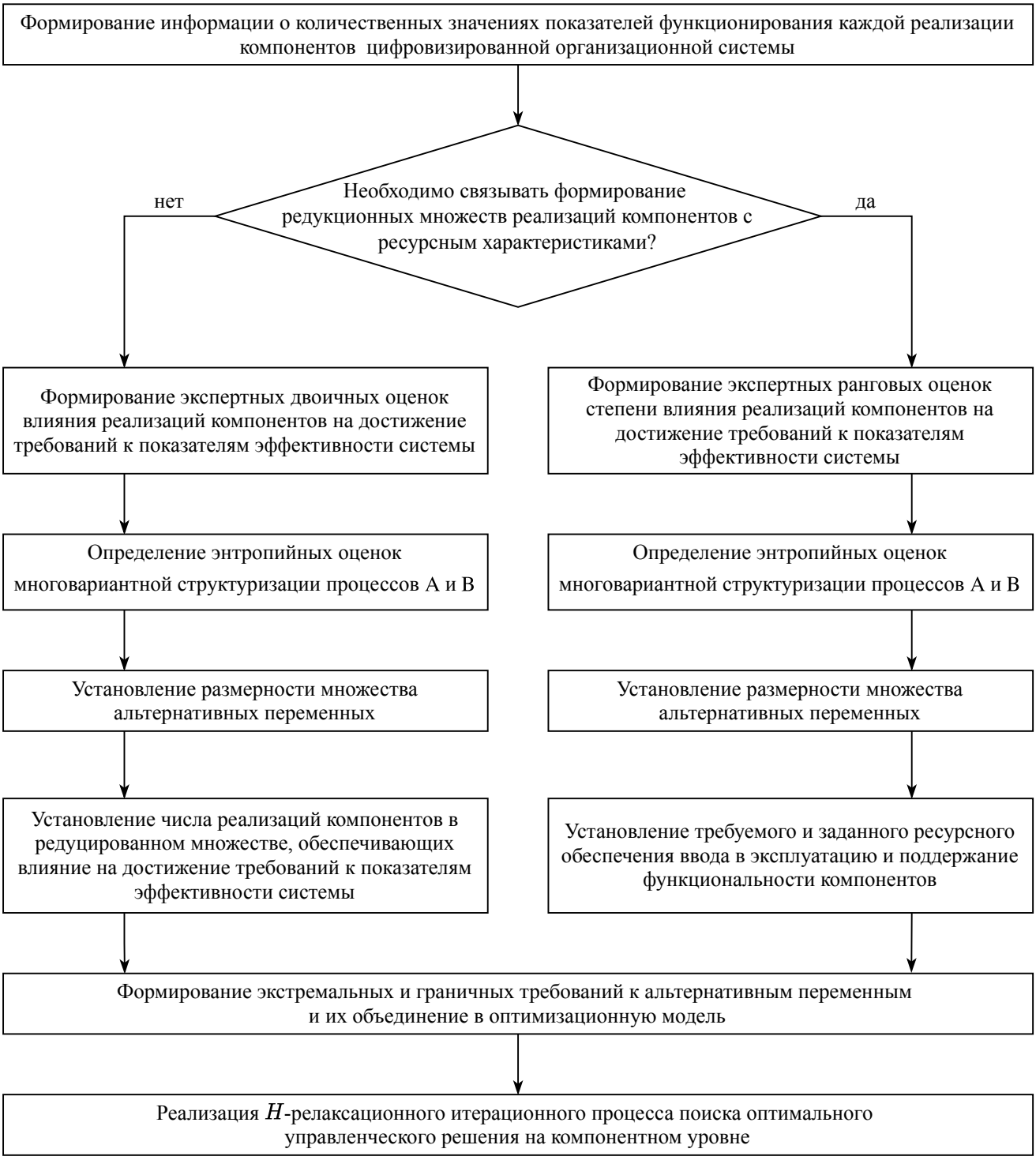

Рисунок 3.1 — Структурная схема оптимизационного моделирования многовариантной структуризации на компонентном уровне

1. Характеризация интегрированной системы набором показателей y_j, которые связаны с показателями $y_{j\hat{w}_g}$ либо аддитивным образом

$$y_j = \sum_{g=1}^{G} y_{j\hat{w}_g}, \tag{3.15}$$

либо мультипликативным

$$y_j = \prod_{g=1}^{G} y_{j\hat{w}_g}. \tag{3.16}$$

К показателям, вычисляемым в соответствии с (3.15), относятся различные экономические характеристики (стоимость, затраты), временные (трудоемкость); вычисляемым в соответствии с (3.16), надежностные (вероятность безотказной работы, вероятность поддержания функциональности цифровых средств).

2. Характеризация взаимодействия управляющего центра с объектами организационной системы (рисунок 2.1) при перемещении результатов деятельности и обмена информацией в рамках цифровой среды управления как системы массового обслуживания. В этом случае целесообразным является использование имитационного моделирования, позволяющего на каждом шаге итерационного процесса решения задачи интеграционной оптимизации вычислять значения y_j при заданных значениях $y_{j\hat{w}_g}$, которые соответствуют определенной альтернативной переменной.

3. Характеризация управляющего центра с исполнительными эргатическими элементами (рисунок 2.2) при выполнении задач $З_i$, $i = \overline{1,I}$ как человеко-машинной системы [110]. Для каждой i-й задачи формируется обобщенная система деятельности, которая анализируется на первом этапе на уровне действий эргатических элементов, а на втором на уровне операций, позволяющих осуществить выполнение этих действий. Совокупность действий и операций объединяется в логическую схему действий, на основе которой с применением вероятностных преобразований вычисляются экономические, временные и надежностные показатели интегрированной системы.

В соответствии с (2.10) следует от зависимостей y_j от $y_{j\hat{w}_g}$ перейти к зависимостям через соответствующие альтернативные переменные оптимизационной модели. При этом размерность нумерационных множеств индексов $m =$

$\overline{1,M}$, $n = \overline{1,N}$ альтернативных переменных (2.8), (2.9) будет определять размерность оптимизационной задачи, от которой полностью зависит трудоемкость её решения. Для определения размерности используем соотношение (2.15) между энтропийными оценками процесса многовариантной структуризации A в пространстве вариантов интегрированной системы S_l, $l = \overline{1,L}$ и процесса B в пространстве альтернативных переменных x_{m_n}, $m_n = \overline{1,M_n}$, $n = \overline{1,N}$.

Поскольку выбор числа вариантов интегрированной системы определяется разделением множеств $\overline{1,\hat{W}_g}$ на две части: выбранная реализация и остальные, то число вариантов $L = \prod\limits_{g=1}^{G} 2^{W_g}$.

Тогда

$$H(A) = \sum_{g=1}^{G} \hat{W}_g \lg 2. \tag{3.17}$$

Для совокупности альтернативных переменных x_{mn}, $m_n = \overline{1,M_n}$, $n = \overline{1,N}$ в соответствии с (2.5)

$$H(B) = \sum_{n=1}^{N} M_n \lg 2. \tag{3.18}$$

Из соотношений энтропийных оценок (3.17), (3.18) определяем размерность оптимизационной задачи

$$N = G,\ M_n = \hat{W}_g,\ n = \overline{1,N}. \tag{3.19}$$

Если $M_n = \hat{W}_g \leq 8$, то общая размерность множества альтернативных переменных равна $8G$, что определяет трудоемкость итерационного решения задачи.

Предлагается для сокращения размерности (3.19) осуществить нумерацию реализаций компонентов $\hat{w}_g = \overline{1,\hat{W}}$ при $\hat{W}_g \leq 8$, $g = \overline{1,G}$ в двоичном исчислении через альтернативные переменные x_m, $m = \overline{1,M}$

$$\begin{gathered}
\hat{w}_1 = 1 + x_1 2^0 + x_2 2^1 + x_3 2^2, \\
\vdots \\
\hat{w}_g = 1 + x_{m-2} 2^0 + x_{m-1} 2^1 + x_m 2^2, \\
\vdots \\
\hat{w}_G = 1 + x_{M-2} 2^0 + x_{M-1} 2^1 + x_M 2^2.
\end{gathered} \tag{3.20}$$

В случае оптимизируемых переменных (3.20) общая размерность задачи $3G$, что в 2,7 раза снижает трудоемкость её решения.

Поскольку ситуация с выполнением условия $\hat{W}_g \leq 8,\ g = \overline{1,G}$ характерна для цифровизированных организационных систем при постановке задачи оптимизации используем множество альтернативных переменных (3.20) $x_m,\ m = \overline{1,M},\ M = 3G$. Каждому набору альтернативных переменных x_m соответствует набор реализаций компонентов, интегрируемых в организационное целое.

В том случае, когда $\hat{W}_g < 8$, вводятся фиктивные реализации компонентов $\hat{w}_g^{\text{ф}}$ для которых принимаются следующие значения показателей

$$y_{j\hat{w}_g^{\text{ф}}} > \max_{\hat{w}_g=\overline{1,\hat{W}}} y_{jw_g}.$$

Сама оптимизационная модель с учетом двух подмножеств показателей $j_1 = \overline{1,J_1}$ и $j_2 = \overline{1,J_2}$ имеет вид

$$\begin{gathered} \psi_{j_1}(x_{mn}) \to extr,\ j_1 = \overline{1,J_1}, \\ f_{j_2}(x_{mn}) \leq y_{j_2}^{\circ},\ j_2 = \overline{1,J_2}, \\ x_{mn} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}. \end{gathered} \tag{3.21}$$

Если связи показателей интегрированной системы y_j с показателями реализаций компонентов, входящих в редуцированное множество, определяется зависимостями (3.15), модель (3.21) записывают следующим образом

$$\begin{gathered} \sum_{n=1}^{N} \sum_{m_n=1}^{M_n} x_{mn} y_{j_1\hat{w}_g}(x_{mn}) \to extr,\ j_1 = \overline{1,J_1}, \\ \sum_{n=1}^{N} \sum_{m_n=1}^{M_n} x_{mn} y_{j_2\hat{w}_g}(x_{mn}) \leq y_{j_2}^{\circ},\ j_2 = \overline{1,J_2}, \\ x_{mn} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}, \end{gathered} \tag{3.22}$$

запись $y_{j_1\hat{w}_g}(x_{mn}),\ y_{j_2\hat{w}_g}(x_{mn})$ – означает, что реализации $\hat{w}_g$ g-го компонента соответствует альтернативная переменная x_{mn}.

Зависимость ряда показателей y_j от $y_{j\hat{w}_g}$ может быть мультипликативной (3.16), то соответствующие экстремальные и граничные требования имеют вид

$$\prod_{n=1}^{N}\sum_{m_n=1}^{M_n} x_{mn} y_{j_1\hat{w}_g}(x_{mn}) \to extr, \tag{3.23}$$

$$\prod_{n=1}^{N}\sum_{m_n=1}^{M_n} x_{mn} y_{j_2\hat{w}_g}(x_{mn}) \le y^{\circ}_{j_2}. \tag{3.24}$$

Задача оптимизации (3.22) является задачей линейного булевого программирования, при включении в нее (3.23), (3.24) имеем задачу нелинейного булевого программирования. Для их решения будем использовать итерационный процесс рандомизированного поиска, основанный на шестом и седьмом уровнях, изложенных в параграфе 2.3.

Если взаимодействие управляющего центра с объектами организационной системы определяется структурной схемой, представленной на рисунке 2.1, вычисление значений y_j в зависимости от значений x_{mn} основано на имитационном моделировании системы массового обслуживания. В этой системе каждому значению $x_{mn} = 1$ соответствует определенная реализация $\hat{w}_g$ g-го компонента. В множество компонентов входят компоненты цифровой среды управляющего центра с реализациями $\hat{w} = \overline{1,\hat{W}}$ и цифровых сред объектов с реализациями $\hat{w}_i = \overline{1,\hat{W}_i}$, $i = \overline{1,I}$. В системе массового обслуживания обмен данными между цифровыми средами охарактеризуем следующим набором показателей в зависимости от реализаций компонентов:

– $\lambda_{\hat{w}\hat{w}_i}$ – средняя интенсивность обмена данными цифровой среды управляющего центра при реализации $\hat{w}$ с цифровой средой i-го объекта при реализации $\hat{w}_i$;

– $\mu_{\hat{w}_i}$ – средняя интенсивность обработки данных цифровой среды i-го объекта при реализации $\hat{w}_i$;

– $p_{\hat{w}}$ – вероятность отказа цифровой среды управляющего центра при реализации $\hat{w}$;

– $p_{\hat{w}_i}$ – вероятность отказа цифровой среды i-го объекта организационной системы при реализации $\hat{w}_i$.

На основании этих характеристик в ходе имитационного моделирования генерируются случайные последовательности заявок, которые преобразуются в экономические, временные и надёжностные характеристики интегрированной системы. В этом случае указанную генерацию удается объединить в единый процесс с процедурой итеративного рандомизированного поиска [6, 109].

Обратимся к структурной схеме (рисунок 2.2) взаимодействия цифровой среды управляющего центра и цифровых сред, обеспечивающих выполнение задач З$_i$, $i = \overline{1,I}$ и исполнительных эргатических элементов. Такая система, как отмечалось выше, является человеко-машинной системой. Разбиение взаимодействия управляющего центра с исполнительными эргатическими элементами через определенные реализации компонентов цифровой среды $\hat{w}_i = \overline{1,\hat{W}_i}$ на некоторые действия при участии И$_n$, $n = \overline{1,N}$ позволяет построить некоторую логическую схему [74] для вычисления следующих показателей эффективности интегрированной системы:

– $p_i^{\text{б}}$ – вероятности безошибочного выполнения задачи З$_i$;

– $\overline{T}_i$ – математического ожидания времени выполнения задачи З$_i$;

– $\overline{Z}_i$ – математического ожидания затрат на выполнение задачи З$_i$.

Вероятность безошибочной работы определяется мультипликативной зависимостью (3.16) от соответствующих показателей при взаимодействии И$_n$ с реализацией компонента цифровой среды $\hat{w}_i = \overline{1,\hat{W}_i}$:

– $p_{n\hat{w}_i}^{\text{б}}$ – вероятность безошибочного выполнения n-м исполнительным эргатическим элементом при решении i-й задачи с использованием реализации компонента цифровой среды $\hat{w}_i$.

Показатели интегрированной системы $\overline{T}_i$ и $\overline{Z}_i$ определяются аддитивной зависимостью (3.15) от соответствующих показателей взаимодействия И$_n$ с реализацией компонента цифровой среды i-й задачи $\hat{w}_i = \overline{1,\hat{W}_i}$;

– $\overline{T}_{n\hat{w}_i}$ – математическое ожидание времени выполнения задачи З$_i$ при взаимодействии исполнительного эргатического элемента И$_n$ с управляющим центром с использованием $\hat{w}_i$-го компонента цифровой среды;

– $\overline{Z}_{n\hat{w}_i}$ – математическое ожидание затрат на выполнение задачи З$_i$ при взаимодействиии исполнительного эргатического элемента И$_n$ с управляющим центром с использованием $\hat{w}_i$-го компонента цифровой среды.

На основании зависимостей, аналогичных (3.15), (3.16) формируется оптимизационная модель линейного или нелинейного булевого программирования. Полученные задачи оптимизации решаются с использованием итерационного рандомизированного поиска, базирующегося на уровнях 6,7.

Структурная схема оптимизационного моделирования интеграционного процесса многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы приведена на рисунке 3.2.

3.3 Оптимизационное моделирование процессов кластерной и последовательностной многовариантной структуризации

Рассмотрим построение оптимизационной модели, направленное на реализацию 3 уровня многовариантной структуризации. Модель должна в формализованном виде представлять структуризацию, связанную с распределением $g = \overline{1,G}$ компонентов цифровой среды в $r = \overline{1,R}$ кластеров в соответствии с эффектом влияния на выполнение экстремальных и граничных требований на основе которых осуществляется интеграционная оптимизация.

Каждый g-й компонент при этом относится либо к множеству элементов r-го кластера, либо к множеству элементов, не вошедших в r-й кластер, что приводит к образованию следующего числа вариантов

$$L = \prod_{r=1}^{R} 2^{G_r},$$

где G_r – число компонентов, распределенных в r-й кластер.

Энтропийная оценка процесса A многовариантной структуризации равна

$$H(A) = \sum_{r=1}^{R} G_r \lg 2. \tag{3.25}$$

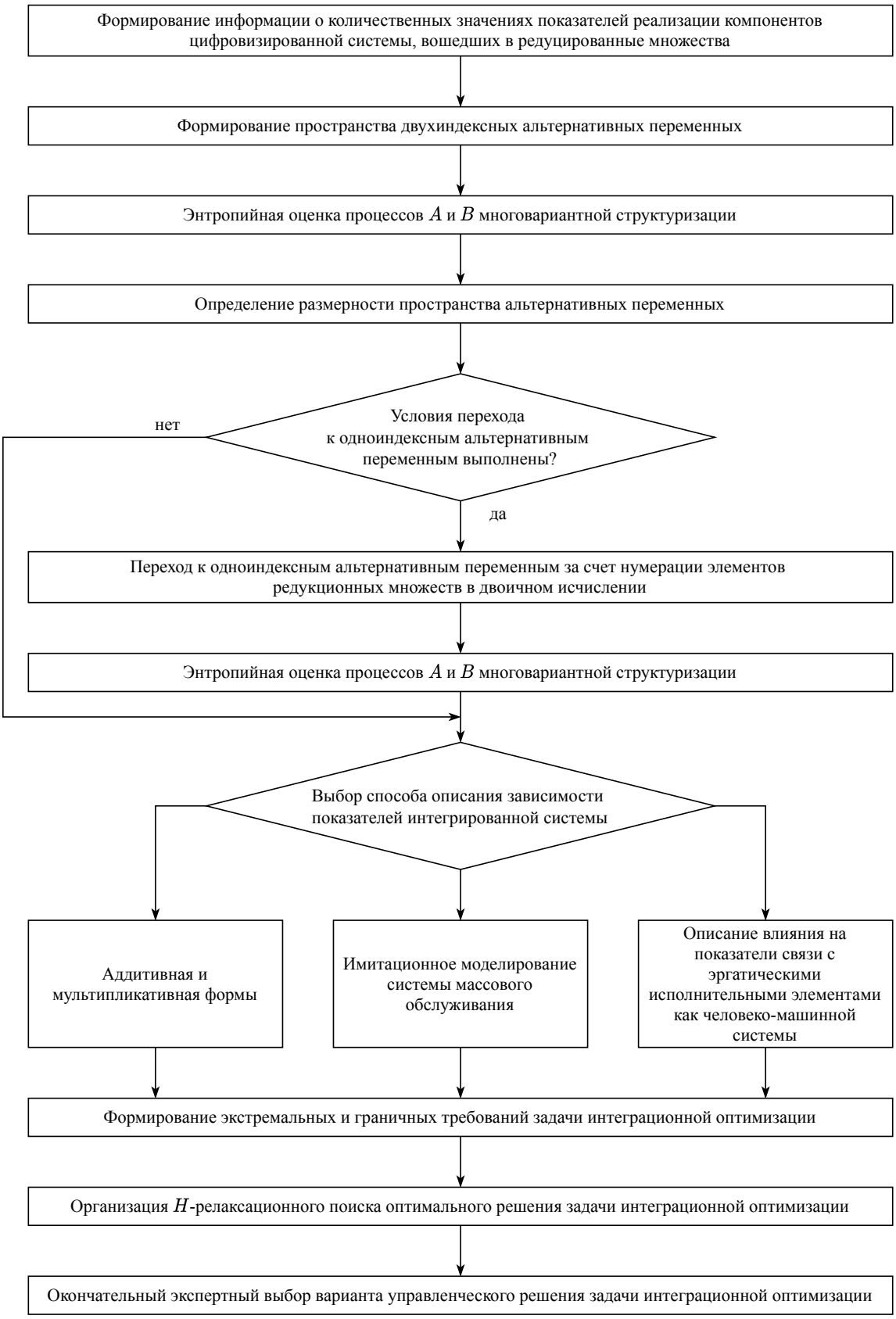

Рисунок 3.2 — Структурная схема оптимизационного моделирования интеграционного процесса многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы

Энтропийная оценка процесса B многовариантной структуризации в случае введения альтернативных переменных $x_{mn},\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}$

$$H(B) = \sum_{r=1}^{R} M_n \lg 2. \tag{3.26}$$

Из соотношения энтропийных оценок (3.25), (3.26) определяем размерность оптимизационной модели $N = R,\ M_n = G_r,\ n = \overline{1,N}$.

Приоритетность распределения r-го компонента в число элементов нумерационного множества $g_r = \overline{1,G_r}$ будем характеризовать коэффициентом c_{gr} . Поскольку элементу g_r соответствует альтернативная переменная x_{mn}, то и коэффициенты приоритетности зададим на нумерационных множествах $m_n = \overline{1,M_n}$, $n = \overline{1,N}$, то есть x_{mn}. Кроме того, необходимо учесть, что каждый g-й элемент может быть распределен только в один кластер. Имеем следующую оптимизационную модель

$$\begin{gathered}
\sum_{n=1}^{N} \sum_{m_n=1}^{M_n} c_{mn} x'_{mn} \to \max, \\
\sum_{m_n=1}^{M_n} x'_{mn} = 1,\ n = \overline{1,N}, \\
x'_{mn} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}.
\end{gathered} \tag{3.27}$$

Теперь перейдем к построению оптимизационной модели, направленному на реализацию уровня 4 многовариантной структуризации. Формализуем в виде экстремальных и граничных требований процессов расположения компонентов $g_r = \overline{1,G_r}$ в каждом r-м кластере $r = \overline{1,R}$ по степени влияния на достижение заданных требований к показателям эффективности цифровизированной организационной системы. Введем нумерационное множество позиций, в которых располагают g_r-е компоненты $S_r = \overline{1,S_r}$.

Поскольку для каждого g_r-го компонента может быть два состояния: размещение в позицию S_r или в остальные позиции, общее число вариантов распреде-

ления компонентов по позициям равно

$$L = \prod_{s_r=1}^{S_r} 2^{G_r}.$$

Тогда получаем следующую энтропийную оценку процесса A многовариантной структуризации

$$H(A) = \sum_{s_r=1}^{S_r} G_r \lg 2. \tag{3.28}$$

С другой стороны, при характеризации процесса B многовариантной структуризации каждому компоненту, расположенному в определенной позиции, соответствуют альтернативные переменные

$$x''_{mn} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \; m_n = \overline{1,M_n}, \; n = \overline{1,N}.$$

В этом случае энтропийная оценка процесса B равна

$$H(A) = \sum_{n=1}^{N} M_n \lg 2. \tag{3.29}$$

Из соотношения энтропийных оценок (3.28), (3.29) определим размерность оптимизационной модели

$$N = S_r, \; M_n = M = G_r \forall n = \overline{1,N}.$$

Степень влияния g_r-го компонента при его расположении в s_r-й позиции в задаче интеграционной оптимизации охарактеризуем коэффициентом $a_{g_r c_2}$ или при переходе к альтернативным переменным x_{mn} – a_{mn}. При этом каждый g_r-й компонент располагается только в одной позиции s_r, а каждая позиция s_r может быть занята только одним компонентом s_r. В результате приходим к следующей

оптимизационной модели

$$\begin{gathered}\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} a_{mn}x''_{mn} \to \max,\\ \sum_{m=1}^{M} x''_{mn} = 1,\ n = \overline{1,N},\\ \sum_{n=1}^{N} x''_{mn} = 1,\ m = \overline{1,M},\\ x''_{mn} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}.\end{gathered} \tag{3.30}$$

Процесс итерационного рандомизированного поиска задач кластерной (3.27) и последовательностной оптимизации (3.30) предлагается рассматривать как составляющие итерационного процесса поиска интеграционной оптимизации. С этой целью коэффициенты c^k_{mn} и a^k_{mn} рассчитываются на каждой k-й итерации от значений вероятностных характеристик (2.27) оптимизируемых переменных x_{mn} задачи интеграционной оптиимзации, которые соответствуют g-му компоненту.

В этом случае оптимизируемая функция задачи (3.27) на k-ой итерации имеет вид

$$\psi(x'^k_{mn}) = \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} c^k_{mn}\tilde{x}'^k_{mn}, \tag{3.31}$$

где случайные реализации $\tilde{x}'^k_{mn}$ определяются на основе вероятностных характеристик

$$p'^k_{x_{mn}},\ p'^k_{m_n},\ p'^k_n,\ n = \overline{1,N},\ m_n = \overline{1,M_n} \tag{3.32}$$

в следующем порядке: по значениям p^k_n определяется $\tilde{n}^k$, по значениям $p'^k_{m_n} - \tilde{m}^k_n$, по значениям $p'^k_{x_{mn}}$ – значение $x_{mn} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}$ при $m_n = \tilde{m}^k_n,\ n = \tilde{n}^k$.

Приведенный выше порядок обеспечивает алгоритмическое выполнение ограничений в модели (3.27) в том случае, если при следующих итерациях на основе (3.32) значения $m_n = \tilde{m}^k_n,\ n = \tilde{n}^k$ исключаются.

Для определения влияния вероятностных характеристик (3.32) на значимость x'_{mn} задачи кластерной оптимизации для выполнения установленных требований к показателям задачи интеграционной оптимизации отметим, что при определении энтропийной оценки (3.25) мы фактически считаем

$$\bigcup_{r=1}^{R}(1,G_r) = \overline{1,G}.$$

Поэтому значение индекса m_n практически означает g_r, а в индексах переменных модели интеграционной оптимизации индекс n означает индекс g, то влияние на x'_{mn} определяется вероятностной характеристикой p_n^k. Кроме того, это влияние зависит от выполнения еще одного события, связанного с градацией кластеров по отношению к выполнению установленных требований от $r = 1$ до $r = R$. Тогда коэффициент c_{mn}^k будет определяться вероятностями двух событий: генерации индекса $n = g$ и попадания компонентов в кластер r

$$c_{mn}^k = p_r p_n^k,\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}, \tag{3.33}$$

где $p_r = \frac{\frac{1}{r}}{\sum\limits_{r=1}^{R}\frac{1}{r}},\ r = \overline{1,R}$.

На основе оптимизационной функции (3.31), порядка генерации случайных реализаций $\tilde{x}'_{mn}$ по вероятностным характеристикам (3.32), значений коэффициентов c_{mn}^k, вычисляемых в соответствии с (3.33), организуется H-релаксационный процесс рандомизированного поиска, позволяющий определить оптимальные распределения компонентов по кластерам $x^*_{mn} = 1,\ m_n = \overline{1,M_n},\ n = \overline{1,N}$.

Структурная схема оптимизационного моделирования процесса кластерной многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы приведена на рисунке 3.3.

Перейдем к задаче последовательностной оптимизации. Оптимизируемая функция задачи (3.30) на k-й итерации имеет вид

$$\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} a_{mn}^k \tilde{x}''^k_{mn}, \tag{3.34}$$

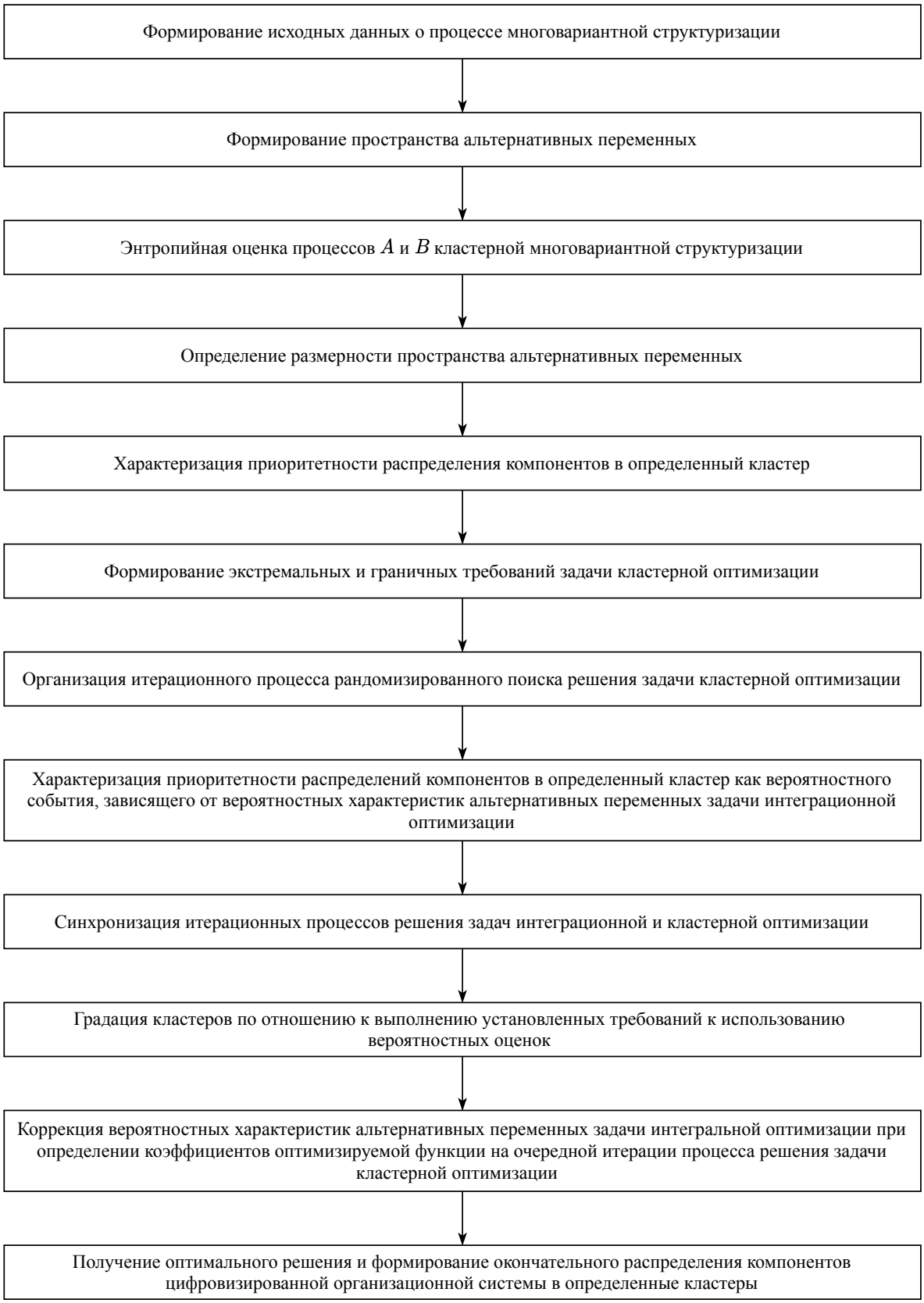

Рисунок 3.3 — Структурная схема оптимизационного моделирования процесса кластерной многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы

где случайные реализации $\tilde{x}''^{k}_{mn}$ определяются на основе вероятностных характеристик

$$p''^{k}_{x_{mn}},\ p''^{k}_{m},\ p''^{k}_{n},\ n=\overline{1,N},\ m=\overline{1,M} \tag{3.35}$$

в порядке, рассмотренном для определения случайных реализаций кластерной оптимизации так, чтобы выполнялись ограничения в задаче (3.30).

Кроме того, необходимо учесть, что последовательностная оптимизация осуществляется в каждом r-м кластере. При этом между $s_r = \overline{1,S_r}$ позициями распределяются не всё множество компонентов $\overline{1,G}$, а только подмножество $\overline{1,G_r}$. Эти особенности необходимо учесть при определении коэффициентов a^k_{mn} оптимизируемой функции (3.34).

Рассмотрим, каким образом коэффициенты a^k_{mn} связаны с изменениями вероятностных характеристик (3.35) альтернативных переменных задачи интеграционной оптимизации. Степень их влияния, как в предыдущем случае, определяется значениями p^k_n, но при этом только индексов n, соответствующих индексам компонентов $g_r = \overline{1,G_r}$, что обозначим $n \in \overline{1,G_r}$. Поэтому значения p^k_n необходимо нормировать на множестве $\overline{1,G_r}$

$$p'^{k}_{n} = \frac{p^k_n}{\sum\limits_{n\in\overline{1,G_r}} p^k_n},\ n\in\overline{1,G_r},\ r=\overline{1,R}. \tag{3.36}$$

Степень влияния a^k_{mn} альтернативной переменной x_{mn} на достижение установленных требований к показателям эффективности цифровизированной организационной системы определяется второй составляющей по индексу n, связанной со значимостью распределения g_r-го компонента в s_r-ю позицию

$$p_{s_r} = \frac{\frac{n}{s_r}}{\sum\limits_{s_r=1}^{S_r} \frac{1}{S_r}},\ s_r = 1. \tag{3.37}$$

Тогда

$$a^k_{mn} = p_{s_r} p'^{k}_{n},\ n=\overline{1,N},\ m=\overline{1,M}. \tag{3.38}$$

Вычисление оптимизируемой функции (3.34) с учетом расчетных выражений (3.37), (3.38) для определения коэффициентов a^k_{mn} на каждой k-й итерации,

синхронизированной с итерационным процессом решения задачи интеграционной оптимизации, а также порядка генерации случайных реализаций альтернативных переменных $\tilde{x}''_{mn}$ по вероятностным характеристикам (3.35), обеспечивающим алгоритмическое выполнение ограничений задачи (3.30), организуется H-релаксационный процесс рандомизированного поиска, который позволяет определить оптимальную последовательность использования компонентов цифровизированной организационной системы при оптимальном решении $x^*_{mn} = 1,\ n = \overline{1,N},\ m = \overline{1,M}$.

Структурная схема оптимизационного моделирования процесса последовательностной многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы приведена на рис. 3.4.

Выводы третьей главы

1. При формировании оптимизационных моделей процесса многовариантной структуризации следует организовать экспертное оценивание реализаций компонентов цифровой среды, включаемых в редуцированное множество, таким образом, чтобы определить двоичные и ранговые оценки степени влияния этих реализаций на соответствие их показателей экстремальным и граничным требованиям к цифровизированной организационной системе; провести энтропийную оценку размерности альтернативных переменных, сформировать критерий и ограничения задачи компонентной оптимизации. Построенная оптимизационная модель позволяет осуществить H-релаксационный итерационный процесс поиска оптимального управленческого решения.

2. Для построения оптимизационной модели интеграционного процесса многовариантной структуризации целесообразно использовать три способа формирования зависимостей показателей, входящих в экстремальные и граничные требования от альтернативных переменных: аддитивная и мультипликативная зависимости показателей системы от показателей реализаций компонентов; описание взаимодействия управляющего центра в многообъектной организационной

Рисунок 3.4 — Структурная схема оптимизационного моделирования процесса последовательностной многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы

системе при перемещении результатов деятельности и обмене информацией с использованием имитационного моделирования; описание взаимодействия управляющего центра с исполнительными эргатическими элементами как человеко-машинной системы. При этом возможна ориентация на альтернативные переменные с двумя и одним индексом, размерность которых установливается на основе энтропийных оценок, что позволяет перейти к оптимизационным моделям и H-релаксационному итерационному процессу поиска оптимальных управленческих решений.

3. С целью оптимизационного моделирования процессов кластерной и последовательностной многовариантной структуризации эффективным является подход, включающий определение размерности альтернативных переменных по энтропийным оценкам, формирование оптимизационных моделей распределения компонентов цифровизированной организационной системы между кластерами и назначение их в позиции внутри кластеров, синхронизация определения коэффициентов оптимизируемых функций при организации H-релаксационного итеративного поиска с итерационным процессом интеграционной оптимизации.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА СТАДИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Уровень 5 многовариантной структуризации, рассмотренный в параграфе 2.2, определяет необходимость оптимизации распределения ресурсного обеспечения по стадиям функционирования и развития цифровой среды с учетом сочетания средств на поддержку функциональности эксплуатируемых комплексов и интеграции в неё компонентов, необходимых для реализации новых задач управления в организационной системе. В соответствии с этим уровнем следует разработать модели и алгоритмы оптимизации для этапов А3.1, А3.2, А3.3, охарактеризованных в параграфе 1.3.

Для реализации этапа А3.1 требуется сформировать оптимизационные модели и алгоритмы принятия следующих управленческих решений:

– выбор из множества компонентов, предлагаемых управляющим центром для решения первоочередных задач управления организационной системой, т.е. на которые целесообразно распределить ресурсное обеспечение с целью поддержания их функциональности в определенный период времени;

– распределение ресурсного обеспечения на поддержание функциональности по временным интервалам жизненного цикла компонентов.

Реализация этапа А3.2 обеспечивается формализованным описанием и решением следующих оптимизационных задач:

– выбора множества компонентов, на интеграцию которых в цифровую среду целесообразно выделить ресурсное обеспечение с целью покрытия новых функций управления, предлагаемых управляющим центром на стадии развития;

– распределение ресурсного обеспечения по временным интервалам стадии развития цифровой среды управления организационной системе.

Оптимизационное моделирование принятия управленческих решений на этапе А3.3 следует ориентировать на синхронизацию этапов А3.1 и А3.2 путем определения момента времени перехода от стадии функционирования к стадии

развития цифровой среды управления с наилучшим распределением ресурсного обеспечения на поддержание функциональности эксплуатируемых компонентов и интеграцию новых компонентов при условии сохранения общего числа показателей эффективности организационной системы, поддерживаемых на обеих этапах.

4.1 Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления

На основании последовательной оптимизации, рассмотренной в параграфе 3.3, формируется порядок перехода к использованию определенных компонентов при обеспечении задач управления по показателям $y_j, j = \overline{1,J}$ эффективности организационной системы. Управляющий центр устанавливает период времени T и выбирает из оптимизированной последовательности множество $g = \overline{1,G}$ компонентов, которые обеспечивают функционирование цифровой среды управления. Для ввода в эксплуатацию и поддержание функциональности g-го компонента требуется ресурсное обеспечение $U_g^\circ,\ g = \overline{1,G}$. Поскольку интегральный ресурс, выделяемый в организационной системе на период времени T ограничен величиной U, число компонентов, эксплуатируемых на стадии функционирования $G' \leq G$ [112].

С целью установления числа компонентов G будем учитывать жизненный цикл каждого компонента по уровню функциональности. Изменение уровня функциональности представляется некоторой нормированной функцией $f_g(t)$, фиксируемой в моменты мониторинга функциональности $t = \overline{1,T}$, характерный вид которой представлен на рисунке 4.1.

В момент $t = T_g^\circ$ она достигает требуемого уровня функциональности $f_g(T_g^\circ) = 1$, а в момент $t = T_g^{\text{кр}}$ – критического порога $f^{\text{кр}}(T_g^{\text{кр}})$.

В этом случае каждому компоненту соответствует период времени поддержания уровня функциональности

$$\tau_g = T_g^{\text{кр}} - T_g^\circ,$$

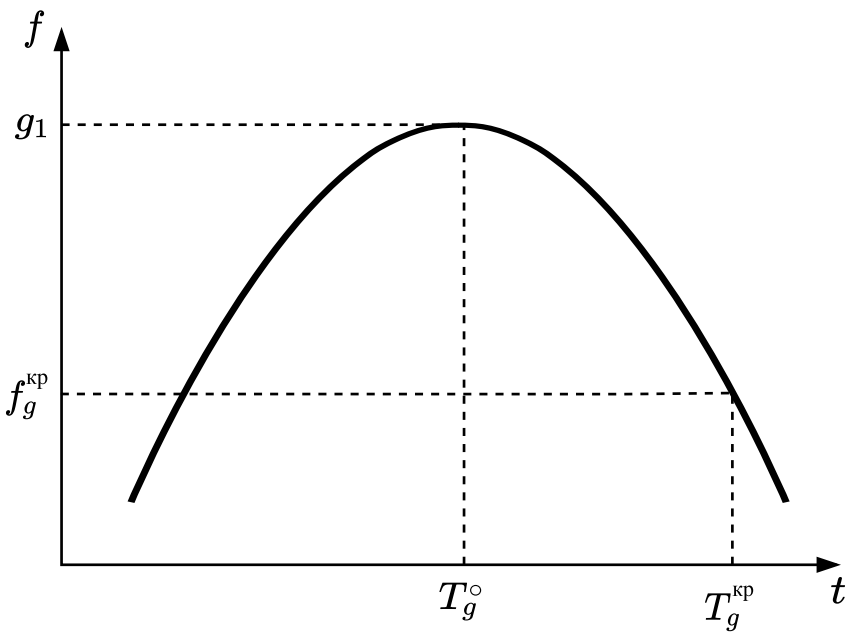

Рисунок 4.1 — График изменения уровня функциональности в течении жизненного цикла компонента развивающейся цифровой среды управления

в течении которого расходуется часть ресурсного обеспечения $U_g^{\circ},\ g = \overline{1,G}$. Тогда значимость включения этого компонента в множество $g' = \overline{1,G'}$ будет зависеть от нормированного значения $\hat{\tau}_g$ в виде отношения величины τ_g к периоду времени функционирования T

$$\hat{\tau}_g = \frac{\tau_g}{T}.$$

Введем альтернативные переменные, определяющие включение g-го компонента в множество $g' = \overline{1,G'}$:

$$x_g = \begin{cases} 1, & \text{если } g\text{-й компонент эксплуатируется} \\ & \text{на стадии функционирования развивающейся} \\ & \text{цифровой среды управления,} \\ 0, & \text{в противном случае, } g = \overline{1,G}. \end{cases} \tag{4.1}$$

Оптимизация заключается в максимальном охвате компонентов из множества $g = \overline{1,G}$ в период времени функционирования T

$$\sum_{g=1}^{G} \hat{\tau}_g x_g \to \max \tag{4.2}$$

при выделенном ресурсном обеспечении U [84, 114]

$$\sum_{g=1}^{G} u_g^{\circ} x_g \leq U. \tag{4.3}$$

Рассматривая в качестве критерия оптимизации (4.2), а ограничений (4.1), (4.3), получаем модель многоальтернативной оптимизации, нацеленную на выполнение уровня 5 многовариантной структуризации,

$$\begin{gathered} \sum_{g=1}^{G} \hat{\tau}_g x_g \to \max, \\ \sum_{g=1}^{G} u_g^{\circ} x_g \leq U, \\ x_g = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases} \quad g = \overline{1,G}. \end{gathered} \tag{4.4}$$

Решение (4.4), полученное на основе рандомизированной схемы поиска определяет состав нумерационного множества $g' = \overline{1,G'}$.

Далее необходимо определить распределение ресурсного обеспечения $U_{g'}^{\circ}, g' = \overline{1,G'}$ на мероприятия по поддержанию функциональности g'-го компонента в моменты времени $t_k, k = \overline{1,K}$, относящиеся к периоду $T_{g'}^{\text{кр}} - T_{g'}^{\circ}$, таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{k=1}^{K} u_{g'k} \leq U_{g'}^{\circ},\ g' = \overline{1,G'}, \tag{4.5}$$

где $u_{g'k}$ – ресурсное обеспечение, используемое для мероприятия по поддержке функциональности g'-го компонента в момент t_k.

Процесс изменения уровня функциональности компонента на интервале времени $[T^{\circ},T^{\text{кр}}]$ является случайным процессом:

$$\tilde{f}_k = \tilde{f}(t_k),\ k = \overline{1,K}, \tag{4.6}$$

где $\tilde{f}$ – обозначение случайной величины.

Тогда для оценки эффективности мероприятий и соответственно затрат u_k, позволяющих обеспечить поддержание уровня функциональности компонента, предлагается использовать вероятностную оценку [13, 161, 164]:

$$E(u_k,t_k) = P(1 \geq f(u_k,t_k) \geq f_{\text{кр}}),\ k = \overline{1,K}, \tag{4.7}$$

где P – обозначение вероятности случайного события.

С целью вычисления (4.7) необходимо провести аппроксимацию случайного процесса некоторой функцией со случайными параметрами [13]. В качестве такой функции, учитывая характер изменения $f(t)$ на этапе жизненного цикла $t = \overline{T^{\circ},T^{\text{кр}}}$, выберем экспоненциальную функцию

$$\tilde{f}_k = 1 - \tilde{Q}_1 e^{\tilde{Q}_2 k},\ k = \overline{1,K},\ t_1 > T^{\circ} \tag{4.8}$$

где $\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2$ случайные значения параметров.

На практике случайные изменения (4.6) функции $f(t)$ таковы, что при аппроксимации (4.8):

– во-первых, относительное среднеквадратичное отклонение для $\tilde{Q}_1$ значительно меньше, чем соответствующая величина для $\tilde{Q}_2$:

$$\frac{D^{\frac{1}{2}}(\tilde{Q}_1)}{m(\tilde{Q}_1)} \ll \frac{D^{\frac{1}{2}}(\tilde{Q}_2)}{m(\tilde{Q}_2)}, \tag{4.9}$$

где m, D – обозначение величин математического ожидания и дисперсии случайной величины, поэтому следует считать [4], что параметр $Q_1 = m(\tilde{Q}_1)$;

– во-вторых, случайная величина $\tilde{Q}_2$ подчиняется нормальному закону распределения с плотностью

$$\omega(\tilde{Q}_2) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi D^{\frac{1}{2}}(\tilde{Q}_2)} \exp\left(-\frac{(\tilde{Q}_2 - m(\tilde{Q}_2))^2}{2D(\tilde{Q}_2)}\right). \tag{4.10}$$

Учитывая (4.8) — (4.10), случайные величины $\tilde{f}_k,\ k = \overline{1,K}$ тоже подчиняются нормальному закону распределения [9] с числовыми характеристиками, вычисляемыми при фиксированных значениях $u_k,\ m(\tilde{f}_k,u_k),\ D(\tilde{f}_k,u_k)$:

$$\omega(\tilde{f}_k,u_k) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi D^{\frac{1}{2}}(\tilde{f}_k, u_k)} \exp\left(-\frac{(\tilde{f}_k - m(\tilde{f}_k, u_k))^2}{2D(\tilde{f}_k,u_k)}\right),\ k = \overline{1,K}. \tag{4.11}$$

Для оценки выполнения условия (4.9) необходимо определить $m(\tilde{f}_k,u_k)$, $D(\tilde{f}_k,u_k)$, $k = \overline{1,K}$. Используем разложение функции (4.8) в ряд Тейлора в окрестности каждой точки t_k, $k = \overline{1,K}$. При определении математического ожидания с использованием его свойств ограничимся членом разложения второго порядка, а дисперсии – первого порядка [128]. Тогда имеем:

$$m(\tilde{f}_k,u_k) = m(\tilde{Q}_1)e^{m(\tilde{Q}_2)k}\left[1 + m(\tilde{Q}_2)k + \frac{1}{2}D(\tilde{Q}_2)k^2\right], \tag{4.12}$$

$$D(\tilde{f}_k) = \left[m(\tilde{Q}_1)ke^{m(\tilde{Q}_2)k}\right]^2 D(\tilde{Q}_2). \tag{4.13}$$

Характеристики (4.11) - (4.13) позволяют определить оценку эффективности использования ресурсного обеспечения u_k, $k = \overline{1,K}$ для поддержания уровня функциональности компонента цифровой среды управления с применением табулированной нормированной функции Лапласа [128]:

$$E(u_k,t_k) = \Phi\left(\frac{1 - m(\tilde{f}_k,u_k)}{D^{\frac{1}{2}}(\tilde{f}_k,u_k)}\right) - \Phi\left(\frac{f_{\text{кр}} - m(\tilde{f}_k,u_k)}{D^{\frac{1}{2}}(\tilde{f}_k,u_k)}\right), \tag{4.14}$$

где Φ – обозначение нормированной функции Лапласа.

Возможность вычисления оценки эффективности (4.14) позволяет обеспечить распределение интегрального ресурса U^0 между временными интервалами t_k, $k = \overline{1,K}$ таким образом, чтобы максимизировать эффективность их использования для поддержания функциональности при выполнении условия (4.5). Формализованная запись такой задачи имеет вид:

$$\begin{gathered}\sum_{k=1}^{k} E(u_k,t_k) \to \max_{(u_k,\ k=\overline{1,K})\in G};\\ G = \begin{cases} u_k \big| \sum_{k=1}^{K} u_k \le U^{\circ}, \\ u_k \ge 0,\ k = \overline{1,K}. \end{cases}\end{gathered} \tag{4.15}$$

Эффективным способом решения оптимизационной задачи (4.15) является организация K-шагового процесса принятия решений (многошагового процесса принятия оптимальных решений – МППОР) [186], в котором вектор оптимизируемых переменных:

$$u = (u_1,u_2,\ldots,u_k,u_{k+1},\ldots,u_K) \tag{4.16}$$

разбивается на k связанных между собой векторов q_k, меньшей размерности:

$$q_k = (u_{k_1}, \ldots, u_{k_m}) \in G,\ k = \overline{1,K}. \tag{4.17}$$

Векторы (4.17) объединяются в вектор управляемых параметров:

$$q = (q_1, q_2, \ldots, q_k, q_{k+1}, \ldots, q_K). \tag{4.18}$$

Компоненты вектора (4.18) отвечают условиям:

$$\begin{gathered} \bigcup_{k=1}^{K} q_k = U^{\circ}, \\ q_k \bigcap q_l = \varnothing, k, l = \overline{1,K},\ k \neq l. \end{gathered} \tag{4.19}$$

Также как в [186], МППОР, рассмотрим в обратном направлении с K-го шага с индексом «1» к первому шагу с индексом «K» и введем вектор состояний до и после выбора q_k соответственно:

$$p_{k+1} = (p_{k+1,1}; p_{k+1,2}; \ldots; p_{k+1,m}), \tag{4.20}$$

$$p_k = (p_{k1}; p_{k2}; \ldots; p_{km}). \tag{4.21}$$

При этом зададим условие преобразования вектора (4.18) в вектор (4.21) после выбора вектора управляемых параметров q_k:

$$p_k = \varphi_k(p_{k+1}, q_k), \tag{4.22}$$

где вектор q_k удовлетворяет системе ограничений $G_{q_k} \in G$:

$$q_k \in G_{q_k},\ k = \overline{1,K}, \tag{4.23}$$

а показатель эффективности (4.7) зависит от векторов состояния и управляемых параметров:

$$E_k = \psi_k(p_{k+1}, q_k),\ k = \overline{1,K}. \tag{4.24}$$

С учётом (4.22), (4.23) на основе зависимости (4.14) осуществляется сравнение между собой допустимых векторов, управляемых параметров q_k при фиксированном состоянии p_{k+1}.

Обобщая преобразование (4.24) на весь K-шаговый процесс принятия оптимальных решений, и учитывая аддитивность критерия оптимизационной задачи (4.15), получаем оценку эффективности на весь период $\overline{T^{\circ},T^{\text{кр}}}$:

$$\psi(q_1,\ldots,q_k,\ldots,q_K,p_{k+1}) = \sum_{k=1}^{K} \psi_k(p_{k+1},q_k). \tag{4.25}$$

На основании (4.25) запишем оптимизационную задачу (4.15) в следующем виде:

$$\sum_{k=1}^{K} \psi(p_{k+1},q_k) \to \max_{(q_1,\ldots,q_k,\ldots,q_K)\in G_{q_k}}. \tag{4.26}$$

В соответствии с выводами [186], перейдём от решения (4.26) к последовательности решения одномерных задач оптимизации:

$$\begin{aligned}
\psi_1(p_2) &= \max_{0\le\hat{u}_1\le p_2} \psi_1(\hat{u}_1);\\
\psi_2(p_3) &= \max_{0\le\hat{u}_2\le p_3} \{\psi_2(\hat{u}_2)+\psi_1(p_3-\hat{u}_2)\};\\
&\vdots\\
\psi_k(p_{k+1}) &= \max_{0\le u_k\le p_{k+1}} \{\psi_k(\hat{u}_k)+\psi_{k-1}(p_{k-1}-\hat{u}_k)\},
\end{aligned} \tag{4.27}$$

где $\hat{u}_k = \frac{u_k}{U^{\circ}}$ – нормированные значения объемов ресурсного обеспечения.

Система задач оптимизации позволяет реализовать вычислительную схему алгоритма МППОР. Однако, на каждом шаге этой схемы в ряде случаев возникает неоднозначность в выборе оптимального значения u_k^*. Применяя процедуру экспертного оценивания [103], получаем оптимальное решение задачи (4.15):

$$u_1^*,\ldots,u_k^*,\ldots,u_K^*. \tag{4.28}$$

Решение (4.28) определяет оптимальное распределение ресурса u° между временными сроками $t_k,\ k=\overline{1,K}$ для поддержания уровня функциональности компонента на этапе жизненного цикла $\overline{T^{\circ},T^{\text{кр}}}$.

Структурная схема оптимизации распределения ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления в организационной системе приведена на рисунке 4.2.

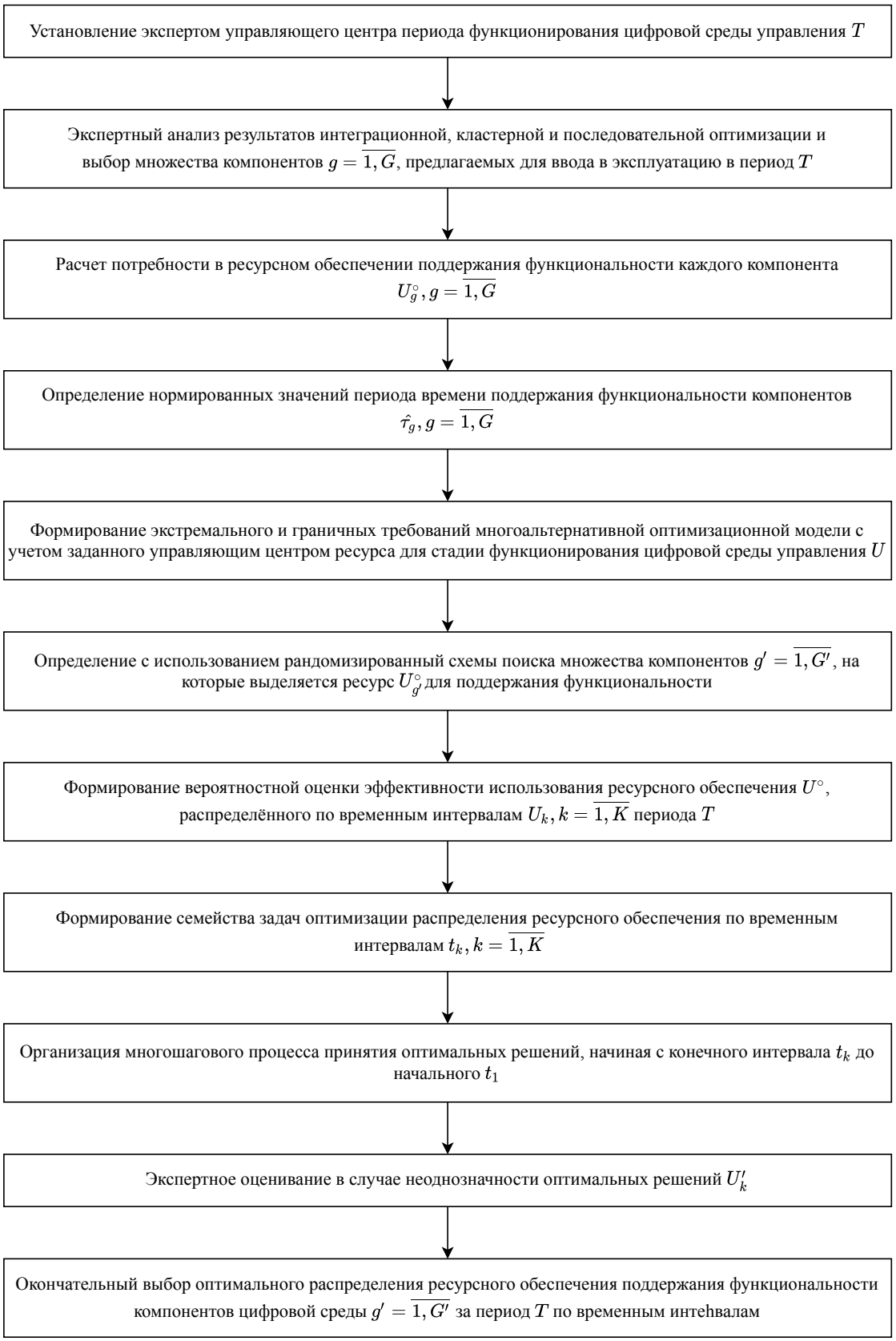

Рисунок 4.2 — Структурная схема оптимизации распределения ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления в организационных системах

4.2 Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления в организационных системах

Стадию развития цифровой среды управления в организационных системах охарактеризуем следующими множествами и величинами [112, 115, 118]:

– $g_1 = \overline{1,G_1}$ – нумерационное множество новых компонентов, интегрируемых в цифровую систему управления;

– $g_2 = \overline{1,G_2}$ – нумерационное множество эксплуатируемых компонентов, подлежащих замене в связи со снижением функциональности ниже критического уровня;

– U^P – интегральный ресурс, выделенный управляющим центром на развитие цифровой среды управления на период времени T_1;

– $t_1 = \overline{1,T_1}$ -— нумерационное множество временных интервалов мониторинга и принятия решений управляющим центром;

– $U^p_{g_1}$ -— объем ресурсного обеспечения, необходимый для интеграции g_1-го компонента за период времени T_1;

– $U^p_{g_1}(t_1)$ -— объем ресурсного обеспечения, выделяемый на временном интервале t_1;

– $U^p_{g_2}$ -— объем ресурсного обеспечения, необходимый для замены g_2-го компонента за период времени T_1, если его функциональность не поддерживается компонентами $g_1 = \overline{1,G_1}$.

Распределение ресурсного обеспечения осуществляется поэтапно:

1. Определяется гарантированный ресурс на период времени T_1 для интеграции новых компонентов

$$U^{\text{р.г}} = U^p - \sum_{g_2=1}^{G_2} U^p_{g_2}.$$

2. Оценивается экспертным путем степень влияния g_1-го компонента на достижение показателей y_{j_1} уровня $y^{\circ}_{j_1}$, заданного управляющим центром, где $j_1 = \overline{1,J_1}$ -— нумерационное множество показателей эффективности организационной системы, по которым планируется реализация процесса в период времени T_1.

С этой целью используем экспертные оценки на множестве термов (τ_1, τ_2) лингвистической переменной <допустимо изменить значение показателя y_{j_1} до заданного уровня при использовании g_1-го компонента> [67, 98]:

$$\tau_1 = \begin{cases} \text{увеличить} \\ \text{уменьшить} \\ \text{уравнять} \\ \text{безразлично} \end{cases} ; \ \tau_2 = \begin{cases} \text{сильно} \\ \text{существенно} \\ \text{несколько} \\ \text{немного} \\ \text{мало} \end{cases} .$$

Указание экспертом определенной градации термов τ_1, τ_2 позволяет вычислить значение функции принадлежности [109]

$$\mu_{g_1 j_1} = \mu(\tau_1, \tau_2, \hat{y}_{j_1}), \tag{4.29}$$

где $\hat{y}_{j_1} = \frac{y_{j_1}(T)}{y^{\circ}_{j_1}}$, T – момент времени, предшествующий началу периода T_1.

3. Формируется оптимизационная модель распределения ресурсного обеспечения между компонентами $g_1 = \overline{1,G_1}$ за период времени T_1

$$\begin{gathered} \sum_{g_1=1}^{G_1} \mu_{g_1 j_1} x_{g_1} \to \max, \ j_1 = \overline{1,J_1}, \\ \sum_{g_1=1}^{G_1} U^{p}_{g_1} x_{g_1} \le U^{\text{р.г}}, \\ x_{g_1} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases} \quad g_1 = G_1, \end{gathered} \tag{4.30}$$

где x_{g_1} – альтернативная переменная [106],

$$x_{g_1} = \begin{cases} 1, & \text{если в период времени } T_1 \\ & \text{выделяется необходимый ресурс} \\ & \text{для интеграции в цифровую среду} \\ & \text{управления } g_1\text{-го компонента} \\ 0, & \text{в противном случае, } g_1 = \overline{1,G_1}. \end{cases}$$

4. Осуществляется переход от многокритериальной задачи (4.30) к эквивалентной оптимизационной модели [32]

$$\begin{gathered}\sum_{j_1=1}^{J_1}\alpha_{j_1}\sum_{g_1=1}^{G_1}\mu_{g_1j_1}x_{g_1}\to\max,\\ \sum_{g_1=1}^{G_1}U_{g_1}^{p}x_{g_1}\le U^{\text{р.г}},\\ x_{g_1}=\begin{cases}1, & g_1=G_1,\\ 0,\end{cases}\end{gathered}\tag{4.31}$$

где α_{j_1} – весовые коэффициенты

$$0\le\alpha_{j_1}\le 1,\ \sum_{j_1=1}^{J_1}\alpha_{j_1}=1.$$

Оптимальное решение задачи (4.31) $x_{g_1}^{*}$ позволяет осуществить распределение ресурсного обеспечения за период времени T_1 следующим образом

$$U_{g_1}^{p^*}=\begin{cases}U_{g_1}^{p}, & \text{если } x_{g_1}^{*}=1,\\ 0, & \text{если } x_{g_1}^{*}=0.\end{cases}\tag{4.32}$$

5. Формируется оптимизационная модель распределения ресурсного обеспечения между временными интервалами $t_1=\overline{1,T_1}$ [61]:

$$\begin{gathered}\sum_{j_1=1}^{J_1}\alpha_{j_1}\sum_{g_1'=1}^{G_1'}a_{g_1'j_1}(t_1)U_{g_1'}(t_1)\to\max,\ t_1=\overline{1,T_1},\\ \sum_{t_1=1}^{T_1}U_{g'}(t_1)\le U_{g_1'}^{p},\ g_1'=\overline{1,G_1'},\\ U_{g_1'}(t_1)\ge 0,\ g_1'=\overline{1,G_1'},\end{gathered}\tag{4.33}$$

где $g_1'=\overline{1,G_1'}$ —- нумерационное множество компонентов, принадлежащих множеству $g_1=\overline{1,G_1}$, для которых $x_{g_1}^{*}=1$; значения $a_{g_1'j_1}$ определяются аналогично (3.4) на множестве $g_1'=\overline{1,G_1'}$.

Для оптимального распределения ресурсного обеспечения цифровой среды управления в организационных системах предлагается реализация следующей последовательности алгоритмических модулей:

1. В качестве алгоритма решения оптимизационной задачи (4.33) для определенного показателя эффективности организационной системы y_{j_1} целесообразно использовать алгоритм многоальтернативной оптимизации, основанный на рандомизированном поиске в пространстве вероятностных характеристик оптимальных переменных x_{g_1} [106].

2. Алгоритм перехода к эквивалентной задаче оптимизации представляет собой адаптивный алгоритм поиска значений весовых коэффициентов, удовлетворяющих экспертной оценке значимости задач (4.30) в достижении показателем y_{j_1} заданного уровня $y^{\circ}_{j_1}$.

С этой целью нумерационное множество показателей $j_1 = \overline{1,J_1}$ заменяется на дискретную случайную величину $\tilde{j}_1$, принимающую значения $\overline{1,J_1}$ с вероятностями $P_{j_1}, \sum_{j_1=1}^{J_1} P_{j_1} = 1$. Процесс поиска значения α_{j_1} итерационный. На первой итерации $k = 1$ принимается равномерное распределение дискретной случайной величины $\tilde{j}_1$

$$P_{j_1} = \frac{1}{J_1},\ j_1 = \overline{1,J_1}.$$

Далее генерируется значение случайного числа в соответствии с распределением $P_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1},\ \sum_{j_1=1}^{G_1} P_{j_1} = 1$ [103]. Пусть это значение j_1'. С использованием алгоритмического модуля решается задача

$$\sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1 j_1'} x_{g_1} \to \max,$$

$$\sum_{g_1=1}^{G_1} U^P_{g_1} x_{g_1} \le U^{\text{р.г}},$$

$$x_{g_1} = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases}$$

При полученном решении $x^*_{g_1}$ определяется для каждой задачи (4.30) значение $\sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1 j_1'} x^*_{g_1},\ j_1 = \overline{1,G_1}$.

Эксперт оценивает, какое из них по его мнению не удовлетворяет в наибольшей степени. Пусть это значение j_1''. Устанавливается двойственная оценка

мнения эксперта

$$A_{j_1} = \begin{cases} 1, & \text{если } j_1 = j_1'', \\ -1, & \text{если } j_1 \neq j_1'', \ j_1 = \overline{1,G_1}, \end{cases}$$

которая используется для коррекции распределения P_{j_1} на $(k+1)$-й итерации

$$P_{j_1}^{k+1} = \frac{P^k + \varepsilon \varkappa(A_{j_1}^k)}{1+\varepsilon}, \ j_1 = \overline{1,J_1},$$

где ε – величина шага, устанавливаемая экспертом на первой итерации;

$$\varkappa(A) = \begin{cases} 1, & A > 0, \\ 0, & A < 0. \end{cases}$$

Останов итерационного процесса осуществляется на k-той итерации, если на четырех предыдущих двойственная оценка A_{j_1} не меняется.

Тогда определяются значения весовых коэффициентов

$$\alpha_{j_1} = P_{j_1}^k, \ j_1 = \overline{1,J_1}$$

и решается эквивалентная задача (4.31) с использованием алгоритмического модуля.

Полученное решение позволяет, с учетом (4.32), установить оптимальное распределение ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления $U^{\text{р.г.}}$ на период T_1.

3. Алгоритмы распределения ресурсного обеспечения между временными интервалами $t_1 = \overline{1,T_1}$, в соответствии с оптимизационной моделью (4.33), использует решение (4.30) как конечное условие T_1-го временного интервала. Далее формируется задача (4.33) на последнем T_1-м интервале и на всех $(T_1 - 1)$ интервалах, начиная с первого, с учетом конечных условий T_1-го интервала

$$\begin{gathered} \sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \sum_{g_1'=1}^{G_1} a_{g_1 j_1}(T_1)[U_{g_1'}(\overline{1,T_1-1}) + U_{g_1'}(T_1)] \to \max, \\ U_{g_1'}(\overline{1,T_1-1}) + U_{g_1'}(T_1) \leq U_{g_1'}^P, \ g_1' = \overline{1,G_1'}, \\ U_{g_1'}'(T_1) \geq 0, \ U_{g_1'}(\overline{1,T_1-1}) \geq 0, \ g_1' = \overline{1,G_1'}. \end{gathered} \tag{4.34}$$

Задача (4.34) является задачей линейного программирования [103]. В результате получаем:

– оптимальное решение для интервала T_1

$$U^*_{g'_1}(T_1),\ g'_1 = \overline{1,G'_1}; \tag{4.35}$$

– оптимальное решение для всех $(T_1 - 1)$ интервалов

$$U^*_{g'_1}(\overline{1,T_1 - 1}),\ g'_1 = \overline{1,G'_1}.$$

С целью получения оптимальных решений для следующего интервала $(T_1 - 1)$

$$U^*_{g'_1}(T_1 - 1),\ g'_1 = \overline{1,G'_1} \tag{4.36}$$

и всех $(T_2 - 2)$ интервалов

$$U^*_{g'_1}(\overline{1,T_1 - 2}),\ g'_1 = \overline{1,G'_1}$$

формируется оптимизационная модель, аналогичная (4.34),

$$\begin{gathered}\sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \sum_{g'_1=1}^{G_1} a_{g'_1 j_1}(T_1 - 1)[U_{g'_1}(\overline{1,T_1 - 2}) + U_{g'_1}(T_1 - 1)] \to \max, \\ U_{g'_1}(\overline{1,T_1 - 2}) + U_{g'_1}(T_1 - 1) \le U^P_{g'_1} - U^*_{g'_1}(T_1),\ g'_1 = \overline{1,G'_1}, \\ U'_{g_1}(T_1 - 1) \ge 0, \quad U^*_{g'_1}(\overline{1,T_1 - 2}) \ge 0,\ g'_1 = \overline{1,G'_1}.\end{gathered} \tag{4.37}$$

Продолжая последовательно формирование и решение задач (4.34), (4.37), получаем для $t_1 = 2$

$$\begin{gathered}\sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \sum_{g'_1=1}^{G'_1} a_{g'_1 j_1}(2)[U_{g'_1}(1) + U_{g'_1}(2)] \to \max, \\ U_{g'_1}(1) + U_{g'_1}(2) \le U^P_{g'_1} - \sum_{t_1=3}^{T_1} U^*_{g'_1}(t_1),\ g'_1 = \overline{1,G'_1}, \\ U_{g'_1}(1) \ge 0,\ U_{g'_1}(2) \ge 0,\ g'_1 = \overline{1,G'_1}\end{gathered} \tag{4.38}$$

оптимальное решение

$$U^*_{g'_1}(1),\ U^*_{g'_1}(2),\ g'_1 = \overline{1,G'_1}.$$

Совокупность решений (4.34), (4.37), (4.38) представляет собой оптимальное распределение ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах за период T_1.

Структурная схема оптимизации распределения ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления в организационных системах приведена на рисунке 4.3.

4.3 Оптимизация процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления

Синхронизация объемов ресурсного обеспечения на функционирование и развитие цифровой среды управления состоит в выборе условия перехода между этими временными стадиями, обеспечивающего устойчивый характер процесса принятия управленческих решений в организационной системе. Оптимизацию выбора по такому условию свяжем с формированием оптимизационной модели для определения значения момента времени перехода от стадии функционирования к стадии развития – T. При построении оптимизационной модели в параграфе 4.1 эта величина является фиксированной, поскольку стадия функционирования рассматривается независимо от последующей стадии развития и определяет конечное значение нумерационного множества временных интервалов $t = \overline{1,T}$. При независимости стадий в параграфе 4.2 введено нумерационное множество временных интервалов $t_1 = \overline{1,T_1}$. В случае зависимого характера стадий функционирования и развития нумерационное множество временных интервалов $t = \overline{1,T}$ без разрыва переходит в нумерационное множество $t_1 = \overline{T+1,\ T+T_1}$, что позволяет рассматривать единое нумерационное множество $t = \overline{1,\ T+T_1}$ с варьируемым на интервале

$$T' \leq T \leq T'' \tag{4.39}$$

моментом времени перехода от стадии функционирования к стадии развития [117, 176].

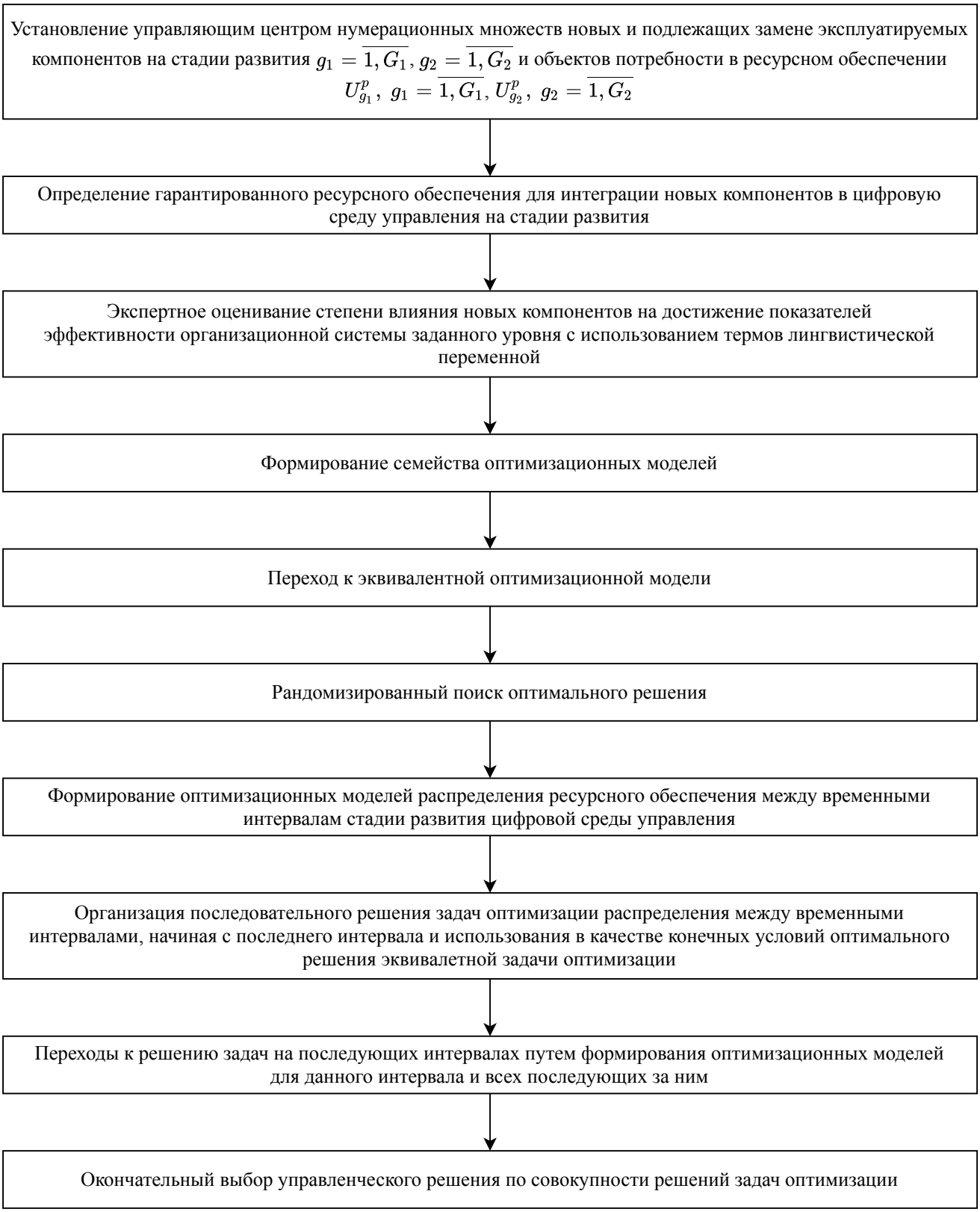

Рисунок 4.3 — Структурная схема оптимизации распределения ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления в организационных системах

Таким образом, оптимизируемой переменной, определяющей синхронизацию распределения ресурсного обеспечения на основе оптимизационных моделей (4.4), (4.31) является момент времени перехода T'. Помимо того, что величина (4.39) влияет на оптимальные решения задач (4.4), (4.31), следует выполнять ряд условий:

– включение элементов с номерами $g = \overline{1,G}$, $g_1 = \overline{1,G_1}$ в цифровую среду управления должно соответствовать результатам последовательностной оптимизации, рассмотренной в параграфе 3.3;

– для обеспечения устойчивого характера процесса принятия управленческих решений в организационной системе необходимо сохранить общее число управляемых показателей эффективности в рамках нумерационного множества $j = 1,\ \overline{J + J_1}$ для любого значения T из интервала (4.39).

Проведем анализ влияния изменений величины T на интервале (4.39) на решение задач оптимизации (4.4), (4.31). В параграфе 4.1 и параграфе 4.2 отмечено, что выбор определенных значений T и T_1 приводит к выбору управляющим центром по результатам последовательностной оптимизации определённого состава нумерационных множеств $g = \overline{1,G}$ и $g_1 = \overline{1,G_1}$, то есть значения G и G_1 зависят от величины T. В этом случае оптимизационные задачи (4.4), (4.31) следует решать с переменным верхним пределом суммирования таким образом, чтобы оптимальные решения $g' = \overline{1,G'}$ и $g'_1 = \overline{1,G_1}$ позволили сохранить общее число управляемых показателей эффективности организационной системы

$$\hat{J} = J + J_1. \tag{4.40}$$

Поэтому зависимой от величины T ставится и верхний предел суммирования в оптимизационной модели (4.31) J_1.

Сформулируем приведенные выше содержательные условия оптимизации процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития в математической форме.

Стадия функционирования

$$\sum_{g=1}^{G(T)} \hat{\tau}(T) x_g \to \max_T,$$
$$\sum_{g=1}^{G(T)} U_g^{\circ} x_g \le U(T), \tag{4.41}$$
$$x_g = \begin{cases} 1, & g = \overline{1,G}; \\ 0 & \end{cases}$$

стадия развития

$$\sum_{j_1=1}^{J_1(T)} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} \mu_{g_1 j_1} x_{g_1} \to \max_T,$$
$$\sum_{g_1=1}^{G_1(T)} U_{g_1}^{p} x_{g_1} \le U^p(T) - \sum_{g_2=1}^{G_2(T)} U_{g_2}^{P}, \tag{4.42}$$
$$x_g = \begin{cases} 1, & g_1 = \overline{1,G_1}. \\ 0 & \end{cases}$$

При этом изменение значений целевых функций задач (4.41), (4.42) происходят следующим образом в зависимости от величины (4.39): при уменьшении значения T, уменьшается $G(T)$, а следовательно, уменьшается значение целевой функции (4.41) $\psi_1(x_j,T)$, но увеличиваются значения $J_1(T)$, $G_1(T)$, $G_2(T)$, а следовательно увеличивается значение целевой функции (4.42) $\psi_2(x_{j_1},T)$.

Таким образом возникает противоречивость влияния величины T на решение оптимизационных задач (4.41), (4.42). Согласованность решений предполагается достигать за счет управления значимостью целевых функций рассматриваемых задач при синхронизации граничных условий и введения ограничений, связанных с сохранением общего числа управляемых показателей эффективности организационной системы.

Предлагается следующий многоэтапный алгоритм согласованного решения оптимизационных задач (4.41), (4.42), обеспечивающий оптимизацию процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления в организационных системах. Для

построения алгоритма используются рандомизированный процесс поиска величины T на интервале (4.39) и оценивание значимости целевых функций.

1. Введение функций изменения ресурсного обеспечения в зависимости от величины T

$$\begin{aligned} U(T) &= U^{\text{б}} + \beta_1 T, \\ U^P(T) &= U^{\text{р.б.}} + \beta_2 T; \end{aligned} \tag{4.43}$$

$U^{\text{б}}$, $U^{\text{р.б.}}$ – базовые значения ресурсного обеспечения соответственно на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления; β_1, β_2 – коэффициенты варьируемой части ресурсного обеспечения.

2. Запуск итерационного процесса $k = 1,2,\ldots$ поиска оптимальных значений $x_g^*, x_{g_1}^*, T^*$.

3. Переход от интервального варьирования величины T (4.39) к рандомизированному по нормальному закону распределения с плотностью

$$w(\tilde{T}) = N(\overline{T},\delta)$$

где $\tilde{T}$ – случайные значения величины (4.39), $\overline{T} = T^k$ – среднее значение величины T на k-ой итерации; δ – среднеквадратичное отклонение

$$\delta = \frac{1}{\delta}(T'' - T').$$

4. Фиксация значения T_k в соответствии с нормальным законом распределения.

5. Решение задач (4.41) и (4.42) с учетом (4.43) при $T = T^k$ на основе рандомизированного схемы поиска по вероятностным характеристикам $P_g^k, P_{g_1}^k$.

6. Переход к вероятностной интерпретации значимости достигнутого значения целевых функций задач (4.41) и (4.42) при $T = T^k$:

P_1^k – вероятность значимости целевой функции ψ_1 на k-й итерации;

P_2^k – вероятность значимости целевой функции ψ_2 на k-й итерации,

$$P_1^k + P_2^k = 1.$$

7. Графическая интерпретация соотношения вероятностных оценок значений целевой функции виде отрезка на плоскости, соединяющего координаты двух точек:

– на оси ординат P_1 – точка с координатами (1,0),

– на оси абсцис P_2 – точка с координатами (0,1).

8. Разбиение указанного отрезка, начиная с точки с координатами (0.5, 0.5), с шагом:

– в сторону точки (1,0) с номерами $1, 2, \ldots, y, \ldots, Y$;

– в сторону точки (0,1) с номерами $-1, -2, \ldots, -y, \ldots, -Y$.

9. Организация диалога с экспертом, который указывает точку y_k на рассматриваемом отрезке, которая по его мнению соответствует соотношению значимости целевых функций задач (4.41) и (4.42).

10. Коррекция значений вероятностей P_1, P_2 на $(k+1)$-й итерации

$$P_1^{k+1} = \frac{P_1 + \varepsilon^{k+1} y^k}{1 + \varepsilon^{k+1} y^k},\ p_2^{k+1} = 1 - P_1^{k+1},\ \text{если } y^k > 0;$$

$$P_2^{k+1} = \frac{P_2 + \varepsilon^{k} |y^k|}{1 + \varepsilon^{k} |y^k|},\ p_1^{k+1} = 1 - P_2^{k+1},\ \text{если } y^k < 0;$$

$$\varepsilon^{k+1} = \varepsilon^k exp(\frac{1}{k} sign[y^{k-1} y^k]).$$

При этом считается, что на первой итерации $p_1^1 = p_2^2 = 0{,}5$, ε_1 – задается экспертом.

11. Коррекция величины оптимизируемой переменной T на $(k+1)$-й итерации

$$T^{k+1} = T^k + \gamma \frac{\psi_1(x_g^k, T_1^k) - \psi_1(x_k^g, T_2^k)}{\tilde{T}_1^k - \tilde{T}_2^k},\ \text{если } y^k > 0;$$

$$T^{k+1} = T^k + \gamma \frac{\psi_2(x_g^k, \tilde{T}_1^k) - \psi_2(x_{g_1}^k, \tilde{T}_2^k)}{T_1^k - T_2^k},\ \text{если } y^k < 0,$$

где $\tilde{T}_1^k, \tilde{T}_2^k$ – значение величины T в соответствии с нормальным законом распределения $N(T^k, \delta)$, γ – величина шага, задаваемого экспертом на первой итерации,

$$x_g^k = \begin{cases} 1, & \text{если } P_g^k \le \tilde{\varepsilon}, \\ 0, & \text{в противном случае}, \end{cases}$$
$$x_{g_1}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{g_1}^k \le \tilde{\varepsilon}, \\ 0, & \text{в противном случае}. \end{cases} \tag{4.44}$$

12. Проверка условия останова итерационного процесса

$$|P_1^{k+1} - P_1^k| \le \delta,\ |P_2^{k+1} - P_2^k| \le \delta \tag{4.45}$$

где $\delta > 0$ – малая величина, заданная экспертом.

13. В случае выполнения условия (4.45) переход к решению интегральной задачи синхронизации распределения ресурсного обеспечения

$$\begin{gathered} P_1^{k+1}(\sum_{g=1}^{G(T)} \hat{\tau}_g(T) x_g + P_2^{k+1}(\sum_{j_1=1}^{J_1(T)} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} a_{g_1 j_1} x_{g_1} \to \max_T, \\ \sum_{g=1}^{G(T)} U_g^{\circ} x_g \le U(T),\ \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} U_{g_1}^p x_{g_1} \le U_T^p - \sum_{g_2=1}^{G_2(T)} U_{g_2}^p, \\ x_g = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ g = \overline{1,G},\quad x_{g_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases},\ g_1 = \overline{1,G_1}. \end{gathered} \tag{4.46}$$

14. Переход от задачи (4.46) к следующей эквивалентной задаче оптимизации

$$F(x_{g_1}, x_{g_2}, T, \lambda_1, \lambda_2) \to \max_{x_g, x_{g_1}, T} \min_{\lambda_1, \lambda_2},$$

где

$$\begin{gathered} F(x_{g_1}, x_{g_2}, T, \lambda_1, \lambda_2) = P_1^{k+1}(\sum_{g=1}^{G(T)} \hat{\tau}_g(T) x_g) + \\ + P_2^{k+1}(\sum_{j_1=1}^{J_1(T)} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} a_{g_1 j_1} x_{g_1}) + \\ + \lambda_1(U(T) - \sum_{g_1=1}^{G(T)} U_g^{\circ} x_g) + \\ + \lambda_2(U_T^p - \sum_{g_2=1}^{G_2(T)} U_g^p - \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} U_{g_1}^p x_{g_1}), \end{gathered} \tag{4.47}$$

где $\lambda_1 \ge 0,\ \lambda_2 \ge 0$ – штрафные коэффициенты, задаваемые экспертом на первой итерации.

15. Рандомизированный поиск решения задачи (4.47) с коррекцией значений P_g, P_{g_1}, T на $(k+1)$-й итерации

$$P_g^{k+1} = P_g^k + \varkappa(P_g^k),\ P_{g_1}^{k+1} = P_g^k + \varkappa(P_{g_1}^k),$$

$$T^{k+1} = T_k + \gamma \frac{F(x_g^k, x_{g_1}^k, \tilde{T}_1^k, \lambda_1, \lambda_2) - F(x_g^k, x_{g_1}^k, \tilde{T}_2^k, \lambda_1, \lambda_2)}{\tilde{T}_1^k - \tilde{T}_2^k},$$

где $\varkappa$ – корректирующая функция, вычисление которой на основе вариаций (4.47) рассмотрено в [109], и определения x_g^{k+1}, $x_{g_1}^{k+1}$ по условию (4.44).

16. Проверка условия останова итерационного процесса

$$|F(x_g^{k+1}, x_{g_1}^{k+1}, T^{k+1}) - F(x_g^k, x_{g_1}^k, T^k)| \leq \beta. \tag{4.48}$$

17. В случае выполнения условий (4.48) определяются оптимальные параметры синхронизации ресурсного обеспечения стадии функционирования и развития цифровой среды управления в организационной системе

$$P_g^* = P_g^{k+1}, g = \overline{1,G},\ P_{g_1}^* = P_{g_1}^{k+1}, g_1 = \overline{1,G_1};$$

$$x_g^* = \begin{cases} 1, & \text{если } P_g^* \leq \tilde{\xi} \\ 0, & \text{в противном случае, } g = \overline{1,G}; \end{cases}$$

$$x_{g_1}^* = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{g_1}^* \leq \tilde{\xi} \\ 0, & \text{в противном случае, } g_1 = \overline{1,G_1}; \end{cases}$$

$$U_g^* = \begin{cases} U_g^\circ, & \text{если } x_g^* = 1, \\ 0, & \text{в противном случае, } g = \overline{1,G}; \end{cases}$$

$$U_{g_1}^* = \begin{cases} U_{g_1}^\circ, & \text{если } x_{g_1}^* = 1, \\ 0, & \text{в противном случае, } g_1 = \overline{1,G_1}; \end{cases}$$

$$T^* = T^{k+1}.$$

Структурная схема процессов оптимизационного моделирования и принятия управленческого решения при синхронизации стадий функционирования и развития цифровой среды управления в организационной системе приведена на рисунке 4.4.

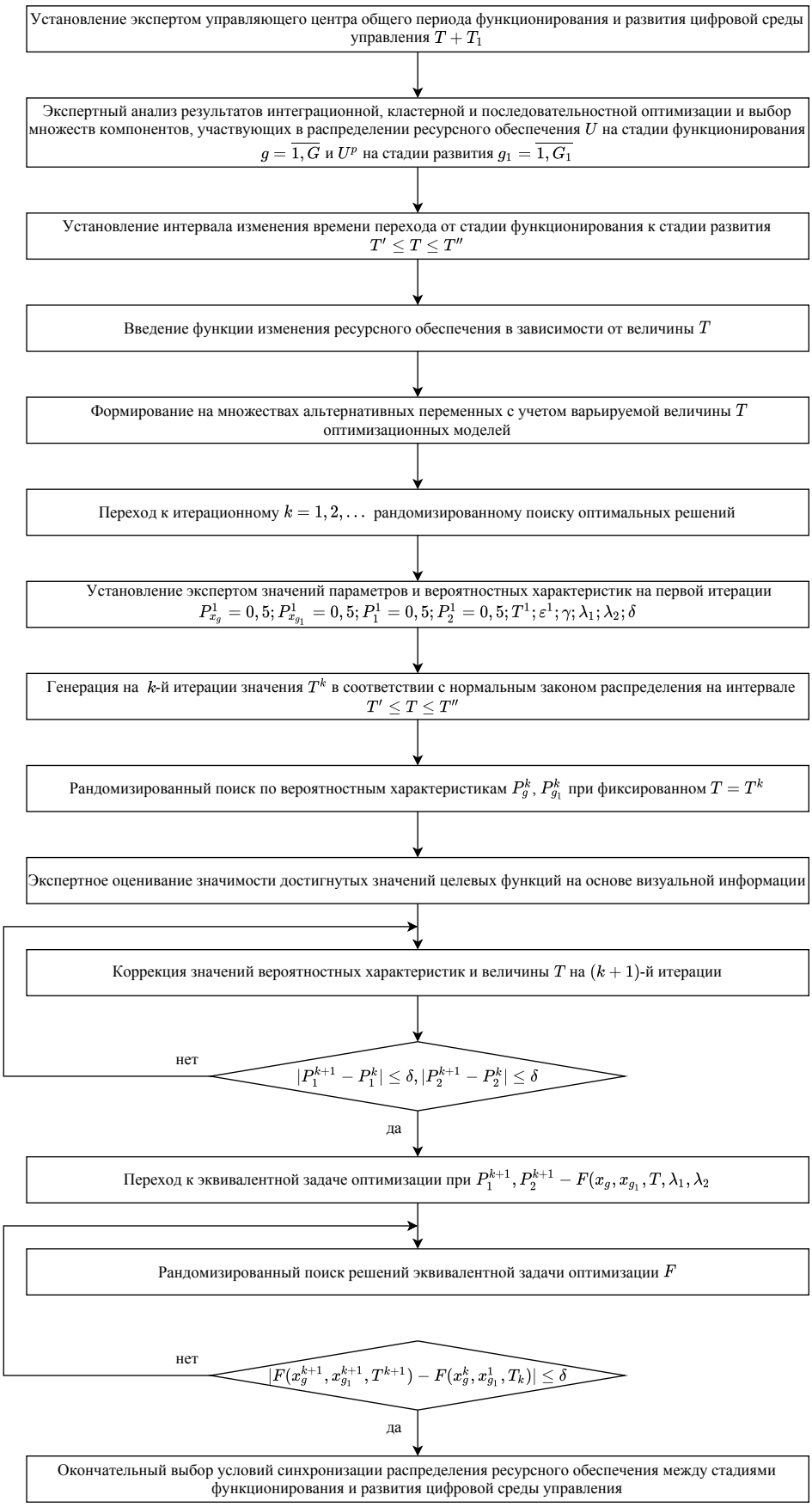

Рисунок 4.4 — Структурная схема процессов оптимизационного моделирования и принятия управленческого решения при синхронизации стадий функционирования и развития цифровой среды управления в организационной системе

Выводы четвертой главы

1. Для оптимизации ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления в организационных системах эффективным является использование концептуальной основы многовариантной структуризации при формализованном описании и алгоритмизации принятия управленческого решения.

2. Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления достигается за счет формирования экстремальных и граничных требований, позволяющих перейти к оптимизационным задачам двух типов: многоальтернативного принятия решений на множестве ресурсных потребностей для поддержания функциональности компонентов в течение определенного периода и многошагового процесса принятия оптимальных решений для распределения оптимизируемого объема ресурсного обеспечения по временным интервалам жизненного цикла компонентов.

3. С целью реализации этапа, определяющего распределение ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления, целесообразным является предварительное определение ресурса для интеграции компонентов, обеспечивающих принятие управленческих решений по новой группе показателей эффективности организационной системы, с последующим их распределением по временным интервалам. При этом осуществляется последовательное решение задач оптимизации начиная с последнего интервала до начального, и использование в качестве конечных условий решения предыдущей задачи оптимизации распределения ресурсного обеспечения.

4. Оптимальная синхронизация распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления достигается за счет согласованного решения задач многоальтернативной оптимизации, сформированных для этих стадий, при варьируемом времени перехода между ними и сохранении количества управляемых показателей эффективности организационной системы. Для поиска компромиссного решения приемлемым является рандомизированный подход к формированию множества ресурсных потребностей для

поддержания функциональности компонентов с переходом в оптимальный момент времени, варьируемый в соответствии с нормальным законом распределения, к интеграции в среду новых компонентов цифровой среды.

5. Процесс синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды управления предлагается строить на основе многоэтапного алгоритма согласованного решения оптимизационных задач этих этапов, обеспечивающий оптимизацию этого процесса. Для построения алгоритма целесообразно использовать рандомизированный поиск величины временного интервала, на котором происходит синхронизация распределения ресурсного обеспечения, с оценкой значимости целевых функций.

ГЛАВА 5. МНОГОВАРИАНТНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Многовариантная структуризация конкретной организационной системы базируется на последовательности этапов, изложенных в параграфе 2.4, и структурной схеме их взаимодействия, приведенной на рисунке 2.4.

Особую значимость в прикладных исследованиях имеют первые этапы, определяющие особенности структуры как самой организационной системы, так и цифровой среды управления ею. Поэтому в первую очередь следует провести анализ элементов и связей между ними в исследуемой автономной организационной системе аграрного профиля. Такими элементами автономной системы, структура которой показана на рисунке 2.2, являются задачи деятельности З$_i$ и группы исполнительных эргатических элементов И$_n$. Характеризация содержания задач деятельности и действий эргатических элементов позволяет установить взаимосвязь между З$_i$ и И$_n$.

Для реализации принципов многовариантной структуризации цифровой среды управления необходимо определить множество показателей эффективности, на оптимизацию которых нацелено управление в исследуемой организационной системе. Взаимосвязь этих показателей с компонентами цифровой среды определяется многоуровневой иерархической схемой.

Выполнение перечисленных этапов направлено на структуризацию данных, используемых для постановки оптимизационных задач, которые отражают принципы многовариантной структуризации. В первую очередь это задача интеграционной оптимизации. Особенностью формирования экстремальных и граничных требований в зависимости от альтернативных переменных, характеризующих реализации компонентов цифровой среды, является использование экспертного оценивания для рангового упрядочения значений показателей, соответствующих комбинациям реализаций компонентов, которые оказывают на эти показатели наибольшее влияние. Построение оптимизационной модели и использование алгоритма, ориентированного на особенности задачи, позволяет получить

оптимальное решение и выбрать наиболее целесообразные реализации компонентов цифровой среды управления.

Другой задачей, ориентированной на реализацию принципов многовариантной структуризации, является задача ресурсно-распределительной оптимизации. Следует выделить ресурсное обеспечение для двух временных стадий: функционирования и развития цифровой среды. Кроме того, каждая стадия включает определенное число временных периодов. Поэтому распределительную задачу необходимо решать в двух направлениях: оптимизация множеств компонентов, для поддержания которых выделяется требуемый ресурс на первой и второй стадиях; определение необходимого ресурсного обеспечения, которое выделяется на каждый период.

Эта часть исследования направлена на трансформацию концептуальной основы многовариантной структуризации для реализации цифровой среды в практике управления автономной организационной системой аграрного профиля.

5.1 Характеризация взаимодействия задач деятельности и групп исполнительных эргатических элементов

Выполним этап 1 многовариантной структуризации (рисунок 2.4), сориентировав его на характеризацию задач деятельности, в рамках которых реализуется взаимодействие управляющего центра и групп исполнительных эргатических элементов в организационной системе аграрного профиля (рисунок 2.2).

Рассматривается организационная система управления агропромышленным предприятием как совокупность объектов, однородных по основным видам деятельности и объединенных управляющим центром системы для выполнения заданных целей: повышение эффективности работы предприятия за счет распределения ресурсного обеспечения и обеспечение эффективного функционирования и развития цифровой среды управления такой организационной системы. При этом в качестве показателей эффективности работы предприятия рассматриваются основные экономические показатели деятельности: эффективность вложенных

инвестиций, прибыль, производственная себестоимость продукции, структура организационной системы предприятия и экономическая эффективность компонентов такой структуры: службы и отделы предприятия. Для оценки их эффективности используется такой показатель, как коэффициент производственной эффективности (KPI).

Основными целями управления в таких организационных системах являются [56, 177]:

– эффективное распределение ресурсного (инвестиционного) обеспечения между объектами, входящими в организационную систему агропредприятия;

– обеспечение качественного функционирования объектов;

– обеспечение ресурсоэффективности объектов при реализации основной деятельности (на примере растениеводческой деятельности предприятия);

– эффективное взаимодействие систем и объектов в процессе осуществления такой деятельности.

Цифровизация управления в таких системах базируется на информационных системах, которые позволяют получать и хранить информацию, в том числе и ретроспективную, по оценкам эффективности и качества функционирования организационных систем агропредприятий по результатам периодического мониторирования их деятельности и рейтингования. Данные о таких производственных показателях как урожайность, себестоимость, севооборот, структура затрат и их распределение по культурам, полученные за период функционирования такой организационной системы, ложатся в основу методов структурной и функциональной оптимизации и принятия решений.

При этом возникает множество вариантов организации системы агропромышленного предприятия, которые необходимо оценить и принять решение об управляющих воздействиях для обеспечения выбора лучшего варианта по совокупности показателей эффективности работы такого предприятия. Такой процесс определяется в работе как многовариантная структуризация и является методологической основой для выработки оптимальных управленческих решений на основе данных цифровой среды организационной системы предприятия.

При этом переход к цифровизации оценочных систем создает предпосылки для реализации цифрового управления в организационных системах агропромышленных предприятий по аналогии с технологическими производственными системами. Но в отличии от последних, исполнителями управленческих решений является персонал органов управления объектами, входящими в состав организационной системы, который взаимодействует с управляющим центром (генеральным директором и собственниками предприятия). Поэтому цифровое управление основывается на следующей последовательности процедур: структуризация цифровых данных мониторирования и рейтингования деятельности объектов с формированием многоаспектной цифровой среды; обработка и анализ структурированных цифровых данных; формирование управленческих решений в цифровом формате для последующей реализации их персоналом органов управления. Эффективным подходом к формированию единой среды цифрового управления является использование методов оптимизации [160, 178].

Принятие управленческих решений с использованием многоаспектной цифровой среды и поисковой оптимизации осуществляется следующими способами:

– в процессе реализации оптимизационной процедуры на основе обработки цифровых данных о функционировании организационной системы и целевых параметров эффективности агропредприятия;

– в процессе изменения организационной структуры агропредприятия по результатам многовариантной структуризации с оценкой параметров эффективности предыдущей организационной структуры.

Основные аспекты функционирования агропромышленного предприятия включают в себя:

– обеспечение экономической и правовой защиты для подразделений агропромышленного комплекса с целью их эффективного управления с помощью мер государственной поддержки АПК, созданию партнерства между государством и частниками, привлечение иностранных и отечественных инвестиций, продвижение бизнеса, повышение мотивации служащих, поощрение развития крупных товаров, интеграция кооперативов, содействие небольшим фермам, оснащение

АПК за счет новых технологий для поддержания экономики и внедрения стабильного прироста сельхозпродукции и продовольствия, а также увеличения их продаж задействуя экспорт, увеличение научных кадров.

– создание комфортных условий проживания в сельской местности с помощью повышения благоустроенности населенных пунктов, таких как агрогорода, социализация населения, создания очагов высокого труда населения, повышение состояния людей в сельских городах, приживание населения в таких городках.

Все объекты разбиты на четыре большие группы:

1. Культуры – все типы растительных культур, которые выращивает сельхозпредприятие. Управление культурами включает в себя такие задачи как планирование, определение затрат на тип культуры, определение доходности, принятие решений о повышении урожайности.

2. Поля – земли сельскохозяйственного назначения. Управление полями включает в себя планирование севооборота, определение затрат на взаимосвязанную пару поле-культура, разработка схемы мероприятий по повышению плодородия земель, обеспечение рационального землепользования, формирование карт урожайности.

3. Персонал – люди, работающие в сельхозпредприятии и решающие различные задачи в рамках производственной деятельности хозяйства. Управление персоналом включает определение затрат, разработка мероприятий по повышению эффективности работ.

4. Техника – машинно-тракторное оборудование, задействованное в производственном цикле сельхозпредприятия. Управление техникой включает в себя определение затрат на единицу техники, управление логистикой использование техники в производственном цикле фермерского хозяйства.

Основные этапы деятельности в сфере растениеводства в рассматриваемой организационной системе приведены на рисунке 5.1.

Приведенные этапы позволяют определить задачи деятельности, при решении которых осуществляется взаимодействие управляющего центра с группами

Рисунок 5.1 — Основные этапы деятельности в организационной системе растениеводства

исполнительных элементов, как это рассмотрено в параграфе 2.1. Перечислим эти задачи:

– мониторинг базы клиентов, рынка планирования ($З_1$);
– контроль качества семян ($З_2$);
– подготовка семян ($З_3$);
– предпосевная подготовка почвы ($З_4$);
– посадка, посев ($З_5$);
– вегетация ($З_6$);
– уборка урожая ($З_7$);
– обработка, очистка, получение зачетного веса ($З_8$);
– отделение семенного фонда ($З_9$);
– хранение ($З_{10}$);
– подготовка к продаже (очистка, сортировка, фасовка) ($З_{11}$);
– передача на склад ($З_{12}$);
– выставление коммерческого предложения, торги ($З_{13}$);
– заключение договоров, юридическое оформление сделки ($З_{14}$);
– отгрузка на продажу ($З_{15}$);
– сбор средств от продажи ($З_{16}$).

Таким образом задачи деятельности З$_i$ образуют нумерационное множество $i = \overline{1,16}$ и определяют множество задач управления, выполняемых группами эргатических элементов.

Для определения множества групп исполнительных эргатических элементов обратимся к организационной структуре компании, реализующей задачи З$_i$, $i = \overline{1,16}$, которая приведена на рисунке 5.2.

Перечислим эти группы:

– службы административного уровня И$_1$ (управляющего центра) – руководство, менеджеры, финансово-экономическая служба, служба бухгалтерского и управленческого учета;

– маркетологи И$_2$;

– служба старшего агронома И$_3$;

– служба главного энергетик И$_4$;

– технологическая служба И$_5$;

– электромеханическая служба И$_6$;

– бригада механизаторов И$_7$;

– персонал механической мастерской И$_8$;

– персонал склада запасных частей И$_9$;

– персонал склада ГСМ И$_{10}$;

– бригада водителей И$_{11}$;

– бригада растениеводства И$_{12}$;

– поливная бригада И$_{13}$;

– служба мелиорации И$_{14}$;

– персонал участка фасовки И$_{15}$;

– персонал склада долгосрочного хранения И$_{16}$;

– персонал склада готовой продукции И$_{17}$;

– персонал отдела продаж И$_{18}$.

Таким образом, группы исполнительных эргатических элементов И$_n$ образуют нумерационное множество $n = \overline{1,18}$. Их участие в выполнении задач деятельности З$_i$, $i = \overline{1,16}$ показано в таблице 5.1 и направлено на конверсию ресур-

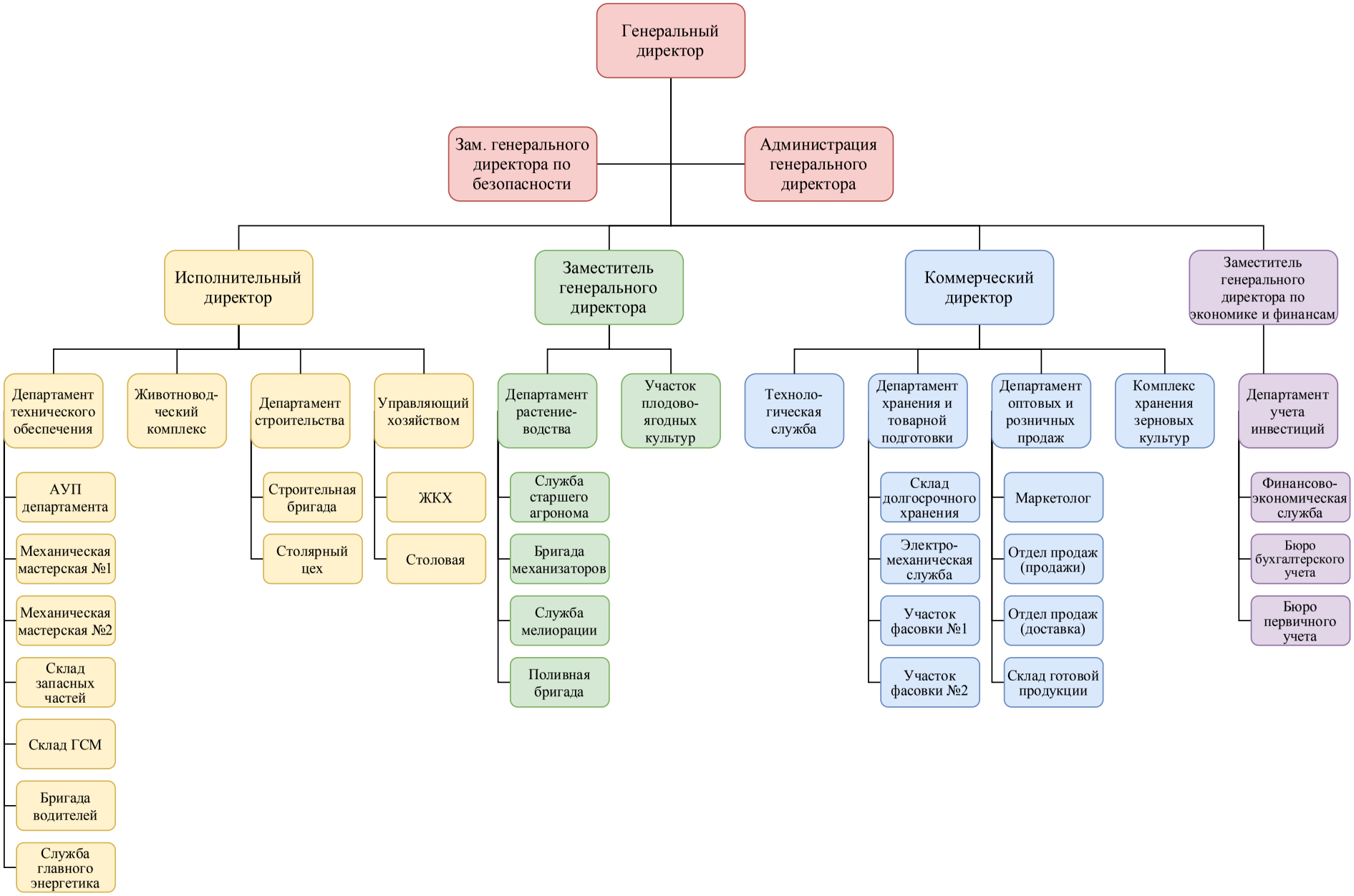

Рисунок 5.2 — Организационная структура компании

сов (семенного фонда, ГСМ, удобрений, материального труда и т.д.) в итоговый результат деятельности всех сотрудников и подразделений бизнес-направления «Растениеводство», по достижению которого определяется общая совокупная эффективность работы с соответствующим вознаграждением участников работы. Поэтому в рамках этапа 1 (рисунок 2.4) кроме анализа деятельности, реализуемой составляющими автономной организационной системы, структуры и механизма их взаимодействия с управляющим центром (рисунок 2.2) при объединении в организационное целое бизнес-направления «Растениеводство», необходимо охарактеризовать показатели управления эффективностью выполнения эргатическими элементами $И_n,\ n = \overline{1,18}$ задач деятельности $З_i,\ i = \overline{1,16}$.

Таблица 5.1 — Оценка взаимосвязей элементов автономной организационной системы

	$З_1$	$З_2$	$З_3$	$З_4$	$З_5$	$З_6$	$З_7$	$З_8$	$З_9$	$З_{10}$	$З_{11}$	$З_{12}$	$З_{13}$	$З_{14}$	$З_{15}$	$З_{16}$
$И_1$	+												+	+	+	+
$И_2$	+												+	+	+	
$И_3$				+	+	+	+		+	+						
$И_4$					+	+	+									
$И_5$		+	+					+		+						
$И_6$					+	+	+			+		+				
$И_7$				+	+	+	+									
$И_8$				+	+	+	+			+						
$И_9$				+	+	+	+			+						
$И_{10}$				+	+	+	+									
$И_{11}$			+	+	+	+	+					+			+	
$И_{12}$					+	+	+									
$И_{13}$						+	+									
$И_{14}$					+	+										
$И_{15}$								+	+		+	+				
$И_{16}$										+		+			+	
$И_{17}$												+			+	
$И_{18}$												+	+	+	+	+

5.2 Формирование иерархической схемы показателей управления эффективностью функционирования автономной организационной системы

В основе иерархической схемы показателей управления эффективностью функционирования рассматриваемой системы растениеводства лежит определение нумерационного множества $j = \overline{1,J}$, соответствующих ему показателей y_j, выстраиваемых в причинно-следственном порядке и характеризующих реализацию стратегий как в целом по компании, так и по задачам деятельности $y_{ij},\ i = \overline{1,I},\ j = \overline{1,J}$. Это позволяет через систему мониторинга $y_{ij}(t),\ t = \overline{1,T}$ управлять достижением за период $t = \overline{1,T}$ требований y°_{ij}, $i = \overline{1,I}$, $j = \overline{1,J}$, устанавливаемых управляющим центром [171].

Эффективность групп исполнительных эргатических элементов $\text{И}_n,\ n = \overline{1,18}$ при выполнении задач $\text{З}_i,\ i = \overline{1,16}$ предполагается оценивать в двух направлениях: по уровню достижения целей y°_{ij} – результативности, и уровню цены достижения цели – экономичности, то есть способности организационной системы достигать требуемого результата при экономном расходе ресурсов V на её достижение. Результативность неразрывно связана с интервалом времени $t = \overline{1,T}$, так как любой результат может быть достигнут за определенный период. Поэтому нормой результативности является производительность, как результат, создаваемый в единицу времени.

Зная значение времени t, и норму результативности, можно получить объем требуемого результата:

$$\text{Результат} = \text{Производительность} \times t, \text{ или Норма результативности} \times t. \quad (5.1)$$

Исходя из (5.1) определяется

$$\text{Результативность} = \frac{\text{Норма результативности}_{\text{факт}} \times t_{\text{факт}}}{\text{Норма результативности}_{\text{план}} \times t_{\text{план}}} \times 100\% \quad (5.2)$$

или

$$\text{Результативность} = \frac{\text{Результат}_{\text{факт}}}{\text{Результат}_{\text{план}}} \times 100\%. \quad (5.3)$$

Если деятельность была результативной, т.е. привела к достижению цели (результата), то мы считаем ее успешной.

Второе измерение успеха называют экономичностью.

Чтобы узнать минимальный расход ресурсов, необходимый для создания всего объема требуемого результата, следует установить (рассчитать) норму расхода ресурсов на его единицу (как правило, определяется технологией). Это величина будет нормой экономичности, и называется затратностью:

$$\text{Затратность} = \frac{\text{Ресурсы}}{\text{Результат}} \times 100\%. \tag{5.4}$$

Расход ресурсов через единицу результата становится связанным со временем, за которое эта единица создается. Это позволяет планировать расход ресурсов во времени, т.е. составлять бюджет расходов на период, за который требуется создать результат. Зная норму экономичности, и количество единиц результата d, можно получить полный объем расхода ресурсов:

$$\text{Ресурсы} = \text{Затратность} \times d, \text{ или Норма экономичности} \times d. \tag{5.5}$$

Исходя из (5.1), (5.4) и (5.5) вычисляем

$$\text{Экономичность} = \frac{\text{Норма экономичности}_{\text{факт}} \times d_{\text{факт}}}{\text{Норма экономичности}_{\text{план}} \times d_{\text{план}}} \times 100\% \tag{5.6}$$

или

$$\begin{aligned}\text{Экономичность} &= \frac{\text{Экономичность}_{\text{факт}} \times d_{\text{факт}}}{\text{Экономичность}_{\text{план}} \times d_{\text{план}}} \times 100\% = \\ &= \frac{\text{Ресурсы}_{\text{факт}}}{\text{Результат}_{\text{факт}}} / \frac{\text{Ресурсы}_{\text{план}}}{\text{Результат}_{\text{план}}} \times 100\%.\end{aligned} \tag{5.7}$$

На основе результативности и экономичности рассчитывается эффективность деятельности:

$$\text{Эффективность} = \frac{\text{Результативность}}{\text{Экономичность}} \times 100\% \tag{5.8}$$

или

$$\text{Эффективность} = \frac{\text{Результат}^2_{\text{факт}}}{\text{Результат}^2_{\text{план}}} \times \frac{\text{Ресурсы}_{\text{план}}}{\text{Ресурсы}_{\text{факт}}} \times 100\%. \tag{5.9}$$

Для понимания того, какие процессы приводят или не приводят к результату, разрабатываются интегральные, ключевые показатели эффективности деятельности (KPI, Key Performance Indicators, КПЭ) как для Компании в целом, так и для групп эргатических элементов, что наглядно можно изобразить в виде дерева КПЭ (рисунок 5.3) – Целевой воронки (Target Funnel) (рисунок 5.4).

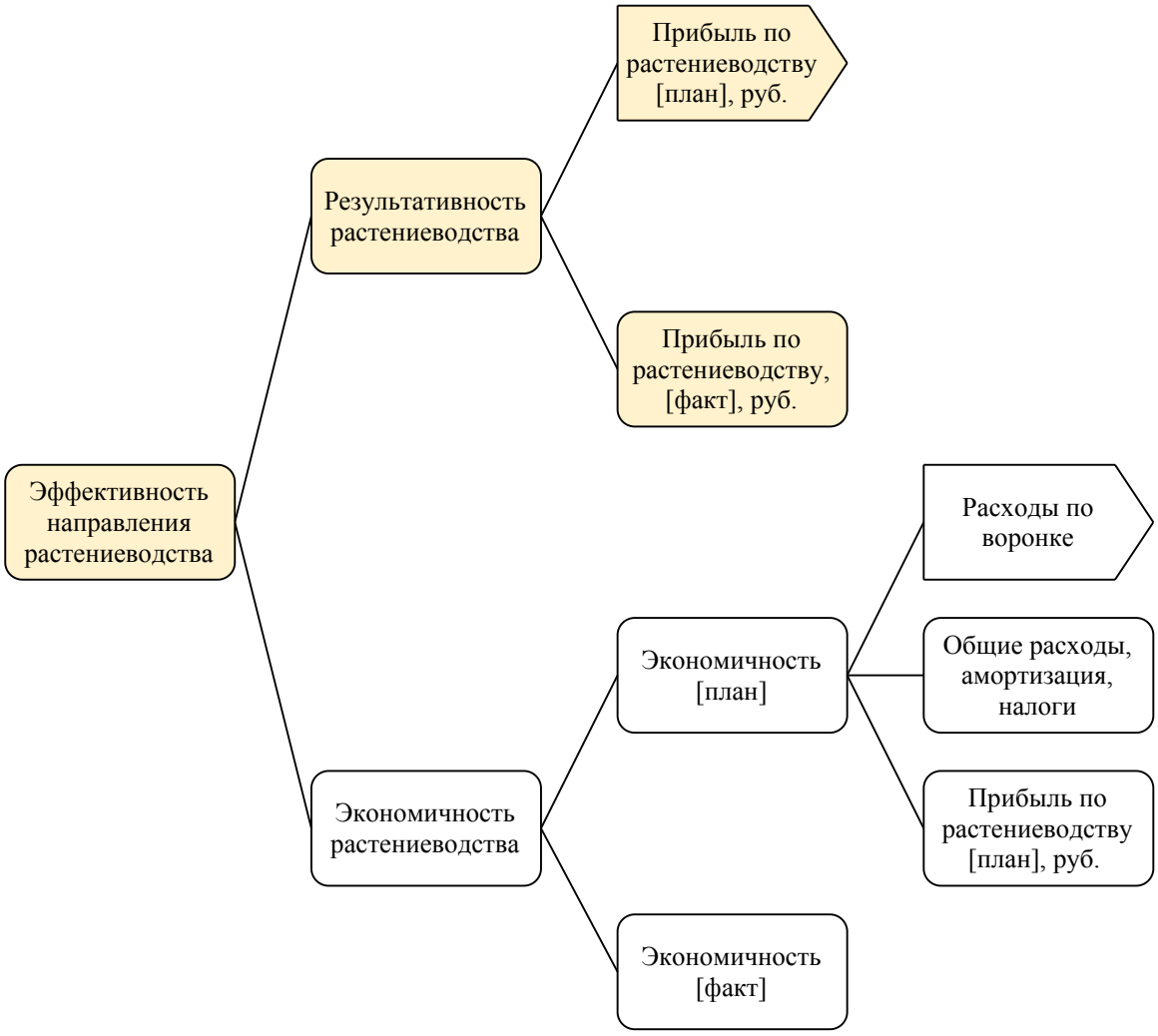

Рисунок 5.3 — Эффективность бизнес-направления «Растениеводство»

Достижение поставленных целей/КПЭ должно быть оцифровано. Показатели эффективности отражают достижение или не достижение отделом или всей компанией запланированных результатов. Они являются итоговыми финансовыми или натуральными показателями деятельности отдела/компании, выражающиеся, например, в объеме продаж, маржинальном доходе, торговой наценке, чистой прибыли и т.п.

Рисунок 5.4 — Целевая воронка

Достижение цели, с другой стороны, требует расхода ресурсов. Показатели экономичности определяют стоимость этих ресурсов (размер затрат) в процессе деятельности по достижению результата. Если расход ресурсов превышает установленные нормы, возникают излишние потери, которые снижают экономичность деятельности. Они могут иметь как финансовое выражение, так и натуральное, например, поломки, простой площадей, просроченная дебиторская задолженность и т.д. Такие показатели экономичности определяют уровень экономичности отдела/компании.

Таким образом, управленческие задачи формулируются в разрезе достижения/не достижения норматива показателей:

1. Не достижение норматива показателя результативности – задача: поднять значение показателя эффективности до нормативного (планового) уровня.

2. Не достижение норматива показателя экономичности – задача: поднять значение показателя экономичности до нормативного (планового) уровня.

3. Не достижение нормативов показателей эффективности и экономичности – задача: поднять значения показателей, как тех, так и других одновременно.

Расчетные соотношения (5.3), (5.7) и (5.9) позволяют перейти к дальнейшей детализации при формировании иерархической схемы показателей управления эффективностью функционирования компании в сфере растениеводства. Ограничимся четырьмя уровнями.

На **первом** уровне иерархической схемы

$$y_1 = \frac{y_2}{y_3}, \tag{5.10}$$

где y_1 – эффективность растениеводств, y_2 – результативность растениеводства, y_3 – экономичность растениеводства.

На **втором** уровне

$$y_2 = \frac{y_4}{y_5}, \tag{5.11}$$

где y_4 – фактическая прибыль по растениеводству, y_5 – планируемая прибыль по растениеводству;

$$y_3 = \frac{y_6}{y_7}, \tag{5.12}$$

где y_6 – планируемая экономичность, y_7 – фактическая экономичность.

На **третьем** уровне

$$y_5 = y_8 - y_9 - y_{10}, \tag{5.13}$$

где y_8 – маржа до налогообложения, y_9 – аммортизация непроизводственного оборудования, y_{10} – налоги. y_4 определяется аналогично (5.13);

$$y_6 = \frac{y_{11} + y_{12}}{y_{13}}, \tag{5.14}$$

где y_{11} – расходы по воронке, y_{12} – общие расходы, y_{13} – планируемая прибыль по растениеводству. y_7 определяется аналогично (5.14).

На **четвертом** уровне

$$y_8 = y_{14} - y_{12}, \tag{5.15}$$

где y_{14} – маржа агрономов;

$$y_{11} = y_{15} + y_{16} + y_{17} + y_{18} + y_{19}, \tag{5.16}$$

где y_{15} – расходы на планирование, y_{16} – расходы на закупку, y_{17} – расходы на производство, y_{18} – расходы на обработку и хранение, y_{19} – расходы на продажу и сбор средств;

$$y_{16} = y_{20} + y_{21} + y_{22}, \tag{5.17}$$

где y_{20} – расходы на закупку семян, y_{21} – расходы на обработку, y_{22} – расходы на хранение.

Таким образом для постановки оптимизационных задач многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы используем множество показателей $y_j,\ j = \overline{1{,}22}$, связанных соотношениями (5.10) — (5.17). Результаты параграфа 5.2 совместно с результатами параграфа 5.1 определяют выполнение этапа 1 многовариантной структуризации (см. параграф 2.4).

5.3 Формирование множества вариантов реализаций компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой

Цифровая среда управления обеспечивает поддержку принятия решений, реализуемых исполнительными эргатическими элементами $\text{И}_n,\ n = \overline{1{,}18}$ в рамках их участия в выполнении задач деятельности $\text{З}_i,\ i = \overline{1{,}16}$ в соответствии с таблицей 5.1. С этой целью в рамках этапа 2 многовариантной структуризации (см. параграф 2.4) в цифровую среду включены компоненты w, идентифицируемые нумерационным множеством $w = \overline{1{,}10}$. Указанные компоненты представлены следующими программными модулями [168, 172, 178]:

– модуль интерфейса – обеспечивает взаимосвязь между модулями и организует пользовательский интерфейс. Интерфейс позволяет общаться пользователю с персональным компьютером;

– модуль администрирования состоит из двух программных средств:

– первое реализует функцию входа в систему. С данной подсистемой взаимодействую три типа пользователей: диспетчер, агроном и директор. Диспетчер имеет доступ к путевым листам механизаторов, агроном – доступ к модулям контроля качества, директор – доступ к модулю воронки производства;

– второе реализует функцию регистрации нового пользователя. Администратор имеет доступ к модулю администрирование, находящемуся в производственных задачах. Пароль нового пользователя шифруется в целях безопасности;

– модуль по работе с базой данных – реализует соединение с базой данных, а также множество запросов к базе данных. В качестве системы управления базами данных выступает SQL Server. Для выполнения выборок из базы данных

используется разновидность Linq – Linq to Entities, технология общения с базой данной с помощью Entity Framework;

– модуль визуализации – реализует функции отображения всех окон. Визуализация обеспечивается с помощью языков HTML 5, CSS, AngularJS. AngularJS упрощает тестирование и разработку, так как фреймворк содержит пользовательские атрибуты, описываемые директивами;

– модуль сбора путевых листов – реализует сбор путевых листов механизаторов, группируя по типам работ. В список входят путевые листы, закрытые диспетчером;

– модуль севооборота – реализует вывод списка полей с площадью посева при выборе культуры. Модуль севооборота автоматизирует последовательную смену культур на определенных полях (рисунок 5.5);

Рисунок 5.5 — Интерфейс модуля «Севоборот»

– модуль функциональных показателей – реализует вывод списка показателей и их зависимостей в зависимости от выбора типа работ и культуры. Существует справочник показателей качества, который можно расширять или менять уже имеющиеся показатели;

– модуль расчета отклонений – реализует расчет отклонений от эталонных значений показателей. Существует три значения отклонений, находящиеся в справочнике показателей качества. В зависимости от значения рассчитанного отклонения выбирается соответствующая оценка качества;

– модуль построения байесовской сети – реализует построение байесовской сети функциональных показателей. В базе данных хранятся зависимости между показателями выбранной культуры и по этим показателям строится сеть. После построения пользователь может менять истинность вершин и получать новые вероятности влияния на итоговую оценку качества;

– модуль воронки производства – реализует визуализацию оценок качества выполненных работ. В зависимости от оценки воронка может менять цвет выполненной работы.

Данный тип модульной структуры имеет логическую иерархию.

В соответствии с этапами 3,4 многовариантной структуризации оценена вариативность реализации компонентов цифровой среды $w = \overline{1,10}$. Этап 5 выполнен путем экспертного оценивания. В результате редуцированное множество реализаций компонентов цифровой среды управления автономной организационной системы приведено в таблице 5.2.

В рамках этапа 6 выделено множество цифровых средств, поддерживающих первоочередные задачи управления:

$$w = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.$$

Выполнение этапов 1-6 позволяет перейти к этапу 7, ориентированному на реализацию уровня интеграционной оптимизации.

5.4 Реализация уровня интеграционной оптимизации

Реализация уровня 2 интеграционной оптимизации для рассматриваемой системы состоит в выборе реализаций компонентов $w = \overline{1,10}$ с учетом таблицы 5.2 из нумерационных множеств g_w, $w = \overline{1,10}$, $g_w = \overline{1,G_w}$, наилучшим образом обеспечивающих выполнение экстремальных и граничных требований к показателям $y_j,\ j = \overline{1,22}$, которые связаны соотношениями (5.10) — (5.17).

Для формулировки оптимизационной модели интеграционного процесса многовариантной структуризации перейдем от нумерационных множеств g_w, $w =$

Таблица 5.2 — Варианты реализации компонентов цифровой среды управления автономной организационной системы

№ п/п	**Наименование компонента**	**Варианты реализации компонентов**							
		MS .NET Core (C#)	Java	Node.js (JavaScript)	Python	C++	PHP	Ruby	Scala
1	Модуль интерфейса	+				+		+	
2	Модуль администрирования		+	+	+				
3	Модуль по работе с базой данных	+	+	+					
4	Модуль визуализации		+	+					+
5	Модуль сбора путевых листов		+			+	+		
6	Модуль севоборота	+				+	+		
7	Модуль функциональных показателей	+		+					
8	Модуль расчета отклонений		+	+		+			
9	Модуль построения байесовской сети	+			+			+	
10	Модуль воронки производства		+			+			+

$\overline{1,10}$, $g_w = \overline{1,G_w}$ к множеству альтернативных переменных в соответствии с (3.20)

$$g_w = 1 + x_{w_1} + 2x_{w_2},\ w = \overline{1,10}. \tag{5.18}$$

Введение двух альтернативных переменных

$$x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad x_{w_2} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad w = \overline{1,10} \tag{5.19}$$

определяется двоичным представлением значений $G_w,\ w = \overline{1,10}$ в соответствии с таблицей 5.2.

Зависимости показателей y_j, $j = \overline{1,22}$ от альтернативных переменных (5.19) предлагается представлять в виде ранговых оценок влияния каждого варианта сочетаний реализации компонентов

$$r_l,\ l = \overline{1,L},\ L = \prod_{w=1}^{10} G_w. \tag{5.20}$$

Для уменьшения числа вариантов L (5.20) выполним две процедуры ранговой упорядоченности.

Первая процедура позволяет выделить наиболее значимые компоненты цифровой среды, обеспечивающие управление по показателям $y_j,\ j = \overline{1,22}$.

$$w_j = \begin{cases} 1, & \text{если } w - \text{й компонент оказывает} \\ & \text{существенное влияние на изменение} \\ & \text{значения показателя } y_j, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \tag{5.21}$$

$$w = \overline{1,10},\ j = \overline{1,22}.$$

Значения (5.21) приведены в таблице 5.3.

Вторая процедура направлена на измерение значений показателей величин рангов, установленных экспертным путем:

$$\begin{gathered} y_j = r_{lj}(w_j = 1),\ j = \overline{1,J}, \\ l_j = \overline{1,L_j},\ L_j = \prod_{w=1}^{10} w_j G_w. \end{gathered} \tag{5.22}$$

Таблица 5.3 — Значимость влияния компонентов цифровой среды управления на показатели эффективности

	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}
y_1			+				+	+		
y_2			+				+	+		
y_3			+				+	+		
y_4			+				+	+		
y_5			+				+	+		
y_6			+				+	+		
y_7			+				+	+		
y_8	+	+	+							
y_9	+	+	+							
y_{10}	+	+	+							
y_{11}	+	+	+						+	+
y_{12}			+			+				+
y_{13}			+				+	+		
y_{14}		+				+				+
y_{15}		+	+							+
y_{16}	+	+								+
y_{17}	+					+	+		+	
y_{18}	+		+							+
y_{19}	+	+		+						
y_{20}	+	+								+
y_{21}	+	+								+
y_{22}	+	+								+

При направленном переборе в соответствии со значениями альтернативных переменных в оптимизационной модели (3.21) и с учетом соотношений (5.12) число вариантов

$$L_1 = \prod_{w=1}^{10} w_j 2^2 > L = \prod_{w=1}^{10} w_1 G_w,$$

что создает неопределенность в использовании вариантов

$$l_2 = \overline{1,L_1} \cap \overline{1,L}$$

для вычислений вариаций оптимизируемой функции в алгоритмической схеме многовариантной структуризации. Поэтому вычисление вариаций оптимизируемой функции для вариантов сочетаний альтернативных переменных (5.14) не

осуществляется. Итерация выполняется только в том случае случайной комбинации значений альтернативных переменных, соответствующей варианту $l = \overline{1,L}$, для которого экспертным путем установлено значение $r_{lj},\ j = \overline{1,J},\ l = \overline{1,L},\ L = \prod\limits_{w=1}^{10} w_j G_w$.

Следующим этапом после введения альтернативных переменных (5.19) и экспертных оценок рангов (5.22) является разделение показателей на два подмножества:

– $y_{j_1},\ j_1 = \overline{1,J_1}$ – показатели, к которым предъявляются экстремальные требования,

– $y_{j_2},\ j_1 = \overline{1,J_2}$ – показатели, к которым предъявляются граничные требования с последующим формированием оптимизационной модели (3.21).

Рассмотрим наиболее характерные сочетания экстремальных и граничных требований в рамках оптимизационной модели (3.21) для исследуемой организационной системы. При этом альтернативные переменные, которым в таблице 5.3 соответствует $w_j = 1$ будем обозначать $x_{w_1 j}, x_{w_2 j}$. Кроме того, необходимо учитывать ресурсное ограничение, связывающее все альтернативные переменные x_{w_1}, x_{w_2}, которые сгруппированы по отношению каждого показателя $y_j,\ j = \overline{1,J}$. В этом ограничении используются экспертные оценки ресурсного обеспечения v_w°, необходимого для реализации поддержания l_j-го варианта с использованием w-го компонента в соответствии со значениями альтернативных переменных x_{w_1}, x_{w_2}

$$\sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1},x_{w_2}) \le V, \tag{5.23}$$

где V – интегрированный ресурс, выделенный для поддержания функциональности компонентов цифровой среды.

Первый вариант экстремальных требований состоит в минимизации:

– рассогласования плановых и фактических значений прибыли по растениеводству

$$\psi_1 = (y_5 - y_4)^2 \to \min; \tag{5.24}$$

– рассогласования плановых и фактических значений экономичности

$$\psi_2 = (y_6 - y_7)^2 \to \min\,. \tag{5.25}$$

В случае экстремальных требований (5.24) и (5.25) в качестве граничных условий, кроме (5.23), используются ограничения на все виды расходов

$$\begin{gathered} y_{15} \leq \overset{\circ}{y}_{15},\ y_{17} \leq \overset{\circ}{y}_{17},\ y_{18} \leq \overset{\circ}{y}_{18}, y_{19} \leq \overset{\circ}{y}_{19}, \\ y_{20} \leq \overset{\circ}{y}_{20},\ y_{21} \leq \overset{\circ}{y}_{21},\ y_{22} \leq \overset{\circ}{y}_{22}. \end{gathered} \tag{5.26}$$

При этом:

– ранговые значения экстремальных требований преимущественно зависят от вариантов комбинаций реализаций компонентов $w = 3, 7, 8$, то есть от альтернативных переменных $x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{83}$;

– ранговые значения расходов на планирование y_{15} – от вариантов реализаций компонентов $w = 2, 3, 10$, то есть от альтернативных переменных $x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}$;

– ранговые значения расходов, связанных с закупкой, обработкой и хранением семян y_{20}, y_{21}, y_{22} – от вариантов реализаций компонентов $w = 1, 2, 10$, то есть от альтернативных переменных $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}$;

– ранговые значения расходов на производство y_{17} – от вариантов реализации компонентов $w = 1, 5, 6, 9$, то есть от альтернативных переменных $x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92}$;

– ранговые значения расходов на обработку и хранение готовой продукции y_18 – от вариантов реализации компонентов $w = 1, 3, 10$, то есть от альтернативных переменных $x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}$;

– ранговые значения расходов на продажу и сбор средств y_{19} – от вариантов реализации компонентов $w = 1, 2, 4$, то есть от альтернативных переменных $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42}$.

Оптимизационная модель интеграционного процесса многовариантной структуризации (3.21) запишется следующим образом:

$$
\begin{gathered}
\psi_1(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) \to \min, \\
\psi_2(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) \to \min, \\
y_{15}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}) \le y_{15}^{\circ}, \\
y_{17}(x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92}) \le y_{17}^{\circ}, \\
y_{18}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}) \le y_{18}^{\circ}, \\
y_{19}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42}) \le y_{19}^{\circ}, \\
y_{20}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}) \le y_{20}^{\circ}, \\
y_{21}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}) \le y_{21}^{\circ}, \\
y_{22}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}) \le y_{22}^{\circ}, \\
\sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1}, x_{w_2}) \le V, \\
x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad w = \overline{1,10}.
\end{gathered}
\tag{5.27}
$$

Второй вариант оптимизационной модели отличается от (5.22) тем, что в число экстремальных требований включается показатель y_{16}, а показатели y_{20}, y_{21}, y_{22} исключаются из множества граничных требований. Оптимизационная модель в этом случае запишется следующим образом:

$$
\begin{gathered}
\psi_1(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) \to \min, \\
\psi_2(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) \to \min, \\
y_{16}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}) \to \min, \\
y_{15}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}) \le y_{15}^{\circ}, \\
y_{17}(x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92}) \le y_{17}^{\circ}, \\
y_{18}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}) \le y_{18}^{\circ}, \\
y_{19}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42}) \le y_{19}^{\circ}, \\
\sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1}, x_{w_2}) \le V, \\
x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad w = \overline{1,10}.
\end{gathered}
\tag{5.28}
$$

В параграфе 2.3 рассматриваются множества преобразований экстремальных и граничных требований приводящие к альтернативным вариантам оптимизируемой функции, эквивалентной оптимизационной задаче многовариантной структуризации (2.23). В случае оптимизационных моделей (5.27) и (5.28) предлагается использовать комбинации следующих преобразований:

– для экстремальных требований в виде аддитивной и мультипликативной интегральных функций;

– для граничных требований в виде линейной и квадратичной штрафных функций.

Тогда для оптимизационной модели (5.27) имеем четыре варианта эквивалентных оптимизируемых функций.

Первый вариант:

$$\begin{gathered}\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = \alpha_1\hat{\psi}_1(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82})+\\ + \alpha_2\hat{\psi}_2(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82})+\\ + \lambda_1(y_{15}^{\circ} - y_{15}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}))+\\ + \lambda_2(y_{17}^{\circ} - y_{17}(x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92}))+\\ + \lambda_3(y_{18}^{\circ} - y_{18}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}))+\\ + \lambda_4(y_{19}^{\circ} - y_{19}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42}))+\\ + \lambda_5(y_{20}^{\circ} - y_{20}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}))+\\ + \lambda_6(y_{21}^{\circ} - y_{21}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}))+\\ + \lambda_7(y_{22}^{\circ} - y_{22}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}))+\\ + \lambda_8(V - \sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1}, x_{w_2})),\end{gathered} \tag{5.29}$$

где $\hat{\psi}_1$, $\hat{\psi}_2$ – нормированные значения функций, характеризующих экстремальные требования в соответствии с (2.21).

Обозначим сумму первых двух слагаемых в (5.29) – F_1, а остальных – φ_1.

Второй вариант:

$$\begin{gathered}\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = F_1 + \lambda_1(y_{15}^{\circ} - y_{15}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}))^2+\\ + \lambda_2(y_{17}^{\circ} - y_{17}(x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92}))^2+\\ + \lambda_3(y_{18}^{\circ} - y_{18}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}))^2+\\ + \lambda_4(y_{19}^{\circ} - y_{19}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42}))^2+\\ + \lambda_5(y_{20}^{\circ} - y_{20}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}))^2+\\ + \lambda_6(y_{21}^{\circ} - y_{21}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}))^2+\\ + \lambda_7(y_{22}^{\circ} - y_{22}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}))^2+\\ + \lambda_8(V - \sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1}, x_{w_2}))^2.\end{gathered} \tag{5.30}$$

Обозначим слагаемые в (5.30), связанные с граничными требованиями – φ_2.

Третий вариант:

$$\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = \hat{\psi}_1(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) \times \\ \times \hat{\psi}_2(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) + \varphi_1. \tag{5.31}$$

Обозначим первое слагаемое в (5.31) – F_2.

Четвертый вариант:

$$\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = F_2 + \varphi_2. \tag{5.32}$$

Для оптимизационной модели (5.28) то же имеем четыре варианта эквивалентных оптимизируемых функций.

Первый вариант:

$$\begin{gathered}\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = \alpha_1' \hat{\psi}_1(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) + \\ + \alpha_2' \hat{\psi}_2(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82}) + \\ + \alpha_3' \hat{y}_{16}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}) + \\ + \lambda_1'(y_{15}^{\circ} - y_{15}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102})) + \\ + \lambda_2'(y_{17}^{\circ} - y_{17}(x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92})) + \\ + \lambda_3'(y_{18}^{\circ} - y_{18}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102})) + \\ + \lambda_4'(y_{19}^{\circ} - y_{19}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42})) + \\ + \lambda_5'(V - \sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1}, x_{w_2})).\end{gathered} \tag{5.33}$$

Обозначим сумму первых трех слагаемых в (5.33) – F_3, остальное – φ_3.

Второй вариант:

$$\begin{gathered}\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = F_3 + \lambda_1'(y_{15}^{\circ} - y_{15}(x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}))^2 + \\ + \lambda_2'(y_{17}^{\circ} - y_{17}(x_{11}, x_{12}, x_{51}, x_{52}, x_{61}, x_{62}, x_{91}, x_{92}))^2 + \\ + \lambda_3'(y_{18}^{\circ} - y_{18}(x_{11}, x_{12}, x_{31}, x_{32}, x_{101}, x_{102}))^2 + \\ + \lambda_4'(y_{19}^{\circ} - y_{19}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{41}, x_{42}))^2 + \\ + \lambda_5'(V - \sum_{w=1}^{10} v_w^{\circ}(x_{w_1}, x_{w_2}))^2.\end{gathered} \tag{5.34}$$

Обозначим слагаемые в (5.34), связанные с граничными требованиями – φ_4.

Третий вариант:

$$\begin{aligned}\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = \hat{\psi}_1(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82})\times \\ \times\, \hat{\psi}_2(x_{31}, x_{32}, x_{71}, x_{72}, x_{81}, x_{82})\times \\ \times\, \hat{y}_{16}(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{101}, x_{102}) + \varphi_3.\end{aligned} \tag{5.35}$$

Обозначим первое слагаемое в (5.35) – F_4.

Четвертый вариант:

$$\psi(x_{w_1}, x_{w_2}) = F_4 + \varphi_4. \tag{5.36}$$

Используя оптимизационные модели (5.27), (5.28) и варианты реализации оптимизируемых функций (5.29) — (5.36), которые будем характуризовать нумерационным множеством $B = \overline{1{,}8}$, построим алгоритм направленного рандомизированного поиска в соответствии с уровнями 6, 7 многовариантной структуризации. В процессе поиска осуществляется настройка вероятностных характеристик при определенных начальных значениях:

$$p_B,\ p_B^1 = 0{,}125;\ p_{\psi_1}, p_{\psi_2}, p_{\psi_1}^1 = 0{,}5,\ p_{\psi_2} = 0{,}5;$$
$$p_{\psi_1}, p_{\psi_2}, p_{y_{16}}, p_{\psi_1}^1 = \frac{1}{3},\ p_{\psi_2}^1 = \frac{1}{3},\ p'_{y_{16}} = \frac{1}{3};$$
$$p_{x_{w_1}}, p_{x_{w_2}}, p_{w_1}, p_{w_2}, p_{x_{w_1}}^1 = 0{,}5,\ p_{x_{w_2}}^1 = 0{,}5,\ p_{w_1}^1 = 0{,}5,\ p_{w_2}^1 = 0{,}5$$

в соответствии с вариациями оптимизируемых функций (5.29) — (5.36) с учетом пропуска вариантов $l_2 = \overline{1{,}L_1} \cap \overline{1{,}L}$, для которых не определены ранговые оценки.

Поиск завершается при выполнении условия останова, предположительно в рамках уровня 7 многовариантной структуризации, выбором следующего окончательного решения, обозначенного в таблице 5.4.

Таким образом, использование интеграционной оптимизации в рамках этапа 7 позволяет выбрать варианты реализации компонентов цифровой среды управления исследуемой организационной системы по показателям $y_1 \div y_{22}$.

Следующий этап 8, связанный с кластерной оптимизацией, не требуется выполнять, поскольку рассматривается единый комплекс программных средств. Реализация этапа 9 основана на экспертном разделении компонентов, выполненном

Таблица 5.4 — Варианты реализации компонентов цифровой среды управления автономной организационной системы

№ п/п	**Наименование компонента**	**Варианты реализации компонентов**							
		MS .NET Core (C#)	Java	Node.js (JavaScript)	Python	C++	PHP	Ruby	Scala
1	Модуль интерфейса			*					
2	Модуль администрирования			*					
3	Модуль по работе с базой данных	*							
4	Модуль визуализации			*					
5	Модуль сбора путевых листов	*							
6	Модуль севоборота	*							
7	Модуль функциональных показателей	*							
8	Модуль расчета отклонений	*							
9	Модуль построения байесовской сети				*				
10	Модуль воронки производства	*							

на этапе 6. В результате получаем следующую последовательность использования компонентов цифровой среды:

$$w = 1 < w = 2 < w = 3 < w = 4 < w = 5 < w = 7 < \\ < w = 8 < w = 6 < w = 9 < w = 10. \tag{5.37}$$

Выполнив эти этапы, перейдем к рассмотрению этапа 10.

5.5 Реализация уровня ресурсно-распределительной оптимизации

Реализация уровня ресурсно-распределительной оптимизации в соответствии с параграфом 2.2 связана выделением двух временных стадий: функционирования и развития цифровой среды управления. Рассмотрим двухгодичный цикл выполнения задач деятельности в рамках автономной организационной системы аграрного профиля. Этот цикл разобьем на квартальные подпериоды, считая, что стадия функционирования определяется дискретными подпериодами $t = \overline{1,4}$, а стадия развития $t_1 = \overline{1,4}$ [160, 177].

Первая распределительная задача состоит в установлении компонентов цифровой среды из множества $w = \overline{1,10}$, приведенного в таблице 5.2, поддержка жизненного цикла которых осуществляется ресурсным обеспечением U, выделенным на стадии функционирования. Как показано в (4.1) каждый w-й компонент характеризуется периодом времени поддержания уровня функциональности τ_w, оцененном в масштабе квартальных подпериодов, и потребностью для этих целей в ресурсном обеспечении, которую будем оценивать долей от величины U–u_w°. Для компонентов $w = \overline{1,10}$ эти данные приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 — Характеристики функциональности и ресурсного обеспечения компонентов цифровой среды управления

w	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_w	6,4	6,2	6,8	6,5	6,9	5,8	7,2	7,4	6,3	5,6
u_w°	0,16	0,21	0,13	0,23	0,2	0,28	0,15	0,14	0,24	0,31
x_w^*	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0

Данные, приведенные в таблице 5.5, использованы для решения задачи оптимизации вида (4.4)

$$\sum_{w=1}^{10} \tau_w x_w \to \max,$$
$$\sum_{w=1}^{10} u_w^\circ x_w \le 1, \tag{5.38}$$
$$x_w = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \ w = \overline{1,10}.$$

Оптимальное решение (5.38) $x_w^*, w = \overline{1,10}$ приведено в таблице 5.5.

Вторая задача состоит в распределении ресурсного обеспечения $U_w = u_w^\circ U$ для w-го компонента в зависимости от случайного изменения уровня функциональности по подпериодам $t = \overline{1,4}$. В параграфе 4.1 приведена общая постановка соответствующей задачи оптимизации (4.15) с целью максимизировать эффективность E использования U_{wt} для поддержания функциональности в t-й временной период. В нашем случае оптимизационная модель имеет вид

$$\sum_{t=1}^{4} (\hat{U}_{wt}, t) \to \max_{U_{wt},\, t=\overline{1,4}},$$
$$\sum_{t=1}^{4} \hat{U}_{wt} \le U, \tag{5.39}$$
$$\hat{U}_{wt} \ge 0, \ t = \overline{1,4},$$

где $\hat{U}_{wt} = \frac{U_{wt}}{U_w}$ измеряется в заданной дискретной шкале $[0;\ 0{,}1;\ \ldots;\ 0{,}5;\ \ldots;\ 1]$.

Решение (5.39) находится согласно (4.27) путем перехода к одномерным задачам оптимизации функций $\psi^* = E(\hat{U}_{wt}),\ t = \overline{1,4}$ и полного перебора по параметрам p_2, p_3, p_4, p_5, заданным на указанной выше дискретной шкале

$$\psi_1(p_2) = \max_{0 \le \hat{U}_{w_1} \le p_2} \psi_1(\hat{U}_{w_1});$$
$$\psi_2(p_3) = \max_{0 \le \hat{U}_{w_2} \le p_3} \{\psi_2(\hat{U}_{w_2}) + \psi_1(p_3 - \hat{U}_{w_2})\};$$
$$\psi_3(p_4) = \max_{0 \le \hat{U}_{w_3} \le p_4} \{\psi_3(\hat{U}_{w_3}) + \psi_2(p_4 - \hat{U}_{w_3})\}; \tag{5.40}$$
$$\psi_4(p_5) = \max_{0 \le \hat{U}_{w_4} \le p_5} \{\psi_4(\hat{U}_{w_4}) + \psi_3(p_5 - \hat{U}_{w_4})\}.$$

В результате последовательного решения задачи (5.40) получаем оптимальное распределение ресурсного обеспечения U_w между временными подпериодами $t = \overline{1,4}$:

$$U^*_{w_1},\ U^*_{w_2},\ U^*_{w_3},\ U^*_{w_4}.$$

Теперь перейдем к оптимизации распределения ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды $t_1 = \overline{1,4}$. На основании решения задачи оптимизации (5.38) и данных таблицы 5.5 получаем два нумерационных подмножества:

– $w_1 = 4, 6, 9, 10$ – нумерационное подмножество компонентов, интегрируемых в цифровую среду управления на стадии развития;

– $w_2 = 1, 2, 3, 5, 7, 8$ – нумерационное подмножество компонентов, используемых в цифровой среде управления на стадии функционирования и подлежащих модернизацией в связи со снижением функциональности ниже критического уровня на стадии развития.

Решение ресурсно-распределительной задачи связано с о следующими объемами ресурса:

– U^p – объем интегрального ресурса для стадии развития $t_1 = \overline{1,4}$;

– $U^p_{w_1}$ – объем ресурсного обеспечения, необходимый для интеграции компонентов $w_1 = 4, 6, 9, 10$;

– $U^p_{w_1}(t_1)$ – объем ресурсного обеспечения из объема $U^p_{w_1}$, распределяемый на временных интервалах $t_1 = \overline{1,4}$;

– $U^p_{w_2}$ – объем ресурсного обеспечения, выделяемого для поддержания функциональности компонентов $w_2 = 1, 2, 3, 5, 7, 8$.

По этим данным рассчитывается гарантированный ресурс на период времени $t_1 = \overline{1,4}$ для интеграции компонентов $w_1 = 4, 6, 9, 10$

$$U^{p.\text{г}} = U^p - \sum_{w_2=1,2,3,5,7,8} U^p_{w_2}.$$

С использованием экспертной оценки термов лингвистической переменной, предложенными в параграфе 4.2, определяются значения функций принадлежности (4.29) μj_{w_1}, где j_{w_1} – нумерационное множество показателей эффективности,

которые существенно зависят от реализации w_1-го компонента цифровой среды управления (таблица 5.3). При этом $Uj_{w_1} = \overline{15{,}22}$.

На основе этой информации сформируем оптимизационную модель вида (4.21) применительно к исследуемой цифровой среде управления

$$\begin{gathered}\sum_{j=15}^{22} \alpha_j \sum_{w_1=4,6,9,10} \mu j_{w_1} x_{w_1} \to \max, \\ \sum_{w_1=4,6,9,10} \frac{U^p_{w_1}}{U^{p.\text{г}}} x_{w_1} \le 1, \\ x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \ w_1 = 4, 6, 9, 10,\end{gathered} \tag{5.41}$$

где $\alpha_j = \frac{\lambda^K_{jw_1}}{\sum_{w_1=4,6,9,10} \lambda^K_{jw_1}}$, $j = \overline{15{,}22}$; $\lambda^K_{j_{w_1}}$ – значение коэффициента штрафной функции в выражении (5.29) на k–й итерации алгоритма многовариантной структуризации, соответствующей выполнению условия останова.

Получено решение (5.41):

$$x^*_4 = 1, \ x^*_6 = 1, \ x^*_9 = 0, \ x^*_{10} = 1,$$

которое означает, что на стадии развития для интеграции компонента $w = 4$ выделяется ресурс U^p_4; $w = 6 - U^p_6$; $w = 10 - U^p_{10}$, интеграция компонента $w = 9$ переносится на другой период $t > T + T_1 = 8$.

Далее осуществляется распределение ресурсного обеспечения $U^p_{w_1}$, $w_1 = 4, 6, 10$ в соответствии с оптимизационными задачами (4.34) — (4.38), решаемыми в последовательности от конечного периода времени $t_1 = 4$ до начального – $t_1 = 1$.

Для периода $t_1 = 4$ и остальных периодов $t_1 = 3, 2, 1$

$$\begin{gathered}\sum_{j=15}^{22} \alpha_j \sum_{w_1=4,6,10} \mu j_{w_1} [U^p_{w_1}(\overline{1{,}3}) + U^p_{w_1}(4)] \to \max, \\ U^p_{w_1}(\overline{1{,}3}) + U^p_{w_1}(4) \le U^p_{w_1}, \ w_1 = 4, 6, 10, \\ U^p_{w_1}(\overline{1{,}3}) \ge 0, \ U^p_{w_1}(4) \ge 0, \ w_1 = 4, 6, 10,\end{gathered} \tag{5.42}$$

где $U^p_{w_1}(\overline{1,3})$ – интегральное ресурсное обеспечение для периодов $t_1 = \overline{1,3}$, $U^p_{w_1}(4)$ – ресурсное обеспечение для периода $t_1 = 4$.

В результате решения (5.42) получаем оптимальные значения:

$$U^{p*}_{w_1}(\overline{1,3}),\ U^{p*}_{w_1}(4),\ w = 4, 6, 10.$$

Для периода $t_1 = 3$ и остальных $t_1 = 2, 1$

$$\begin{gathered}\sum_{j=1}^{22} \alpha_j \sum_{w_1=4,6,10} \mu j_{w_1}[U^p_{w_1}(\overline{1,2}) + U^p_{w_1}(3)] \to \max, \\ U^p_{w_1}(\overline{1,2}) + U^p_{w_1}(\overline{1,3}) \le U^p_{w_1},\ w_1 = 4, 6, 10, \\ U^p_{w_1}(\overline{1,2}) \ge 0,\ U^p_{w_1}(3) \ge 0,\ w_1 = 4, 6, 10.\end{gathered} \tag{5.43}$$

В результате решения (5.43) получаем оптимальные значения:

$$U^{p*}_{w_1}(\overline{1,2}),\ U^{p*}_{w_1}(3),\ w = 4, 6, 10.$$

Для периодов $t_1 = 2$ и $t_1 = 1$

$$\begin{gathered}\sum_{j=1}^{22} \alpha_j \sum_{w_1=4,6,10} \mu j_{w_1}[U^p_{w_1}(1) + U^p_{w_1}(2)] \to \max, \\ U^p_{w_1}(1) + U^p_{w_1}(2) \le U^{p*}_{w_1}(\overline{1,2}),\ w_1 = 4, 6, 10, \\ U^p_{w_1}(1) \ge 0,\ U^p_{w_1}(2) \ge 0,\ w_1 = 4, 6, 10.\end{gathered} \tag{5.44}$$

В результате решения (5.44) получаем оптимальные значения

$$U^{p*}_{w_1}(1),\ U^{p*}_{w_1}(2),\ w = 4, 6, 10.$$

Таким образом получаем оптимальное распределение ресурсного обеспечения для интеграции каждого компонента $w = 4, 6, 10$ на временных интервалах $t_1 = \overline{1,4}$:

$$U^{p*}_{w_1}(1),\ U^{p*}_{w_1}(2),\ U^{p*}_{w_1}(3),\ U^{p*}_{w_1}(4),\ w = 4, 6, 10. \tag{5.45}$$

Решением (5.45) завершается выполнение этапа 10 многовариантной структуризации цифровой среды управления автономной организационной системы аграрного профиля.

Выводы пятой главы

1. С целью проведения многовариантной структуризации цифровой среды автономной организационной системы на первом этапе целесообразно осуществить анализ задач деятельности, характерных для её функционирования, действий групп исполнительных эргатических элементов, направленных на выполнение этих задач и определить взаимосвязь между этими структурными составляющими при их объединении в организационное целое.

2. Оценку эффективности применения компонентов цифровой среды для управления автономной организационной системой аграрного профиля приемлемо осуществить с использованием комплекса показателей, связанных иерархической структурной схемой, на первом уровне которой оценивается результативность и экономичность функционирования этой системы.

3. Для реализации уровня интеграционной оптимизации эффективным является переход к оценке степени выполнения экстремальных и граничных требований в зависимости от альтернативных переменных, характеризующих выбор реализаций компонентов цифровой среды управления, с использованием двух процедур ранговой упорядоченности на основе экспертных мнений вариантов комбинаций реализаций, наиболее значимых для каждого изменения каждого показателя. Указанные оценки используются при многовариантном формировании оптимизационных задач и их решений с использованием принципов построения алгоритмов многовариантной оптимизации.

4. Реализацию уровня ресурсно-распределительной оптимизации осуществляют для двух временных стадий. При этом, на основе оптимизационного моделирования определяются компоненты цифровой среды управления, используемые на первой стадии, и для каждого их них распределяется между временными периодами ресурс для поддержания функциональности. Остальные компоненты интегрируются в цифровую среду на второй стадии. Для них оптимальным образом распределяется ресурсное обеспечение на их интеграцию, соответствующие каждому временному интервалу.

ГЛАВА 6. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МНОГОВАРИАНТНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ В ПРАКТИКЕ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ АГРАРНОГО ПРОФИЛЯ

6.1 Характеризация компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой «Агрополе»

Структура цифровой среды организационной системы агропромышленного предприятия включает в себя ряд типовых модулей и общесистемные средства организации взаимодействия модулей. Основным общесистемным модулем является модуль Администирования [177, 181].

Модуль администрирования предназначен для ведения информации по организационной структуре Компании, пользователям Компании, территориальному доступу пользователей к информации, ролевому доступу пользователей к подсистемам и отдельным функциям подсистем.

Территориальное разграничение прав доступа к данным (например, доступ к данным по полям, подразделениям) осуществляется на основании принадлежности пользователя к определенному объекту организационной структуры (например, отделение, ферма, склад). Ролевое разграничение прав доступа будет осуществляться на основании доступных пользователю ролей (например, планирование севооборота, работы техники, учет выполнения заданий). Пример ролевого и территориального доступа приведен на рисунке 6.1. Модуль администрирования выполняет следующие задачи:

– ведение организационной структуры компании;
– ведение сотрудников;
– ведение пользователей;
– ведение ролевого доступа;
– ведение справочников.

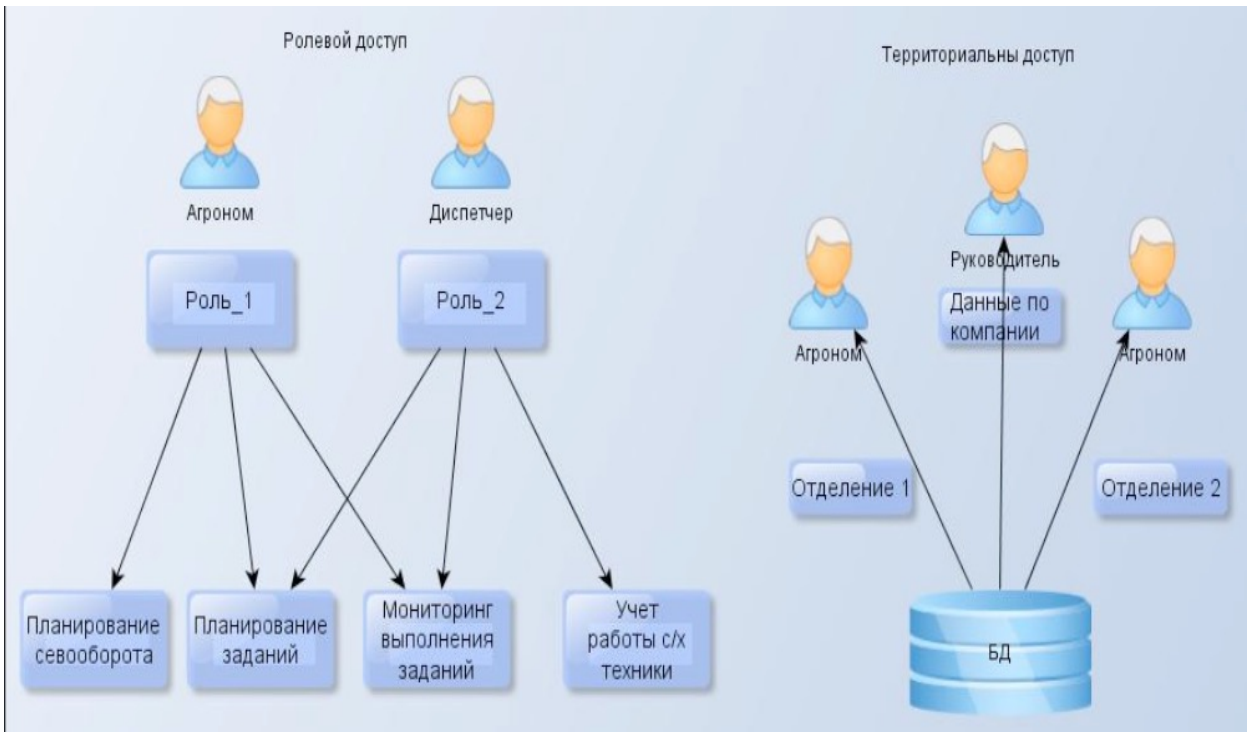

Рисунок 6.1 — Схема ролевого и территориального доступа

Реализованная функциональность по ведению организационной структуры предназначена для организации территориального доступа, ведения привязок пользователей подсистемы к подразделениям компании и формирования отчетов. Предусматривает ведение следующей информации:

– тип организации – вид деятельности;

– наименование организации;

– адрес.

Функциональность предназначена для ведения сотрудников компании, участвующих в производственных процессах, а также сотрудников, являющихся пользователями системы.

Модуль предоставляет следующие возможности:

– ведение Ф.И.О. сотрудника;

– хранение фотографии сотрудника;

– ведение должности сотрудника – для группировки сотрудников по специальностям: механизаторы, бригадиры, агрономы;

– ведение привязки сотрудника к организации – в зависимости от привязки будет организован территориальный доступ к объектам.

Функциональность предназначена для ведения в системе информации по пользователям:

– логина пользователя;

– пароля пользователя в зашифрованном виде;

– привязки пользователя к сотруднику.

Каждый сотрудник при входе в систему должен авторизоваться, в случае закрепления за сотрудниками мобильных устройств «планшет» авторизация может происходить автоматически.

Ведение ролевого доступа предназначена для ведения ролевого доступа к формам, графикам, отчетам, блокам информации и допустимым действиям пользователей: редактирование, просмотр. Модуль предоставляет следующие возможности:

– ведение ролей – роль определяет права доступа пользователя к определенной функциональности;

– ведение ролей пользователей – одна роль может быть назначена нескольким пользователям.

В системе предусмотрено ведение следующих общесистемных справочников:

1. Ведение наименований заданий – справочник предназначен для ведения перечня заданий механизированных и ручных работ.

2. Ведение объектов с/х предприятия – справочник предназначен для ведения информации по с/х полям и производственным объектам Компании.

3. Ведение с/х культур – справочник предназначен для ведения наименований выращиваемых культур, например, пшеница, ячмень.

4. Ведение материалов – справочник предназначен для ведения минеральных и органических удобрений, а также средств защиты растений.

5. Ведение с/х техники – справочник предназначен для ведения информации по с/х технике, грузовой и легковой техники, используемой при выполнении полевых и прочих работ.

6. Ведение с/х оборудования – справочник предназначен для ведения информации по прицепному и навесному оборудованию, используемому при выполнении с/х работ.

Цифровая среда «Агрополе» представляет собой комплексный инструмент управления бизнес-процессами и организационной структурой предприятия в области сельского хозяйства и включает в себя следующие функциональные подсистемы [177, 182—184].

1. План-фактный анализ представляет собой сравнительную таблицу планируемых и фактических затрат по семенам, удобрениям, СЗР, затрат на топливо и зарплат механизаторов, затраты на ремонт техники и оборудования (рисунок 6.2).

2. Модуль «Детализация затрат по культурам» представляет расширенные данные по затратам в разрезе культуры. Представлены многочисленные графики и круговые диаграммы, затраты культур по полям (рисунок 6.3).

3. Модуль карта – отображает технику на полях в режиме реального времени, построение треков и обработанной площади полей механизаторами, остановки и стоянки техники.

4. Производственные задачи включает себя сменное задание, путевые листы механизаторов и водителей, модуль урожай, воронку производства, справочники и другие.

«Сменное задание» позволяет осуществлять диспетчеризацию сельскохозяйственной техники и агрегатов в рамках хозяйства и является основой для заданий в АРМ или путёвок на выполнения полевых работ механизаторами и водителями (рисунок 6.4).

5. Модуль планирование имеет подсистемы севооборота, тех. карты и шаблоны тех. карт, распределения техники и ТМЦ в виде диаграмм Ганта.

Форма «Технологические карты» позволяет вести записи, отражающие комплекс технологических работ, связанных с производством отдельного вида сельскохозяйственной продукции. Устанавливать критерии качества выполняемых технологических операций. Учитывать потребность в производственных ресурсах, трудовых затратах, необходимой техники и материалов. Рассчитывать мате-

Рисунок 6.2 — План-фактный анализ

Рисунок 6.3 — Детализация затрат по культурам

риальные затраты как на отдельные операции, так и на производственный процесс в целом (рисунок 6.5)

Построение графиков сезонной загрузки сельскохозяйственной техники и агрегатов осуществляется в форме «Распределение техники». Графики распределения техники позволяют отследить узкие места, связанные с нехваткой производственной техники и агрегатов при планировании сезонных работ (рисунок 6.6).

6. Модуль «Агрогараж» –- учет запчастей на складе, контроль ремонта техники или оборудования с помощью создания нарядов на ремонт и ежедневных нарядов.

7. Подсистема поддержки принятия решений на основе метода бинарных решающих матриц.Метод бинарных решающих матриц, внедренный в систему поддержки принятия решений.

Система включает в себя следующие функции:

– формирование технологических карт по каждой культуре

– построение графиков сезонной загрузки сельскохозяйственной техники и агрегатов

– диспетчеризация сельскохозяйственной техники и агрегатов

– управления качеством продукции растениеводства

– управление эффективностью работы сельхозпредприятия

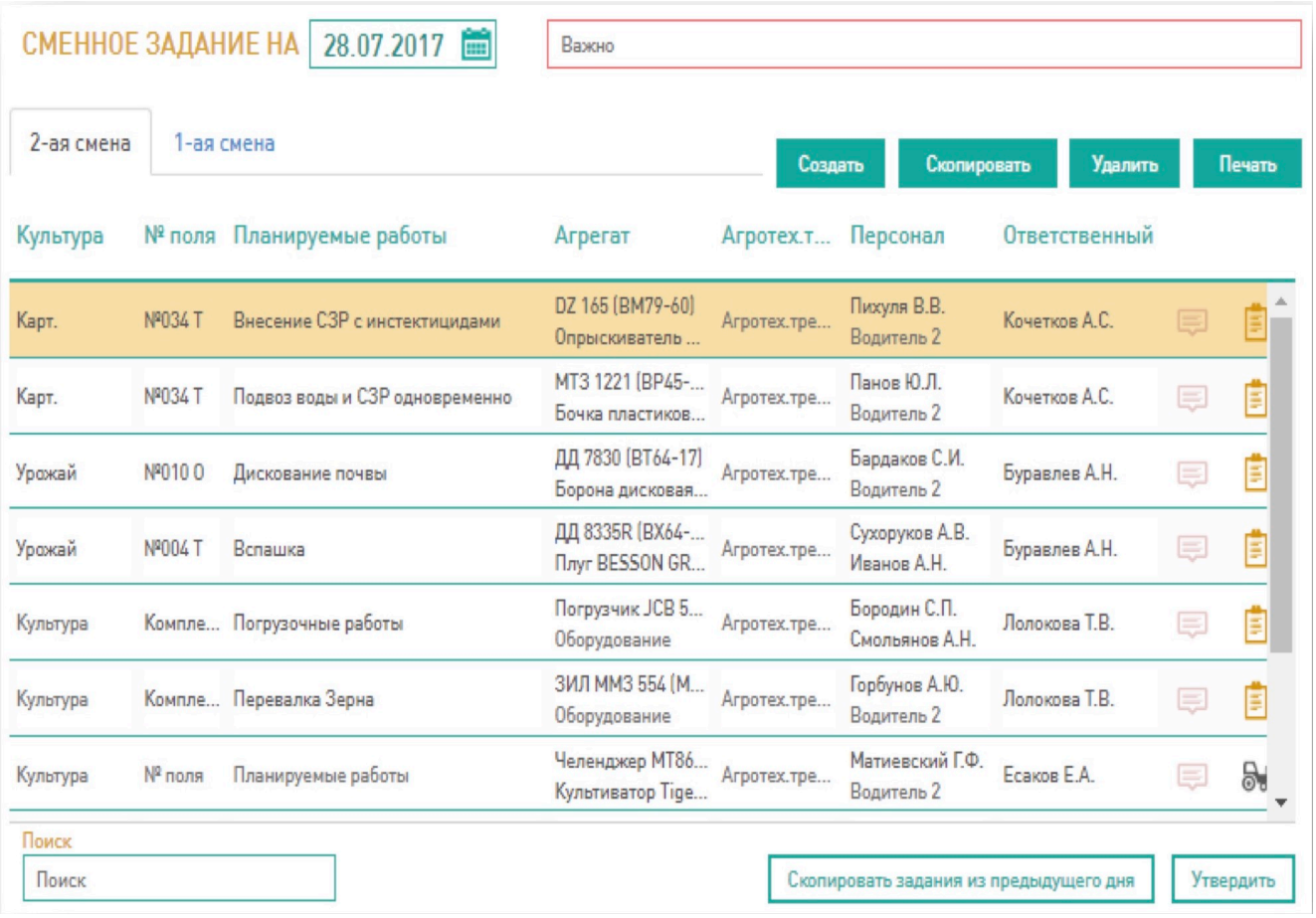

Рисунок 6.4 — Сменное задание

– экономическое планирование

– планирование маржинальности по каждой культуре

– учет затрат по культурам и полям

– контроль себестоимости сельскохозяйственных культур

– аналитические отчеты

– оперативное управление с использованием мобильных автоматизированных рабочих мест (АРМ).

8. Подсистема «Управление объектами сельхозпредприятия» предназначена для планирования и учета результатов производственной деятельности компании.

Подсистема обеспечивает выполнение следующих функций:

– ведение плановых и фактических показателей по севообороту полей;

– формирование сменных заданий на выполнение работ с/х техникой и персоналом;

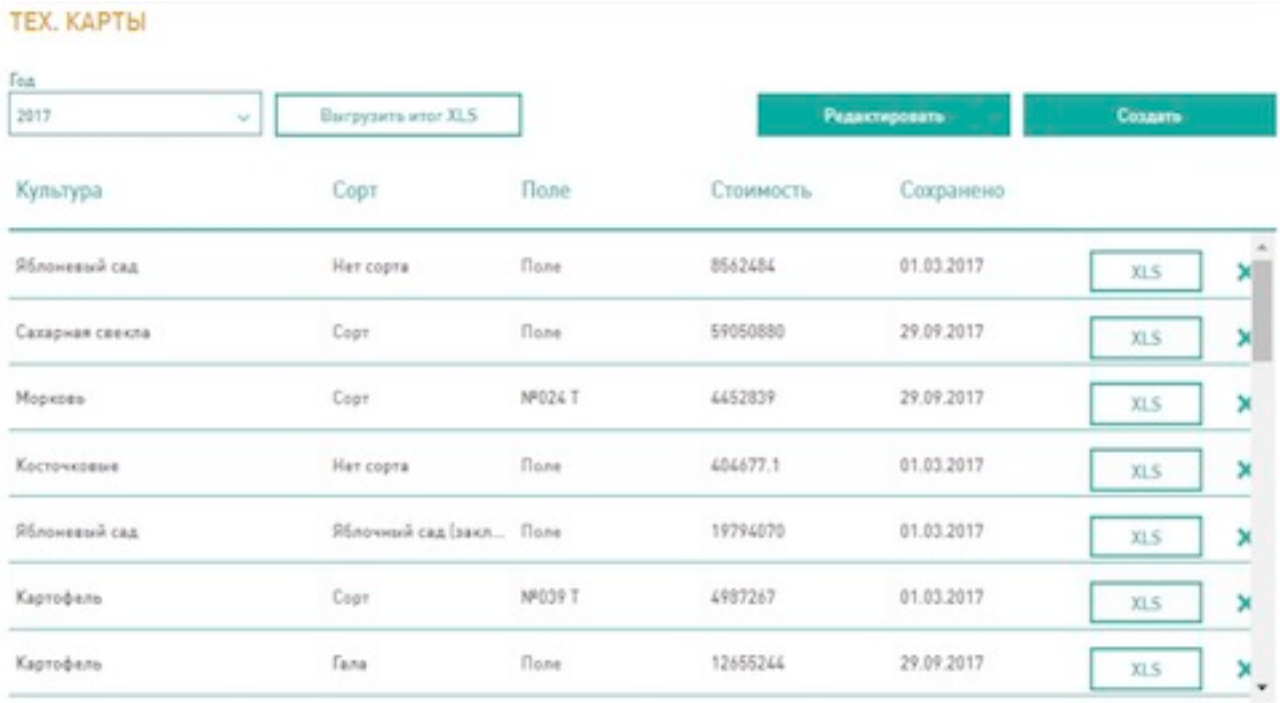

Рисунок 6.5 — Технологические карты

– регистрация результатов выполнения сменных заданий, расчет оплаты труда персонала и расхода горючего с/х техникой;

– просмотр отчетов по ранее выполненным работам, затратам на оплату труда, расходу горючего.

9. Модуль «Ведение севооборота» предназначен для ведения информации по планированию и учету выращивания зерновых культур на полях, а также ведения показателей: площадь посева культуры, урожайность культуры, затраты на культуру.

Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

– просмотр исторической информации по выращиваю с/х культур за предыдущие годы, сравнение плановых и фактических показателей;

– ведение информации по выращиваемой культуре на поле, сорту и репродукции культуры;

– ведению информации по плановой и фактической площади занятой культурой;

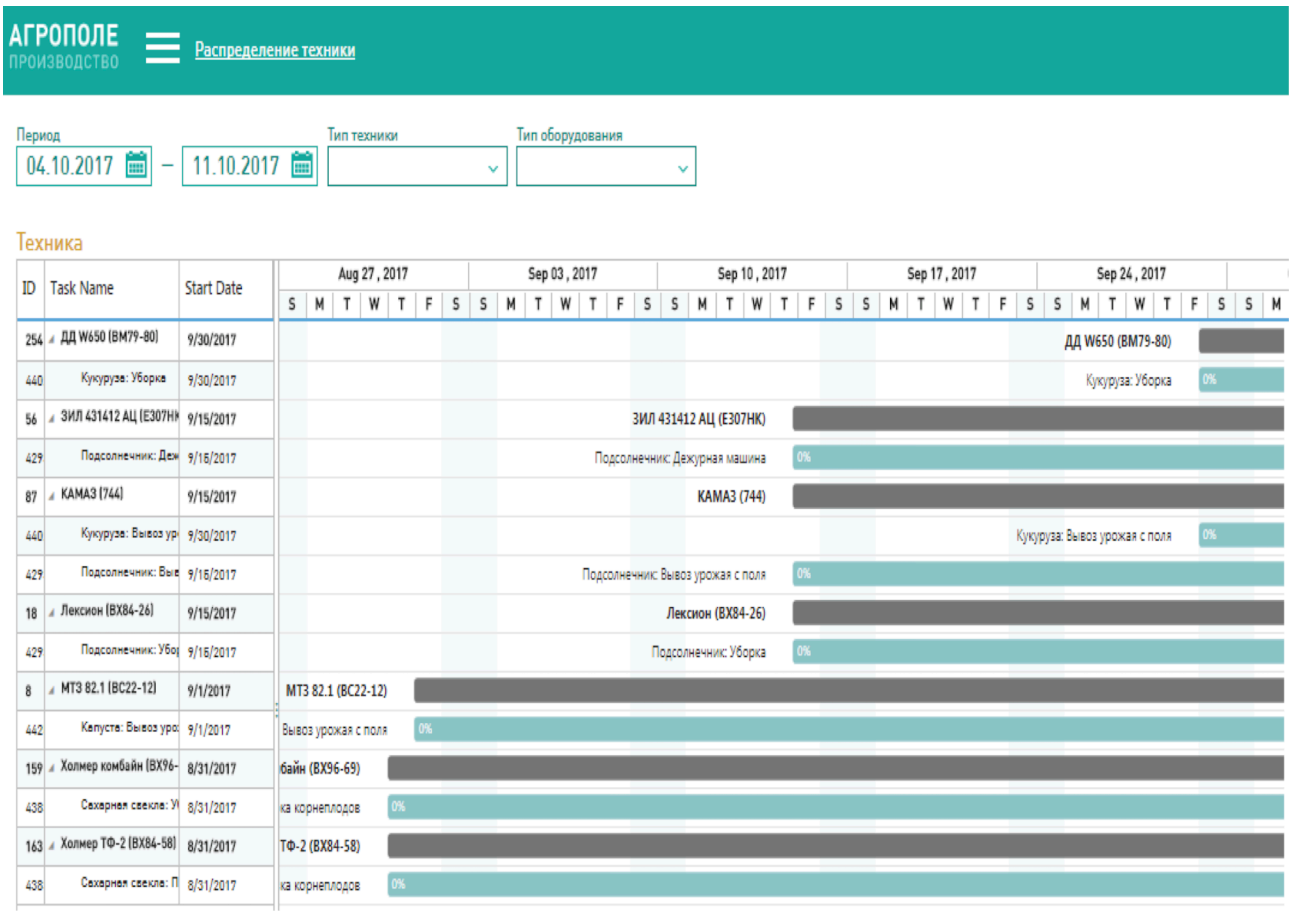

Рисунок 6.6 — Распределение техники

– ведение информации по плановой и фактической информации по урожайности культуры, удельным затратам на выращивание культуры: затраты на 1 тонну, затраты на 1 гектар.

Данные по севообороту полей используются при формировании и учете выполнения заданий с/х техникой и персоналом.

10. Модуль «Формирование сменного задания» предназначен для планирования и мониторинга выполнения заданий по выполнению полевых и производственных работ.

Сменное задание предусматривает посуточное планирование работ с учетом сменности работы персонала. Задание содержит следующую информацию:

– объект проведения работ – с/х поле или производственный объект;

– с/х культура, с которой производятся работы;

– техника, используемая для выполнения работ и при необходимости дополнительное оборудование;

– персонал, участвующий в выполнении работы;

– ответственный за выполнение работы.

После утверждения состава работ, сменное задание становится доступно всем заинтересованным участника процесса.

Для мониторинга выполнения работ формируется отчет, отображающий информацию по планируемым и фактически выпаленным заданиям.

11. Модуль «Ведения заданий с/х техники и персонала» предназначен для ведения информации по выполнению производственных заданий. Задания формируются автоматически на основании сменного задания и при необходимости могут быть скорректированы. Модуль обеспечивает ведение следующей информации по заданию:

– объект проведения работ –- поле или производственный объект;

– с/х культура, с которой производятся работы;

– задание;

– ответственный за работы;

– период выполнения задания;

– исполнитель задания;

– в случае использования с/х техники – техника и прицепное или навесное оборудование.

При необходимости может быть сформирован и распечатан путевой лист грузового или легкового автомобиля.

По результатам выполнения задания осуществляется учет производственных показателей по объектам: поле, культура, техника, сотрудник, которые используются для расчета ключевых показателей эффективности Компании и производственных затрат.

Для водителей грузового автотранспорта регистрируется информация, на основании которой осуществляется расчет оплаты труда и расхода топлива:

– фактически отработанное время на выполнение задания;

– количество выполненных рейсов;

– общий пробег, пробег с грузом;

– количество перевезенных тонн продукции;

– заправка техники топливом;

– расценка на работу;

Для механизаторов, выполняющих полевые работы, информация автоматически передается с «АРМ Механизатора», также предусмотрена возможность ручного ввода данных:

– фактически затраченное время на выполнение задания;

– обработанная площадь поля.

На основании расценки на работу осуществляется расчет оплаты сотруднику.

Также предусмотрен расчет дополнительной оплаты труда водителя и механизатора на основании количества намолоченной или перевезенной продукции.

12. Модуль «Учет расхода СЗР и мин. удобрений» предназначен для ведения информации о расходе СЗР и минеральных удобрений при выполнении полевых работа, а также формирования акта списания материалов. Источником данных для учета расхода материалов являются задания на выполнение работ с/техникой

Модуль обеспечивает ведение следующей информации:

– с/х поле – объект внесения материалов;

– выращиваемая с/х культура;

– использованное СЗР или удобрение;

– площадь обработки;

– количество внесенного материала.

13. Модуль «АРМ механизатора» предназначен для регистрации информации по выполнению задания механизатором. Модуль размещается на мобильном устройстве с операционной системой Android. Для исключения необходимости авторизации пользователя каждое мобильное устройство настраивается для персональной работы на конкретной единице с/х техники.

Модуль выполняет следующие функции:

– автоматическая загрузка заданий для с/х техники на мобильное устройство на текущую дату;

– автоматическое создание новых задний при изменении объекта работ (с/х поля);

– автоматический расчет обработанной площади с/х поля;

– автоматическая регистрация времени, затраченного на обработку с/х поля;

Для удобства работы механизатору отображается информации по заданию:

– модель и регистрационный номер с/х техники, прицепное (навесное оборудование), Ф.И.О. водителя;

– наименование поля;

– выращиваемая культура;

– вид задания;

– состояние задания;

«АРМ Механизатора» позволяет механизатору контролировать:

– скорость движения с/х техники при выполнении задания;

– время, затраченное на выполнение задания;

– обработанную часть поля и траекторию движения с/х техники на карте.

14. Модуль «АРМ агронома» предназначен для мониторинга информации по заданиям, выполняемым механизатором и учета результатов оценки качества работы механизатора (качество вспашки, плотность посевов).

Модуль размещается на мобильном устройстве. Для работы с модулем необходимо выполнить авторизацию пользователя с целью разграничения ролевого и территориального доступа к данным по с/х работам на полях.

Модуль выполняет следующие функции:

– автоматическая загрузка заданий для с/х техники на мобильное устройство по контролируемым полям на текущую дату;

– отображение информации по запланированным заданиям на текущую дату, с возможностью просмотра истории ранее выполненных работ. По заданию доступна на просмотр следующая информация:

– наименование поля и выращиваемая культура;

– модель и регистрационный номер с/х техники, которой выдано задание

– прицепное (навесное оборудование), используемое для выполнения задания;

– Ф.И.О. механизатора;

– отмена неактуального задания – в случае неактуальности, ответственный может отменить задание;

– создание нового задания – агроном может создать новое задание механизатору, о чем уведомляется пользователь АРМа;

– отображение информации по результатам выполнения задания механизатором:

– фактически затраченное время на выполнения задания, без учета времени простоя с/х техники;

– время простоя с/х техники при выполнении задания;

– обработанная площадь, Га;

– оплата труда, руб.

– регистрация информации, по оценке качества работы механизатора.

В зависимости от вида задания формируется свой список показателей, для которых агроном производит замеры и регистрирует значения. Значения показателей служат не только для оценки качества работы, они также используются для прогнозирования урожайности культуры, построение карты обработки поля. Например, для вида задания «Вспашка» могут проводится замеры: «глубины вспашки», «высоты гребня». Замеры могут производиться в различных точках обработанной части поля, поэтому необходимо регистрировать информацию для точки замера (координаты GPS).

Агроному доступны следующие функции:

– выбор показателя из списка или отображение всех доступных показателей сразу на экране;

– автоматическая регистрация даты замера;

– автоматическая регистрация координат GPS точки;

– ручная регистрация значения показателя;

– в случае оборудования с/х техники соответствующими датчиками, регистрация некоторых показателей может происходить автоматически;

– подтверждение агрономом факта выполнения задания;

– агроном устанавливает отметку задание выполнено или нет.

15. Модуль «Анализ с/х работ» должен позволять выполнять анализ результатов деятельности компании по выращиванию с/х культур.

Виды анализа:

– отчет «Структура севооборота» – в отчете отображается информация по суммарной площади полей, занятых под выращивание определенных культур с группировкой по севооборотам:

– культура;

– тип севооборота;

– суммарная площадь полей по культуре и севообороту;

– общая площадь полей по севообороту;

– общая площадь полей по культуре;

– отчет «Выращиваемые культуры по полям» – выращиваемые культуры на полях:

– культура;

– отделение;

– наименование поля;

– площадь поля;

– итого площадь по культуре;

– итого общая площадь.

– отчет «Работы, выполненные на поле» – отчет для просмотра информации по работам, выполненным на поле:

– наименование поля;

– выращиваемая культура;

– площадь поля;

– вид задания – сортировка по дате выполнения заданий по всей с/х технике;

– период выполнения задания – период от начала минимального до окончания максимального задания;

– фактическое затраченное время – суммарное время обработки по всей с/х технике;

– площадь поля, обработанная в рамках задания – суммарная обработанная площадь поля всей с/х техникой в рамках задания;

– фактическое затраченное время – суммарное время обработки по всей с/х технике;

– средняя скорость с/х техники при выполнении задания.

16. Модуль оптимизации организационной структуры агропредприятия в системе цифровизации управления «АгроПоле» позволяет расчитывать KPI по каждому сотруднику, подразделению или отделу, определять зависимость показателей эффективности от параметров цифровой среды.

17. Подсистема многовариантной структуризации системы цифровизации управления «АгроПоле» реализует предложенные модели и алгоритмы оптимизации параметров цифровой среды управления принятием решений и позволяет проводить расчет распределения ресурсов для обеспечения функционирования и развития модулей системы.

Взаимодействие подсистем в цифровой среде «Агрополе» показано на рисунке 6.7.

Перечисленные функции реализуются через приложения для планшетов и сотовых телефонов. Работа модуля «План-фактный анализ» по производственным затратам показана на рисунке 6.8а, а по затратам по культурам – на рисунке 6.8б. Работа модуля «Карта мониторинга» показана на рисунке 6.9. Данные АРМ позволяют в режиме онлайн отслеживать финансовые показатели предприятия и проводить план-фактный анализ.

В рамках технической архитектуры выделяется три схемы базы данных: «Accounts Information», «Personal Data» и «File Archive».

Схема «Accounts Information» – предназначена для ведения объектов БД по администрированию информационной системы, к этой схеме имеет доступ только администратор системы.

Рисунок 6.7 — Основные подсистемы в цифровой среде «Агрополе»

Схема «Personal Data» – предназначена для ведения объектов БД по объектам и производственным показателям сельскохозяйственного предприятия, а также для ведения исторических данных. Доступ к данным имеют только сотрудники предприятия на основании настраиваемого ролевого доступа.

Техническая архитектура цифровой среды приведена на рисунке 6.10.

Доступ к типам данных разграничивается на основании ролевых и функциональных обязанностей, архитектура приведена на рисунке 6.11.

а) б)

Рисунок 6.8 — План-фактный анализ

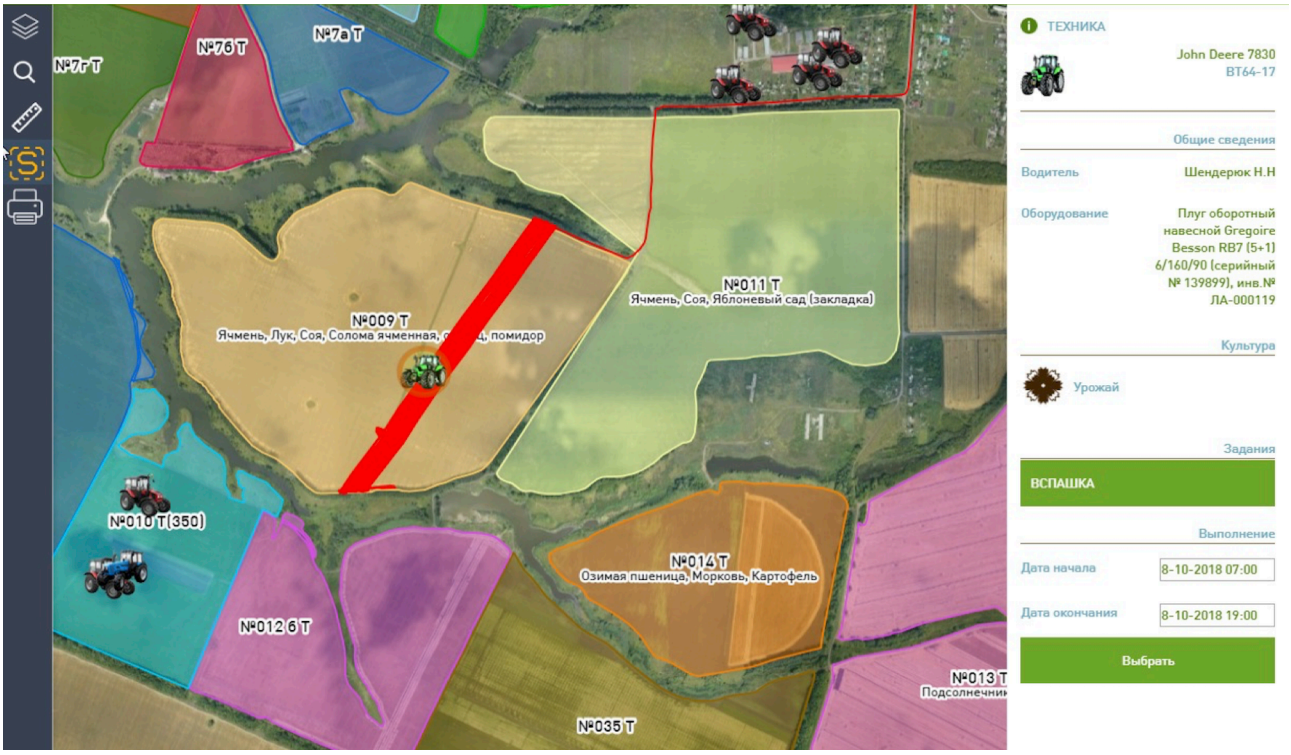

Рисунок 6.9 — Карта мониторинга

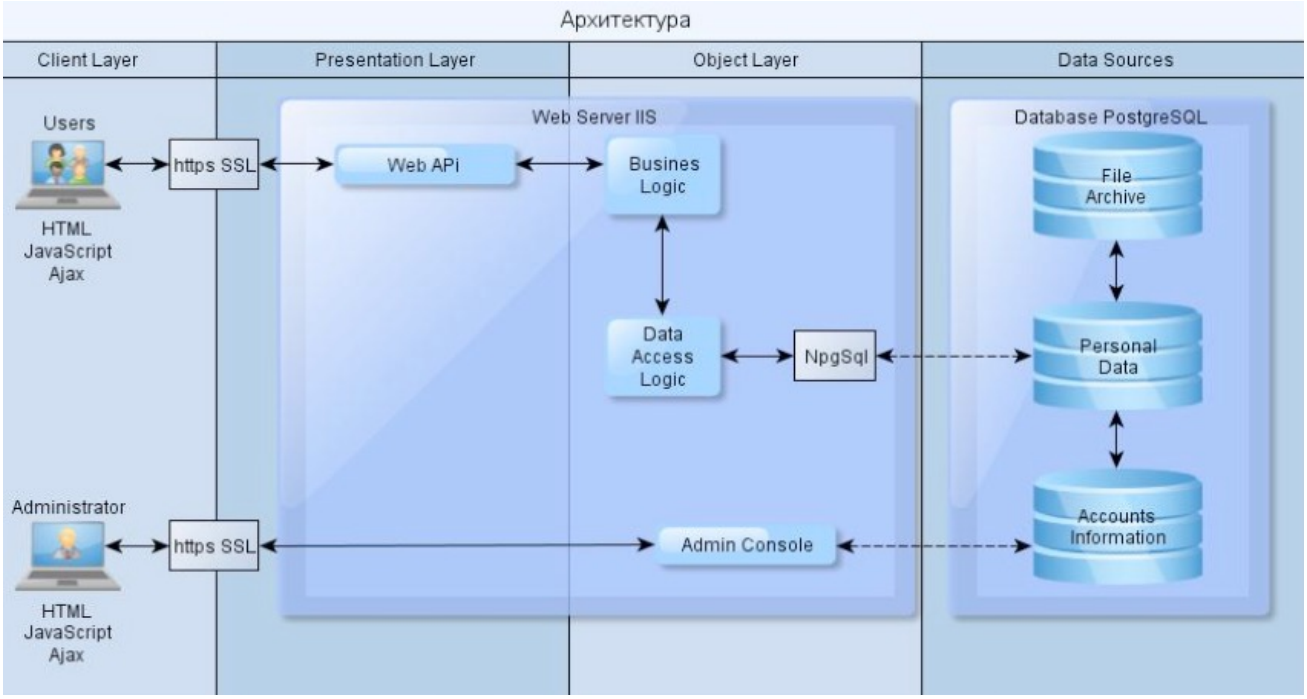

Рисунок 6.10 — Техническая архитектура системы «Агрополе»

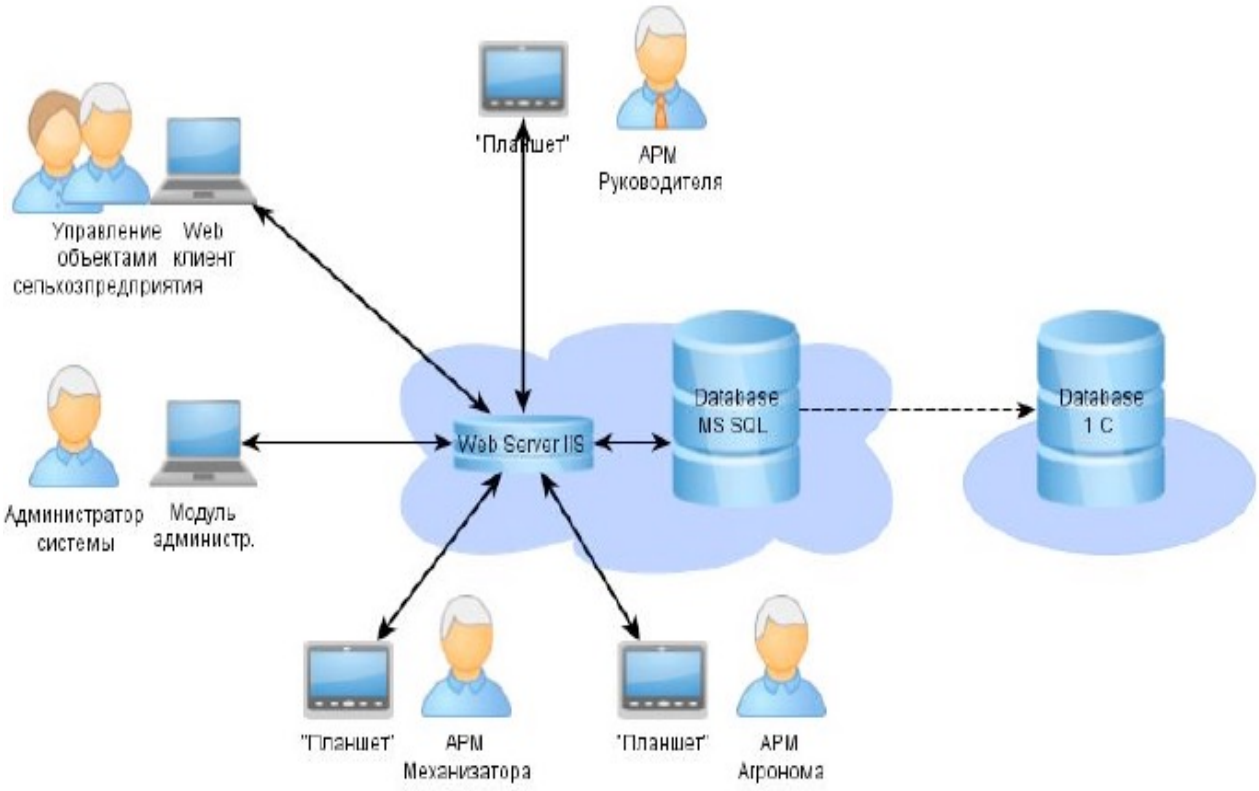

Рисунок 6.11 — Архитектура развертывания системы

6.2 Формирование требований к показателям эффективности функционирования автономной организационной системы на основе план-фактного анализа

Для просмотра и анализа собранной в системе «Агрополе» информации предусмотрена форма «План-фактный анализ производственных затрат» [171].

Форма «План-фактный анализ производственных затрат» строит графики по структуре затрат, затрат по культурам и сводную таблицу на основе введенной информации в системе «Агрополе» (рисунок 6.12).

Культура	Площадь, га	Валовый сбор, т	Статьи затрат							ИТОГО(план)	ИТОГО(факт)	Отклонение	План
			ЗП	Топливо	Удобрения	СЗР	Семена	Услуги	В т.ч. НЗП				
Абрикос	0,00	0,00	61 937,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61 937,00	-61 937,00	0,00
Алыча	0,00	0,00	957,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	957,00	-957,00	0,00
Вишня	0,00	0,00	59 823,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59 823,00	-59 823,00	0,00
Выведенный участок	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Горох	213,00	657,00	304 765,22	128 359,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 744 450,00	433 124,97	1 311 325,00	2 655,18
День поля	32,00	8,00	1 157 406,63	330 820,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 488 227,25	-1 488 227,25	0,00
Земляника	8,00	10,00	458 169,56	7 768,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6 093 120,00	465 938,34	5 627 181,50	609 312,00
Зерносмесь на сено (ячмень+го...	0,00	7,00	0,00	13 832,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13 832,29	-13 832,29	0,00
Капуста	13,00	659,00	99 411,70	29 618,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 726 072,00	129 030,44	1 597 041,50	2 619,23
Картофель	327,00	9 305,00	4 196 873,00	1 079 287,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32 397 272,00	5 276 160,00	27 121 112,00	3 481,71
Косточковые	6,00	0,00	16 277,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98 413,00	16 277,00	82 136,00	0,00
Кукуруза	163,00	1 238,00	208 947,22	84 319,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2 640 595,00	293 266,50	2 347 328,50	2 132,95
Кукуруза на силос	0,00	0,00	39 761,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39 761,32	-39 761,32	0,00
Лук	64,50	3 277,00	1 195 432,75	131 977,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 439 272,00	1 327 410,63	111 861,38	439,20
Малина	0,00	5,00	40 797,00	274,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 127 217,50	41 071,78	1 086 145,75	225 443,50
МКРС	0,00	0,00	235 228,09	48 496,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283 724,88	-283 724,88	0,00
Многолетние травы	0,00	0,00	72 249,64	5 717,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	254 000,00	77 967,24	176 032,75	0,00
Морковь	12,00	447,00	476 222,75	72 594,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 091 139,00	548 817,19	542 321,80	2 441,03
Озимая пшеница	1 483,00	8 135,00	11 135 483,00	345 538,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9 912 272,00	11 481 021,00	-1 568 749,00	1 218,47
Пар	698,00	0,00	133 363,00	430 508,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	563 871,50	-563 871,50	0,00
Подсолнечник	519,00	1 692,00	390 604,31	242 875,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4 782 520,00	633 479,88	4 149 040,00	2 826,55
Сахарная свекла	845,00	31 708,00	1 790 546,13	790 627,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30 874 408,00	2 581 173,25	28 293 234,00	973,71

Рисунок 6.12 — Сводная таблица данных

Необходимые аналитические разрезы (аналитики) определяются агропромышленным комплексом индивидуально, чаще всего используются:

– статьи бюджета (статьи затрат и расходов, движения денежных средств). В статьи затрат входят зарплата механизаторов и водителей, затраты на топливо для техники, затраты на удобрения, средства защиты растений, семена, услуги;

– статьи управленческого баланса;

– центры финансовой ответственности;

– сегменты бизнеса, продуктовый портфель;

– договоры / заказы в сельскохозяйственном производстве.

Порядок проведения план-фактного анализа сельхозпредприятия [171]:

1. Постановка системы учета и бюджетирования. Выбираются плановые и фактические показатели за 1 квартал и считаются абсолютные и относительные отклонения для статей выручки и прибыли, для статей затрат.

2. Выделяется диапазон допустимых значений абсолютных и относительных отклонений. На каждом предприятии должен быть установлен свой диапазон, который зависит от:

а) для абсолютных отклонений – суммы материальности по валюте баланса;

б) для относительных отклонений – соотносимости полученной от выяснения причин отклонения выгоды и затрат, понесенных на это выяснение.

Для проведения анализа возьмем ±100 диапазон по абсолютным отклонениям и ±5% по относительным.

3. Составим таблицу и выделим положительные изменения.

Таблица 6.1 — Абсолютные и относительные показатели

Показатель	План	Факт	Абсолютное отклонение	Относительное отклонение
Выручка	**7 825**	**7 818**	**-7**	**0%**
Себестоимость	-6 104	-6 273	-169	-3%
Складские расходы	-208	-222	-14	-7%
Транспортные расходы	-187	-213	-26	-14%

Благодаря план-фактному анализу видно каким статьям нужно уделить повышенное внимание.

4. Преобразуем структуру план-фактого анализа в факторную модель (рисунок 6.13). Факторная модель показала, что прибыль до налогообложения по факту ниже, чем плановая главным образом из-за отклонения маржинальной прибыли. На отрицательное отклонение по маржинальной прибыли в свою очередь повлияла в основном себестоимость, а на нее основное влияние оказали:

– конвейерная линия 1 – отрицательное;

– конвейерная линия 2 – положительное.

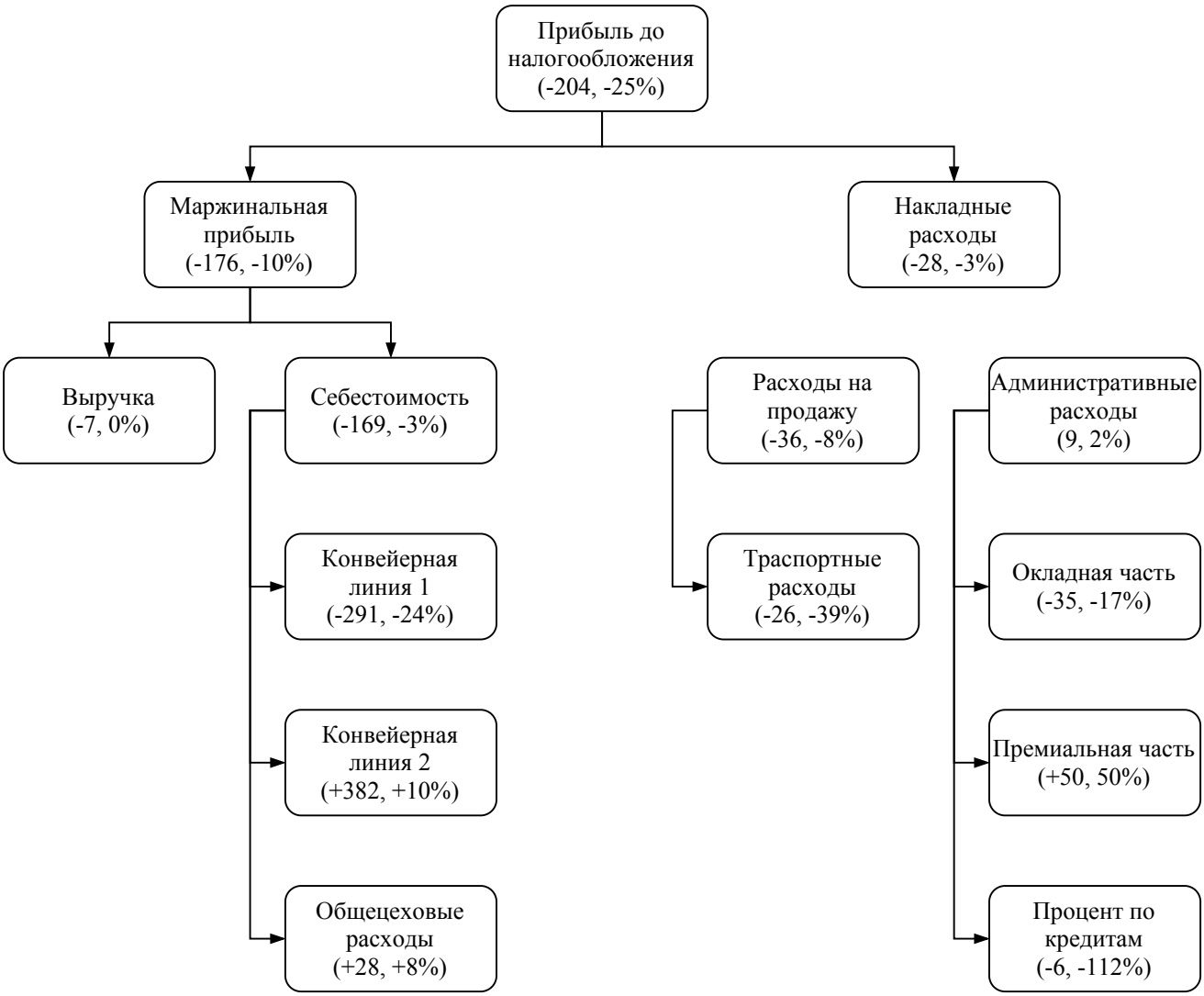

Рисунок 6.13 — Факторная модель

Для текущего примера расшифруем статьи «Выручка», «Себестоимость» по дополнительной аналитике учета – продукту. Предприятие изготавливает и продает продукты «А», «В», «С» силами конвейерных линий 1 и 2. Проследим статистику плана и факта в разрезе продуктов (рисунок 6.14).

Таким образом, можно сделать выводы:

– продукт «А» за отчетный период продался на 21% больше, чем было запланировано, цена по продукту равна плановой, а вот себестоимость единицы немного (на 1%) выше плановой. Кроме того, из таблицы видно, что продукт «А» относится к «эконом»-категории. Цена его минимальна среди трех продуктов;

– Продукт «В» продался на 8% хуже плана, но выручка при этом не изменилась, значит, по факту была поднята цена. Возможно, это и вызвало ухудшение

	Продукт «А»				Продукт «В»				Продукт «С»			
	План	Факт	Абс	Отн	План	Факт	Абс	Отн	План	Факт	Абс	Отн
Продажи	124	150	26	21%	145	134	-11	-8%	78	65	-13	-17%
Выручка	1 860	2 250	390	21%	3 625	3 618	-7	0%	2 340	1 950	-390	-17%
Себестоимость	-1 488	-1 830	-342	-23%	-2 900	-2 948	-48	-2%	-1 716	-1 495	221	13%
Маржинальная прибыль	372	420	48	13%	725	670	-55	-8%	624	455	-169	-27%
%	20%	19%			20%	19%			27%	23%		

Рисунок 6.14 — Статистика плана и факта в разрезе продуктов

продаж. Себестоимость на единицу выросла значительно, что, скорее всего, послужило причиной поднятия цены. Маржинальная прибыль на единицу по факту ниже на 1%

– Продукт «С» продался на 17% хуже плана и адекватное снижение выручки говорит нам о том, что цена на продукт не менялась. В то время как себестоимость на единицу выросла значительно – на 4%, что вызвало аналогичное снижение прибыли.

5. Обратимся к дополнительной аналитике – структуре формирования себестоимости единицы произведенной продукции по конвейерным линиям (рисунок 6.15). Очевидно, что себестоимость единицы состоит из расхода сырья трех видов, окладной и сдельной заработной платы, амортизации линии и других статей.

Конвейерная линия 1 сработала в отчетном периоде хуже плана, потому что:

– более чем в два раза повысилась себестоимость сырья 1 на единицу;

– более чем на 20% выросла сдельная часть заработной платы.

Это может говорить и том, что линия работала не на полную мощность, либо на ней случилась авария, либо она морально и технически устарела и не может справляться с плановым объемом выпуска. Сдельная оплата у сотрудников

Показатель	План	Факт	Откл. абс.	Откл. отн.
Себестоимость	-6 104	-6 273	-169	-3%
продукт «А»	-1 488	-1 830	-342	-23%
продукт «В»	-2 900	-2 948	-48	-2%
продукт «С»	-1 716	-1 495	221	13%
Конвейерная линия 1	-1 239	-1 530	-291	-24%
Расход сырья 1	-2	-4	-1	-66%
Расход сырья 2	-2	-1	1	50%
Расход сырья 3	-1	-1	0	31%
Окладная часть	-3	-3	0	0%
Сдельная зарплата	-1	-2	0	-21%
Амортизация	0	0	0	0%
...				
Конвейерная линия 2	-3 842	-3 461	382	10%
Расход сырья 1	-7	-8	-1	-7%

Рисунок 6.15 — Структура формирования себестоимости единицы произведенной продукции по конвейерным линиям

– почасовая, поэтому при снижении объемов ставка на единицу растет. Сырье 1 поднялось в цене, поэтому его себестоимость на единицу выросла.

Все эти факторы говорят и том, что конвейерная линия 1 выпускает товары «В» и «С».

Конвейерная линия 2, наоборот, показала результаты выше плана. Расход сырья 1 на единицу также увеличился, но остальные затраты, особенно сдельная оплата, снизились. Это говорит и хорошем уровне загруженности конвейерной линии и оптимальной трудоотдаче. Налицо преимущественное производство продукта «А».

Снизились общецеховые расходы – это положительный результат периода, который может говорить как о временном снижении, так и о постоянной положи-

тельной для предприятия динамике, так и об избыточном планировании – необходимо поставить эту статью на контроль и в будущем проверить правильность выводов.

В свою очередь складские расходы и транспортные расходы выросли при отсутствии роста продаж, значит, выросли либо остатки на складах сырья и готовой продукции, либо повысились цены поставщиков. Необходим дополнительный анализ.

6. Необходимо проанализировать статьи административно-накладных расходов, которые изменились больше всего. Транспортные расходы на продажу выросли на 26 единиц и 39% при отсутствии роста продаж. Можно предположить, что был изменен поставщик и смена сказалась на цене. Возможен рост цен на топливо, возможно неправильное планирование или неправильная аллокация затрат по факту между периодами.

Премиальная часть ФОТ снизилась на 50%, что стало следствием невыполнения плана за квартал.

7. Таким образом, анализируем другие статьи в план-фактном анализе и делаем выводы по каждому отклонению, произошло ли оно вследствие:

– действительного фактического увеличения / снижения;
– переброски доходов / расходов между отчетными периодами;
– неправильного планирования.

8. На основании проведенного анализа делаем комплексный вывод: что фактически произошло за период и какие меры реагирования необходимы для выполнения плана.

Из анализа примера видно, что:

1. Продажи продукта «А» выросли, что вызвало увеличение его производства на конвейерной линии 2. Для производства продукта «А» используется довольно мало сырья 1, закупочная стоимость которого тоже оказалась выше плана. Это оказало положительное влияние на общую выручку и общую маржу. В будущем можно планировать увеличение производства продукта «А» в пределах емкости рынка.

2. Продажи продукта «B» сократились на фоне увеличения его цены и роста себестоимости (вследствие увеличения закупочной цены на сырье 1 и сдельной заработной платы на конвейерной линии 1). Доля сырья 1 в себестоимости продукта «B» высока. Если стоимость сырья будет снижаться или останется стабильной, то будем считать задачу выполненной. Если стоимость будет расти, то необходимо либо повышать цену на продукт «B», либо снижать объем его производства.

3. Продажи продукта «C» сократились при неизменной цене и росте себестоимости (по тем же причинам, что и у продукта «B»). Вероятно, цена не может быть увеличена по рыночным причинам. Следует принять решении о приостановке производства продукта «C» или пересмотреть маркетинговую политику.

4. Транспортные расходы оказались выше плана и в части сырья / материалов и в части расходов на продажу. Это негативная тенденция говорит о том, что необходимо уделить повышенное внимание этой статье затрат.

На основе полученного план-фактного анализа принимаются управленческие решения по вопросам бюджетирования.

6.3 Многовариантная структуризация системы цифрового управления севооборотом

Покажем использование механизма многовариантной структуризации в процессе принятия решений при управлении севооборотом в автономной организационной системе агропромышленного предприятия [185, 199, 200]. Для этого необходимо реализовать подсистему поддержки принятия решений в цифровой среде «Агрополе» при выборе альтернативных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в управлении растениеводством, которая должна помочь лицу принимающему решение выбрать наиболее экономически эффективный вариант возделывания культуры и использовать его при создании технологической карты.

С целью выбора оптимального технологического инструмента из возможных, использована технология подбора экономически эффективных научно-

технических исследований в растениеводстве, заключающаяся в последовательных трех стадиях. В первоначальной стадии исполняется подбор комплекта технологий с применением способа двоичных главных матриц, затем необходимо провести стадию сопоставления подобранных технологий с применением многокритериальной экономико-точной модификации точного графика-паутины. В завершающей стадии совершается исследование подбора экономически эффективных технологических инструментов с поддержкой матричной модели [102, 200] (рисунок 6.16). Составляя ежегодный бюджет, каждая агропромышленная компания пользуется собственными технологиями, которые могут работать некорректно, рассчитывая денежные показатели. Опираясь на эти данные, бизнес может взять кредит в банках, нередко попадая в кризисную ситуацию из-за погрешности расчетов.

Рисунок 6.16 — Модельный состав методики многокритериальной комплексной оценки технологических процессов в растениеводстве

Используя аналитику данных и контроля за бизнес-процессами, которые хранятся в цифровой среде «Агрополе», можно сократить случаи попадания компании в крупные долги из-за кредитов в банке.

АРМ руководителя имеет функции получения оперативной статистики по KPI предприятия. В управление KPI входит:

– введение и получение аналитических данных сразу по нескольким предприятиям в рамках одного агрохолдинга;

– сбор и анализ технологических показателей на основании плана севооборота и технологических карт по каждой культуре, что открывает перспективы точного земледелия;

– полный финансовый контроль: включает все необходимые функции учета затрат и расчета полной себестоимости продукции. На основании дополнительных данных анализа рынка сельхозпродукции возможно планирование цены на основании воронки продаж по каждой культуре;

– сокращение затрат на средства обеспечения технической базы и ее содержание, оптимизирование севооборотной модели, быстрого анализа и мгновенного реагирования на динамические условия в процессе выращивания растений [135, 199].

Для наблюдения за всеми процессами в режиме реального времени, пользователю необходимо ввести в системе исходные данные: количество людей, техники и прочие ресурсы. Фактически это автоматизированный офис в мобильном устройстве, который позволяет максимально приблизить объем планируемого урожая к фактическом. Форма «Севооборот» позволяет наглядно вести учет того, какой культурой засажены поля в выбранном году. В общем виде форма представляет собой таблицу, где слева находятся названия полей, а справа культуры на них посаженные или планирующиеся к посадке, разбитые по годам (рисунок 6.17).

Над таблицей с полями необходимо выбрать условия отображения по отделению, культуре или году. При выборе года отображение осуществляется ±2 года.

Настроив отображение таблицы под необходимый интервал планирования, выбирается ячейка для редактирования на пересечении названия поля и года. По клику мышью ячейка подсветится желтым (рисунок 6.18).

Страница редактирования состоит из таблицы и информации по ячейке над ней (рисунок 6.19).

Таблица разделена на два блока: культура и сорта (рисунок 6.20).

СЕВООБОРОТ

Отделение: Все | Культура: Все | Год: 2015 | Редактировать

Поле	2013	2014	2015	2016	2017
№001 О			Мн. травы 0/0	Урожай 0/0 Пар 0/60	
№001 Т		Карт. 0/0	Кукур. 0/0	Мн. травы 0/0 Урожай 0/0 Пар 0/60	
№002 О			Кукур. 108/108	Урожай 0/0 Пар 0/60	
№002 Т		Мн. травы 0/0	Подс. 0/0 Ячмень 127/127 Солома ячм. 0/0	Пар 0/105 Урожай 0/0	
№003 О			Ячмень 0/0 Солома ячм. 0/0	Урожай 0/0 Горох 0/91	
№003 Т			Солома ячм. 0/0 Ячмень 0/0	Мн. травы 0/0 Урожай 0/0	
№004 О		День поля 0/66	Солома ячм. 0/0 Ячмень 0/0	Соя 0/95 Урожай 0/0	
№004 Т			Ячмень 0/0 Солома ячм. 0/0	Урожай 0/0 Горох 0/92	
№005 О			Кукур. 0/0	Урожай 0/0 Пар 0/43	
			Пар 0/0	Пар 0/102	

Всего: 87 | Записей на странице: 10 | 1

Рисунок 6.17 — Окно формы «Севооборот»

Поле	2013	2014	2015	2016	2017
Орлово адм 2	Капуста 0/0 Земл. 0/0	Капуста 17/17 Горох 20/20	Капуста 20/20 Ячмень 17/17	Урожай 0/0 Мн. травы 0/0	Ячмень 37/37
Орлово адм 1	Карт. 0/0		Солома ячм. 0/0 Ячмень 30/30	Урожай 0/0 Мн. травы 0/0	Груша 10/10 Капуста 10/10

Рисунок 6.18 — Окно редактирования

Культуре, выбранной в левой части таблицы, соответствуют сорт, репродукция и площадь посева в правой части. Здесь же задаются соответствующие параметры аналогично выбору культуры. Площадь, в отличие от других параметров, может быть фактической и планируемой. Ячейка, соответствующая полю и году может включать в себя одну или несколько культур.

Экономический анализ схем севооборота играет главную роль в исследованиях об перераспределениях площади полей. Различные подходы, разработанные в последние десятилетия, широко расширили знания людей об экономическом моделировании севооборота [44]. Однако из-за сложности систем севооборота, эко-

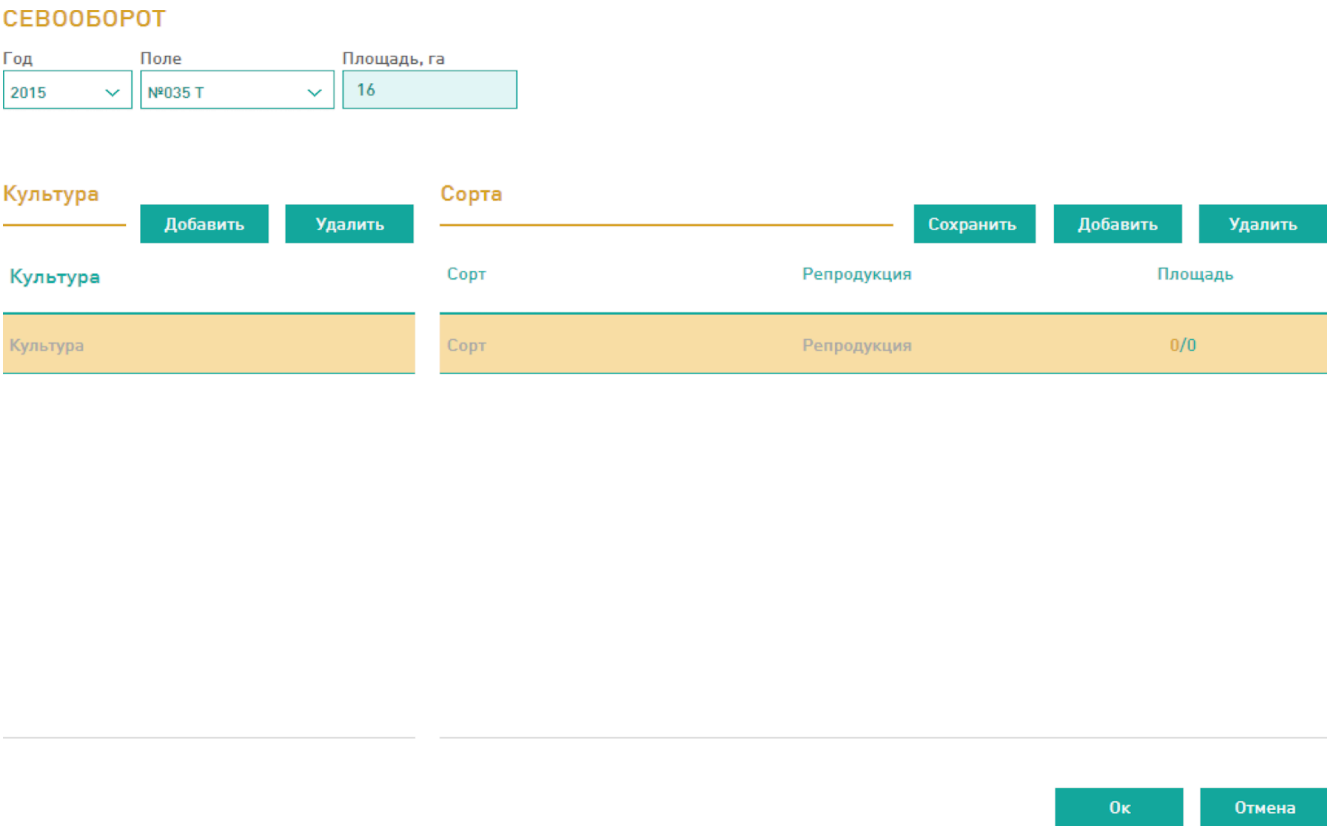

Рисунок 6.19 — Окно редактирования таблицы севооборота

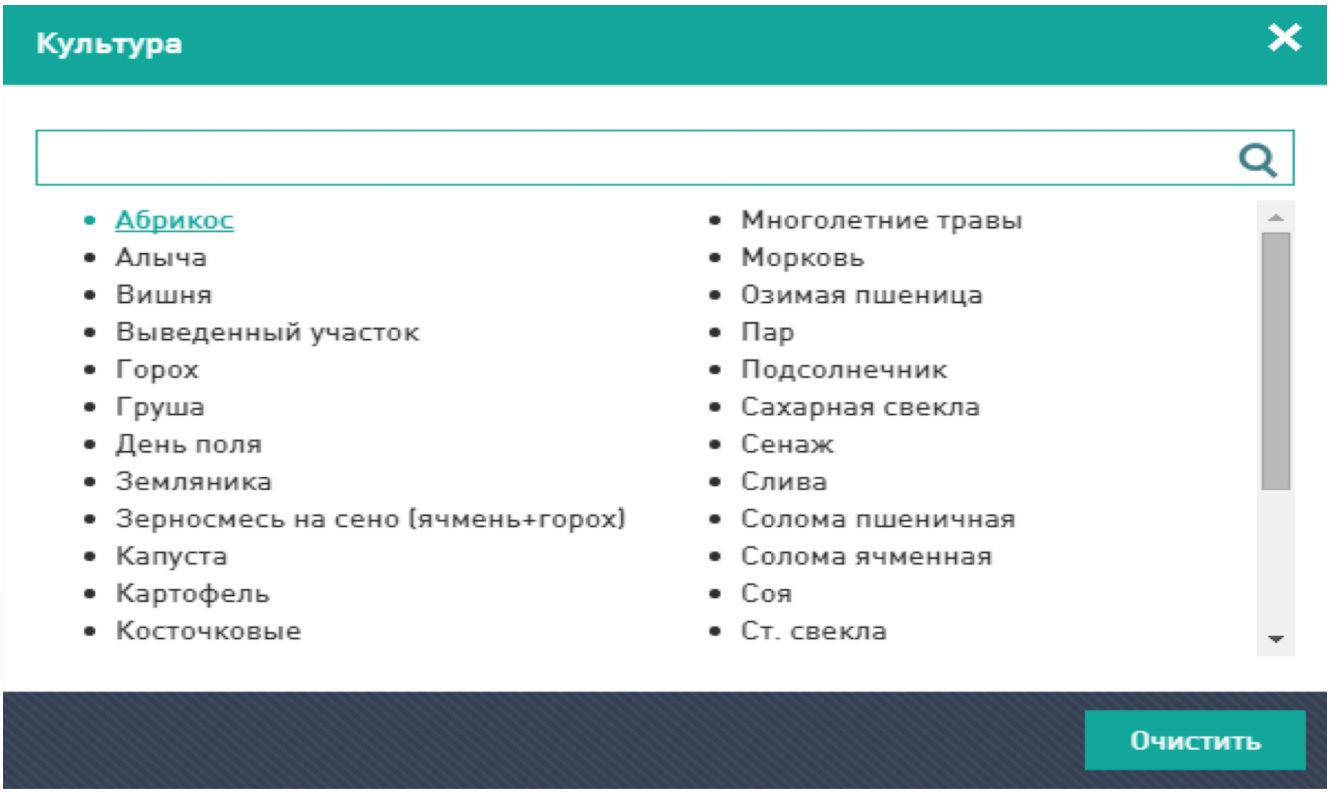

Рисунок 6.20 — Окно со строкой поиска

номические модели имеют различные ограничения, которые затрудняют использовать модели на практике. Предложенные в третьей главе методы оптимизационного моделирования многовариантной структуризации были использованы для моделирования систем севооборота. Модель севооборота была разработана с минимальными агрономическими требованиями: тип почвы, уровень урожайности, предыдущие выращенные культуры. Модель адаптирована для любой системы севооборота с любыми внешними условиями и учитывают многолетние переносы культур.

Оптимизационная модель севооборота построена на основе учета динамических характеристик показателей работы предприятия за предыдущие годы и позволяет выравнивать текущую прибыль с ожидаемой будущей прибылью и может быть записана как

$$V_t(s) = \max_{x \in X(s)} \{f(s,x) + \delta \sum_{s' \in S} P(s'|s,x) V_{t+1}(s')\},\ s \in S,\ t = 1, 2, \ldots, T, \qquad (6.1)$$

где $V_t(s)$ – максимально достижимая сумма текущих и ожидаемых будущей прибыли, учитывая, что система находится в состоянии s в период t, x – управляющая переменная. $f(s,x)$ – текущая прибыль:

$$\delta \sum_{s' \in S} P(s'|s,x) V_{t+1}(s') \qquad (6.2)$$

– ожидаемая будущая прибыль. Целевой функцией является максимизация суммы текущей и ожидаемой будущей доходности предприятия в течение T лет. Предполагается, что прибыль в текущем сезоне будет точно известна, как только будут известны решения о посадке в текущем сезоне.

Руководитель принимает решения, исходя из результатов прошлого сезона, поэтому мы берем урожайность в момент времени $t-1$ как переменную состояния в момент времени t. Относительно системы севооборота эта переменная состояния включает как выбор культуры, так и урожайность. Мы предполагаем, что уровень урожайности в течение прошлого сезона не влияет на уровень урожайности в этом сезоне, имеет значение только выбор культуры. Чтобы быть точным, фактическая переменная состояния в этой модели – это прибыль, в которую включены экзогенные входные и выходные цены. В общем виде переменная состояния

имеет вид:

$$V_{t+1} \in \{y,ym\} \tag{6.3}$$

В севообороте смешанный выбор культуры и уровень урожайности являются нашей переменной состояния, где y обозначает урожайность, а ym обозначает урожайность у при пониженной урожайности непрерывного посева. В системе с двумя переменными состояния, такими как AB, число элементов в пространстве состояний равно девяти, что включает в себя все возможные комбинации прибыли для переменных состояний A и B. Севооборот $AM - BM$ указывает на то, что как A, так и В собирают с меньшей урожайностью из-за непрерывного посева культур, поэтому прошлогодние посевы, должны быть A и B. В то время как урожай A и B были посажены в течение двух последовательных сезонов, рационально поменять земли для A и B и получить урожай севооборота AB, а не продолжать посадку культур $AM - BM$. Следовательно, $AM - BM$ не является возможным сценарием получения прибыли, поэтому:

$$\begin{gathered} y_{t-1} \in (A - B, A - BM, AM - B, A - A, A - AM, \\ AM - AM, B - B, B - BM, BM - BM) \end{gathered} \tag{6.4}$$

Управляющая переменная имеет вид:

$$x \in \{A, B, \ldots, N\} \tag{6.5}$$

где $A, B, \ldots, N$ обозначает альтернативные переменные состояний в системе [44]. На основании переменной состояния и управляющей переменной, обозначенной выше, модифицированное уравнение Беллмана можно записать в виде:

$$V_t(y_{t-1}) = \max_{x \in X(\pi(y_{t-1}))} \{\pi(y_{t-1},x) + \delta V_{t+1}(g(y_{t-1},x))\}, y_{t-1} \in Y,\ t = 1, 2, \ldots, \tag{6.6}$$

где $V_t(y_{t-1})$ – максимально достижимая сумма текущей и ожидаемой прибыли предприятия, учитывая, что система находится в состоянии y_{t-1} в период t, x – выбор переменной состояния для текущего сезона, $\pi(y_{t-1},x)$ – доход предприятия в текущем сезоне, а $g(y_{t-1},x)$ – ожидаемый доход предприятия в будущем [96].

Функция перехода состояний $g(y_{t-1},x)$ обозначает, как текущее состояние y_{t-1} меняется в пространстве состояний, основанном на выборе переменной состояния текущего сезона x. $g(y_{t-1},x)$ в этой модели можно лучше понять, посмотрев на рисунок 6.21.

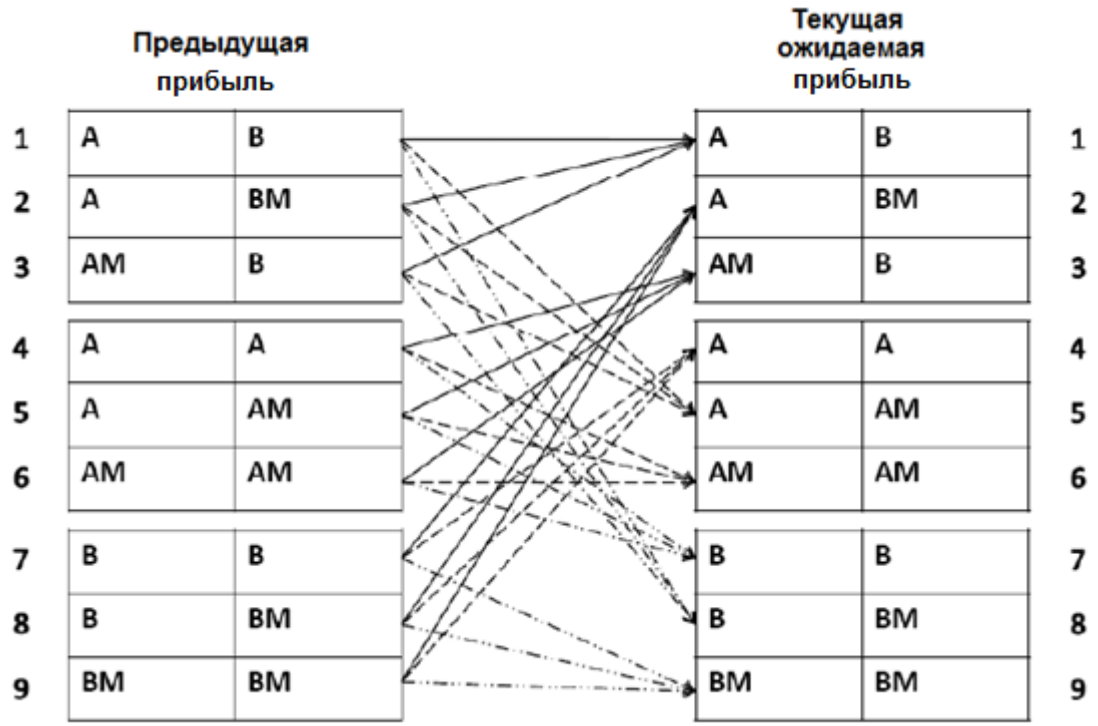

Рисунок 6.21 — Переходы функции $A-B$ севооборота

На рисунке показан вариант моделирования $A-B$ процесса перехода состояния для этой модели. Левый столбец обозначает текущее состояние, которое является выбором переменной состояния и уровнем прибыли в течение последнего сезона. Предыдущий выбор культуры и уровень урожайности переходят в текущий уровень урожайности, зависимый от текущего решения о посадке. В начале сезона агроном анализирует посаженные культуры прошлого сезона и в результате принимает одно из трех решений: посадка на двух участках, посадка B на двух участках или посадка и B на обоих участков [34]. Функции прибыли имеет следующий вид:

Переменная состояния:

$$Y \in \{C|S, C|SM, CM|S, C|C, C|CM, CM|CM, \\ S|S, S|SM, SM|SM\},\ t \in \{1, 2, 3, \ldots, n\}, \tag{6.7}$$

где C – 1-ая переменная состояния; S – 2-ая переменная состояния; CM – сниженная прибыль 1-ой переменной состояния; SM – сниженная прибыль 2-ой переменной состояния; Pc – цена 1-ой переменной состояния, Ps – цена 2-ой переменной состояния; Yc – прибыль 1-ой переменной состояния; Ys – прибыль 2-ой переменной состояния; Cc – стоимость производства 1-ой переменной состояния; Cs – стоимость производства 2-ой переменной состояния. Алгоритм моделирования севооборота имеет следующую структуру: в каждом периоде t лицо наблюдает экономическое состояние st, совершает действие xt и получает прибыль $f(st,xt)$, которое зависит как от состояния системы, так и от действия. Этот процесс может быть подстроен для севооборота следующим образом. В начале сезона посадки производитель наблюдает за посевами, посаженными в течение прошлого сезона, и решает, какие посевы сажать на той же земле в текущем сезоне. Агрономы принимают решения, предполагая, что на каждом участке можно выращивать только один тип культур. Ожидаемая урожайность зависит как от предыдущего результата посадки, так и от текущего решения о посадке.

Например, если кукуруза и соевые бобы были посажены на двух равных по размеру полях в течение прошлого сезона, агроном решает следить за севооборотом кукурузы и сои, меняя местами культуры, посаженные на двух участках, после чего ожидаемый урожай кукурузы может быть сохранен на первоначальном уровне. Однако если агроном решит посадить кукурузу на обоих участках из-за роста цены на кукурузу, один из ожидаемых урожаев кукурузы будет снижен из-за непрерывной посадки культуры на одном и том же участке (рисунок 6.22).

Ожидаемые входные, выходные цены, ожидаемый урожай являются экзогенными переменными в модели. Уровень урожайности является эндогенной переменной. Рисунок 6.22 наглядно демонстрирует функцию перехода состояний для простейшего севооборота $A - B$. Предыдущий выбор культуры и уровень урожайности влияет на текущий уровень урожайности, зависящий от текущего решения о посадке.

Рисунок 6.22 — Два текущих сценария посадки, основанных на предыдущих посевах

В начале текущего сезона, агроном анализирует посевы, посаженные в течение прошлого сезона, делает выбор из трех вариантов по посадке: посадка A на обоих участках, посадка B на обоих участках или посадка AB на обоих участках.

Уровень урожайности сельскохозяйственных культур в момент времени t зависит только от культуры, посаженной в момент времени $t-1$, и от решения о посадке в момент времени t. Это предположение не будет справедливо для некоторых культур, для которых уровень урожайности зависит от культур, посаженных в момент времени $t-1$ и времени $t-2$, так и от решения о посадке в момент времени t. Поэтому модель должна учитывать особенности двухлетнего севооборота.

Переменная состояния в расширенной модели зависит от выбора культуры и урожайности последних двух сезонах. Уровень урожайности остается непредсказуем для агрономов. Результаты уровня агрономической урожайности доступны во многих предыдущих исследованиях, их значения варьируются в зависимости от площади, культуры и других агрономических факторов.

Модель севооборота была апробирована как для односезонных, так и для двусезонных севооборотов. Результаты моделирования показывают, что при рассмотрении односезонных севооборотов оптимальным выбором является непрерывное выращивание культуры. Для двухсезонных эффектов оптимальным выбором является чередование культур. Эти результаты показывают, что двухсезон-

ные севообороты являются более стабильными, и производители должны предпочесть смешанную схему посева.

6.4 Многовариантная структуризация системы цифрового управления эффективностью функционирования автономной организационной системой

Первоочередной задачей при принятии решений является определение лиц, принимающих решения и заинтересованных сторон. Определение лиц, принимающих решения, на ранней стадии процесса сводит разногласия к минимуму по поводу определения проблемы, требований, целей и критериев. Хотя лица, принимающие решения, редко будут участвовать в повседневной работе по оценке, обратная связь от лиц, принимающих решения, жизненно важна на четырех этапах процесса:

1. Определение проблемы.
2. Определение требований.
3. Постановка цели.
4. Разработка критериев оценки.

На рисунке 6.23 показаны этапы процесса принятия решения. Процесс идет сверху вниз, но может вернуться к предыдущему шагу из любой точки процесса при обнаружения новой информации. Задача группы принятия решений – убедиться в том, что все шаги процесса выполняются надлежащим образом [29, 53, 56, 201].

Для реализации первого этапа методики анализа и оценки технологических процессов в растениеводстве был адаптирован метод бинарных решающих матриц. Алгоритм метода заключается в том, что исходными данными является база данных из множества технологий для каждой из культур. Задача состоит в том, чтобы по определенным правилам выбрать нужную технологию, используя такие критерии как почва, климат. Целевой функцией выступает нахождение максимальной суммы бинарных показателей технологии $a_{i,j}$.

$$D_j = \sum a_{i,j} \to \max, \tag{6.8}$$

Рисунок 6.23 — Общий процесс принятия решений

где i – критерий оценки, j – рассматриваемая технология.

$$A = \begin{matrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,j} & \dots & a_{1,m} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,j} & \dots & a_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i,1} & a_{i,2} & \dots & a_{j,j} & \dots & a_{i,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k,1} & a_{k,2} & \dots & a_{k,j} & \dots & a_{k,m} \end{matrix}, \quad i = \overline{1,k},\ j = \overline{1,m}; \tag{6.9}$$

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если удовлетворяет условию}, \\ 0, & \text{если не удовлетворяет условию} \end{cases}.$$

где A – бинарная решающая матрица, k – количество критериев оценки, m – число альтернативных технологий.

В таблице 6.2 приведены сформированные критерии с помощью решающей бинарной матрицы производства растений агропромышленного комплекса.

Таблица 6.2 — Фрагмент двоичной матрицы для выбора технологии возделывания озимой пшеницы

Критерии	Технологии возделывания сельскохозяйственных культур						
	0113	1113	0330	2222	3132	2132	2232
Урожайность:							
40–50 ц/га	1	0	0	0	0	0	0
51–60 ц/га	0	1	0	0	0	0	0
61–70 ц/га	0	0	1	1	0	0	0
71–80 ц/га	0	0	0	0	1	1	0
81–90 ц/га	0	0	0	0	0	0	1
Рентабельность:							
0–50 %	0	0	0	0	0	0	0
51–100 %	0	0	1	0	0	0	0
101–150 %	0	0	0	0	0	0	0
151–200 %	1	0	0	0	0	0	0
201–250 %	0	1	0	1	1	1	1
По эк. признаку							
Природоохр. зона	1	1	0	0	0	0	0
Эк. сильные хоз-ва	0	0	1	1	1	1	1
Эк. средние хоз-ва	0	0	0	0	0	0	0
Эк. слабые хоз-ва	0	0	0	0	0	0	0

Для обозначения технологий введены следующие буквы:

– уровень плодородия земли обозначает первую цифру категории А;

– уровень технологии удобрений обозначает вторую цифру категории Б;

– уровень системы защиты культур обозначает третью цифру категории С;

– уровень системы обработки земли обозначает четвертую цифру категории D.

Для работы алгоритма необходимо пользователем задать требования по всем критериям, например для урожайности ограничения не менее 80 ц/га, цена одного центнера не должна превышать 100 рублей и т. д. Следующий шаг – поиск

строк в бинарной матрице, суммирование по столбцам критериев по всем технологиям (таблица 6.3). Технология с максимальной оценкой является лучшей. Это технологии 2132, 3132.

Таблица 6.3 — Выбор технологии с помощью метода бинарных решающих матриц

Критерии	Технологии возделывания сельскохозяйственных культур						
	0113	1113	0330	2222	3132	2132	2232
Урожайность: 71-80 ц/га	0	0	0	0	1	1	0
Себестоимость 1 ц.: 91-100 руб.	0	0	0	0	1	1	0
Прибыль на 1 руб. затрат: 1,1-1,4 руб.	1	1	0	1	1	1	1
Рентабельность: 201-250 %	0	1	0	1	1	1	1
По экон. признаку: эк. сильные хоз-ва	0	0	1	1	1	1	1
Вид технологии: ресурсосберегающ.	0	0	0	1	1	1	0
Итого:	1	2	1	4	6	6	3

Преимущество подсистемы выборки заключается в том, что матрицы решений покрывают значительную часть практических технологий и выборок по критериям, база данных является реализацией этой модели. Описанный метод, наряду с преимуществами, имеет существенные недостатки:

– состоящие из двух частей матрицы выявляют однозначность ответа в пунктах;

– подсистема будет иметь от трех до пяти вариантов, потому что критерии разбросаны на большом диапазоне и многочисленного числа альтернативных вариантов.

Текущий способ выборки технологии входит в начальных этап процесса подбора решения, отбирая от шести до восьми адаптирующих приемов, выбранных их соответствующей базы данных.

Следующий этап разработанного метода бинарных матриц является внедрение дополнительной многокритериальной экономико-математической модели в уже существующую. Это устранит вышеописанные недостатки, благодаря чему модель получит комплексную оценку технологий производства растений. Метод станет гибридом графического и математических методов. Такой гибрид называется график-паутина, построенная в полярных координатах, которая более наглядна чем диаграмма, построенная в прямоугольных декартовых координатах. Значения параметров отображаются на осях, направленных по радиусам центра окружности к периферии. На рисунке 6.24 приведен пример, объясняющий эту модель, путем визуализации критериев многовариантной структуризации.

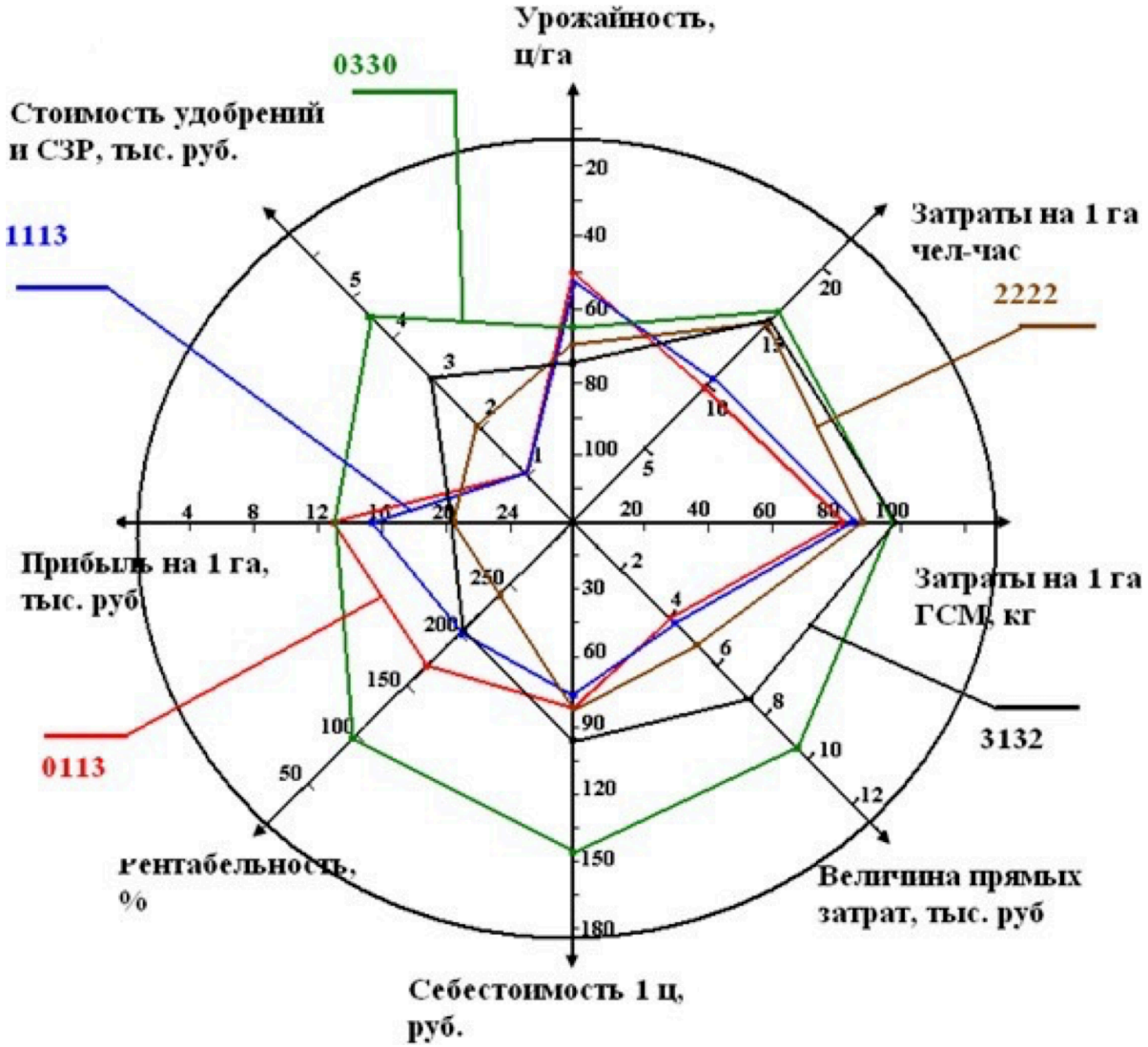

Рисунок 6.24 — Сравнение вариантов технологий возделывания озимой пшеницы с помощью визуализации критериев

График-паутина представляется собой окружность, на которую наносятся восемь критериев, в которых восемь направленных к радиусу шкал. В центре будут располагаться наилучшие результаты, результаты, приближающиеся к окружности, будут самыми худшими. При этом не имеет значения, как проградуированы шкалы – в относительных единицах, графические элементы или словесное описание.

Смысл графика-паутины – показать плавное изменение критериев, окружающее стремление шкал от центра к окружности. На внутренней части круга указываются лучшие значения, на внутренней части круга располагаются худшие решения, которые не могут быть меньше заданного минимума.

Далее на окружности отмечаются оптимальные оценки, выбранные для сравниваемых технологий. Следующий шаг – построить полигон из выбранных точек, для каждой из технологии соответственно. Замкнутый полигон называется графиком-паутиной. На этом графике появляются некорректные треугольники (по количеству сравниваемых технологий), треугольники являются отражением каждой из технологий. Наименьшая паутина на графике является лучшим вариантом.

График-паутина позволяет выявить преимущества и недостатки каждой из технологий, изменение параметра наглядно показывает положительные или отрицательные изменения с помощью площади треугольников. Можно выделить минусы текущего метода:

– фиксированное число сравниваемых технологий не может превышать четыре единицы, в противном случает теряется наглядность графика;

– метод теряет свою эффективность если значения критериев выбора имеют слабы разброс в значениях.

Проведя анализ недостатков, преобразуем график-паутину с использованием предложенного метода интеграционной оптимизации аппарата многовариантной структуризации. Минимизация размеров графика осуществляется с помощью функции:

$$M_j \to \text{extr};\ \text{extr} \in \{\min, \max\}, \tag{6.10}$$

где M_j – участок построенной паутины, который принадлежит одному из исследуемых вариантов технологии, j – порядковый номер технологии.

Наиболее выгодной с точки зрения рассматриваемых критериев окажется та технология, площадь паутины которой будет минимальной.

Для развития алгоритма необходимо ввести ограничения – углы должны быть пронормированы по количеству условий оценки и все должны быть равны между собой.

Переведем все количественные и качественные критерии по школе в безмерные величины в целях вычисления длины от центра до выбранного критерия (таблица 6.4). После проведенный вычислений, получаем площадь каждого n-угольника, каждый из которых состоит из площадей треугольников, полученных рядом распложенными по осями критериями (рисунок 6.25).

Таблица 6.4 — Отрывок шкалы трансформации показателей в безразмерные значения

Урожайность		Себестоимость одного центнера		Прибыль на один гектар		Прибыль на один рубль расходов		Расходы на один гектар	
центнер / Га	безразмерная единица	безразмерная единица	безразмерная единица	руб.	безразмерная единица	руб.	безразмерная единица	чел-час	безразмерная единица
10	1	10	1	10,000	1	0.1	1	20	1
20	2	20	2	11,000	2	0.2	2	19	2
30	3	30	3	12,000	3	0.3	3	18	3
40	4	40	4	13,000	4	0.4	4	17	4
50	5	50	5	14,000	5	0.5	5	16	5
60	6	60	6	15,000	6	0.6	6	15	6
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

$$M_j = \sum_{i=1}^{k} S_i,\ i = \overline{1,k},\ j = \overline{1,m}, \tag{6.11}$$

где i – критерии оценки, k – число условий, m – число сравниваемых альтернативных технологий, S_i – участок треугольника, образованный соседними осями.

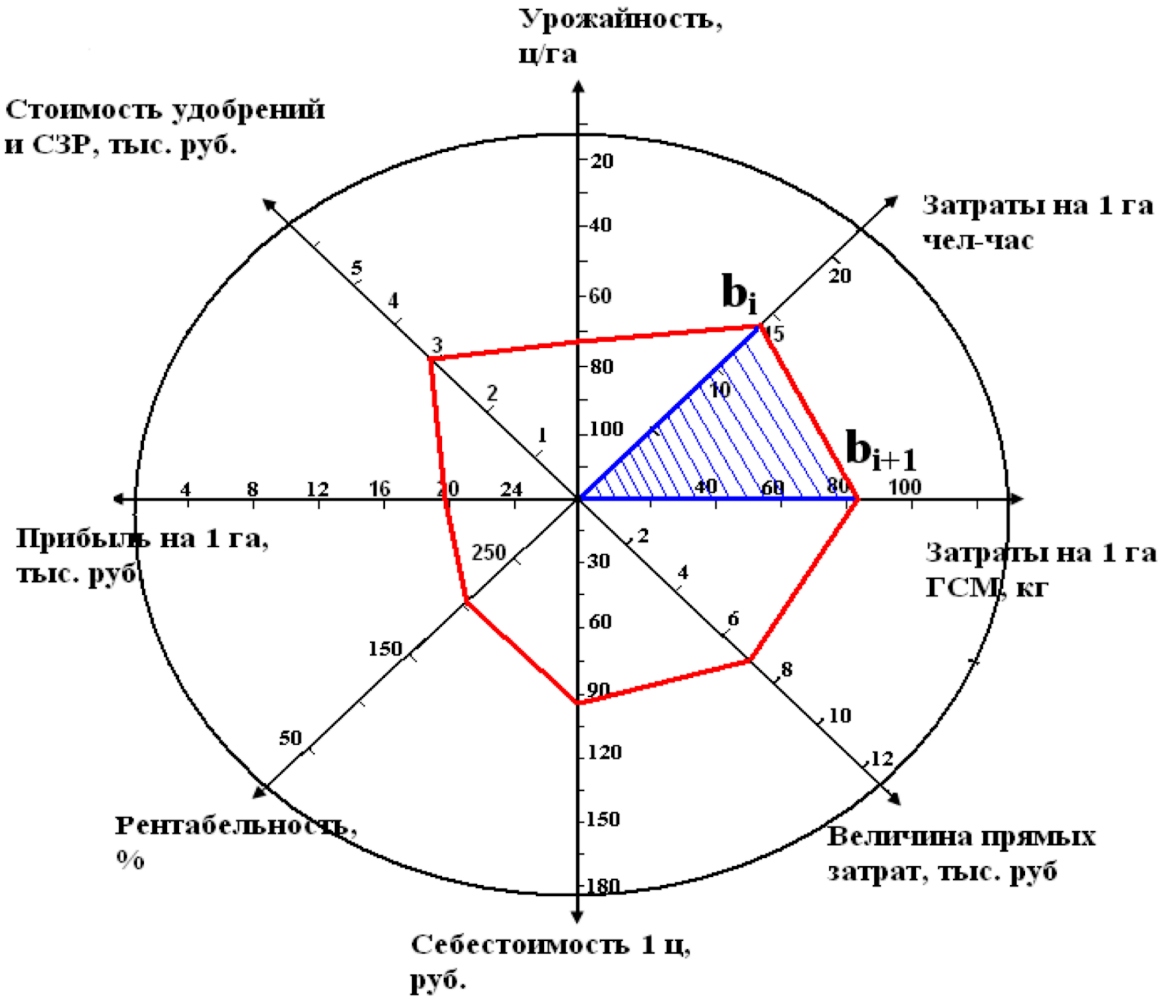

Рисунок 6.25 — Вычисление площади n-угольника

По формуле подсчета площади треугольника к методу, получим:

$$M_j = \sum_{i=1}^{k} \frac{b_i \times b_{i+1} \times \sin\beta}{2}, \tag{6.12}$$

где b_i – длина участка, которая принадлежит критерию исследуемой альтернативы, которая была переведена в безразмерную величину, b_{i+1} – длина участка, который рассчитан на основе рассчитанного критерия (6.10).

Модифицированный математический метод предусматривает более точную оценку вариантов выращивания сельских культур, в рамках математического аппарата многовариантной структуризации.

Разработанный математический метод дает возможность сравнить технологии, результаты критериев, которые могут быть похожими, с ограничением исследуемых технологий в пять единиц.

Проведем переход к заключительной части в виде третьего этапа анализа и технологической оценки бизнес-процессов в сельхозпредприятии.

На практике лицо принимающее решение выбираю технологию выращиванию растений сталкивается с тем, что оценочные критерии имеют разные приоритеты между собой. Для решения поставленной задачи была создана оценочная модель в виде матрицы технологий, основанный на алгоритме метода анализа «Оценочных таблиц». Целевая функция метода – поиск максимума оценочных баллов D n-ой технологии. Целевой функцией алгоритма служит поиск максимума оценочной величины технологии.

$$D_j \to \max\,,$$

где D_j – значениее конечной оценки из всех рассматриваемых критериев.

Модель метода «Таблицы оценок» нетрудно воспроизвести в виде произведения по существующему правилу двух матриц A и B:

$$A = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_n \end{matrix}, \quad B = \begin{matrix} b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,j} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{i,1} & b_{i,2} & \dots & b_{i,j} \end{matrix}. \tag{6.13}$$

Матрица A означает матрицу параметров важности параметров критериев, матрица B представляет собой матрицу значений важности параметров оценочных критериев по всем технологиям, параметр i – это оценочный критерий, j – это исследуемая технология. Оценочная таблица экономико-технологической эффективности бизнес-процессов (матрица C) выводится с помощью умножения параметра весомости критерия a_i на последующие значения строк матрицы B.

$$A \times B = C = \begin{matrix} a_1 \cdot b_{1,1} & a_1 \cdot b_{1,2} & \dots & a_1 \cdot b_{1,j} \\ a_2 \cdot b_{2,1} & a_2 \cdot b_{2,2} & \dots & a_2 \cdot b_{2,j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n \cdot b_{i,1} & a_n \cdot b_{i,2} & \dots & a_n \cdot b_{i,j} \end{matrix}. \tag{6.14}$$

Сокращая текущую формулу «Таблиц оценок» в виде математической модели многовариантной структуризации

$$D_j = \sum a_n \times a_{i,j}. \tag{6.15}$$

Модель открывает возможности к использованию качественных и количественных критериев (качество пшена, длина агрегатов техники механизаторов, показатели урожая).

Ниже построена таблица с проведенным анализом многовариантных технологий, основанных на матричной модели. Лицо, принимающее решение определяет коэффициенты значимых критериев. Для каждого агрокомплекса параметры будут отличаться.

В таблице 6.5 указана переменная $b_{i,j}$, которая является значением критерия оценки по всем технологическим решениями, конвертированную по шкале переводов в условную единицу, измеряющуюся в баллах.

Таблица 6.5 — Пример шкалы конвертации значений показателей в безразмерные единицы

Критерии оценки	Коэф-т важн. крит. a_i	Код технологии					
		0113		1113		0330	
		$b_{i,j}$	$b_{i,j} \cdot a_i$	$b_{i,j}$	$b_{i,j} \cdot a_i$	$b_{i,j}$	$b_{i,j} \cdot a_i$
Урожайность	0.1	5	0.5	5.3	0.53	6.5	0.65
Трудовые затраты	0.1	11.1	1.11	10.9	1.09	3.8	0.38
Стоимость семян	0.1	10.1	1.01	10.1	1.01	10.1	1.01
Себестоимость	0.3	8	2.4	7.7	2.31	14.6	4.38
Прибыль	0.2	5.4	1.08	6.5	1.3	5.5	1.1
Прибыль на 1 руб. затрат	0.2	12.8	2.56	12.6	2.52	16.5	3.3
Сумма балльных оценок	1		8.66		8.76		**10,82**

Перемножая матрицы B и A, получаем критериальную оценку в баллах по всем технологическим решениям. На последнем этапе считаем сумму по столбцам. В итоге получается экономическое эффективное технологическое решение хозяйства выращивания сельхозпродукции.

Система поддержки принятия решений имеет 2 модуля:

– модуль учета технологических решений;

– модуль исследования многовариантных технологий.

При планировании производства составляется оптимальный севооборот. Затем агроному для каждой культуры необходимо выбрать оптимальную технологию возделывания. После авторизации в цифровой среде – информационной системе «Агрополе», пользователь заходит в раздел планирование, затем в технологии возделывания культур.

Затем пользователю необходимо выбрать культуру. После нажатия «выбрать» появится окно со списком технологий и параметрами по каждой из них. На рисунке представлен пример работы данного модуля программы для культуры «озимая пшеница» (рисунок 6.26).

Выбор технологии | Технологии возделывания оз. пшеницы | Результат

	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Тип хозяйства	природо	природо	сильное	сильное	сильное	сильное	сильное	сильное
Номер технологии	0113	1113	0330	2222	3132	2132	2232	1332
Название технологии								
Урожайность зерна, ц/га	50	53	65	70	76	73	83	76
Затраты на 1 га, чел.-час.	9,9	10,12	17,21	15,26	16,89	14,21	20,68	19,44
Затраты на 1 га, ГСМ 1 кг	82,49	85,82	98,43	91,01	99,85	83,72	106,54	105,27
Стоимость прямых затрат, руб.	4041,37	4094,87	9512,59	5724,32	7479,27	7023,11	8414,2	8403,09
в том числе:								
зарплата с начислениями	53,17	54,48	91,41	81,13	85,41	71,34	104,75	104,27
семена	1015	1015	1015	1015	1015	1015	1015	1015
удобрения	564,2	564,2	1944,8	1024,4	564,2	564,2	1024,4	965,9
средства защиты	494,8	494,8	2598,36	1005,6	2598,36	2598,36	2598,36	2598,36
горючее	357,2	524,99	425,56	367,33	403,88	320,97	425,77	434,08
амортизация	289,7	303,59	557,96	441,71	521,47	395,57	612,36	614,24

Рисунок 6.26 — Модуль учета технологий

При нажатии на кнопку «создать» откроется окно с созданием новой технологии. При нажатии на кнопку «редактировать» пользователь может изменять параметры выбранной технологии. После заполнения соответствующих параметров необходимо нажать «сохранить» для сохранения изменений.

Рассмотрим модуль «анализа альтернативных технологий».

В данном модуле реализованы три этапа разработанной математической методики анализа технологических приемов аппарата многовариантной структури-

зации. При переходе во вкладку «выбор технологии» агроному необходимо задать требуемые критерии и нажать «выбрать» Из базы данных отбираются несколько различных технологий, которые дают максималные суммы по выбранным критериям (рисунок 6.27).

Критерии	Технологии возделывания сельскохозяйственных культур						
	0113	1113	0330	2222	3132	2132	2232
Урожайность: 71-80 ц/га	0	0	0	0	1	1	0
Себестоимость 1ц 91-100 руб.	0	0	0	0	1	1	0
Приб на 1 руб затр 1,1-1,4 руб.	1	1	0	1	1	1	1
Рентабельность: 201-250%	0	1	0	1	1	1	1
По экон. признаку эк. сильные хоз-ва	0	0	1	1	1	1	1
Вид технологии: Ресурсосберегающ	0	0	0	1	1	1	0
ИТОГО:	**1**	**2**	**1**	**4**	**6**	**6**	**3**

Рисунок 6.27 — Первый этап многовариантной структуризации при отборе технологий

Далее необходимо выбрать метод для дальнейшего анализа выбранных технологий. Рассмотрим реализацию графического метода аппарата многовариантной структуризации (рисунок 6.28):

– на основании выбранных агрономом хозяйства параметров отбора технологии, из базы данных технологий загружаются таблицы с экономическими характеристиками по каждой из технологий, на основании которых строится график-паутина;

– система производит расчет площадей фигур каждой технологии, что позволяет не только визуально, но и математически определить наиболее подходящую технологическую систему производства продукции растениеводства.

На практике экономические коэффициенты несут разную значимость, поэтому агрономом задаются параметры для каждого коэффициента. В каждом хозяйстве устанавливаются свои критерии значимости.

	Интенсивная	Ресурсосбер	Экологическ	Интенсивная	Интенсивная
1. Урожайность зерна ц/Га:	64	47,8	42,3	63,5	60
2. Стоимость семян руб.:	4320	4320	4320	4320	4320
3. Удобрения и СЗР руб.:	560	560	685,26	560	560
4. Стоимость ГСМ руб.:	401,2	253,3	253,3	380,9	385
5. Себестоимость 1 ц руб.:	177,4	223,3	256,9	210	190,4
6. Рентабельность %:	116,4	59,2	42,5	60,3	117
7. Прибыль на 1 рубль затрат руб.:	1	3	2	5	4
8. Прибыль на 1 Га руб.:	1,55	1,87	1,99	1,43	1,99

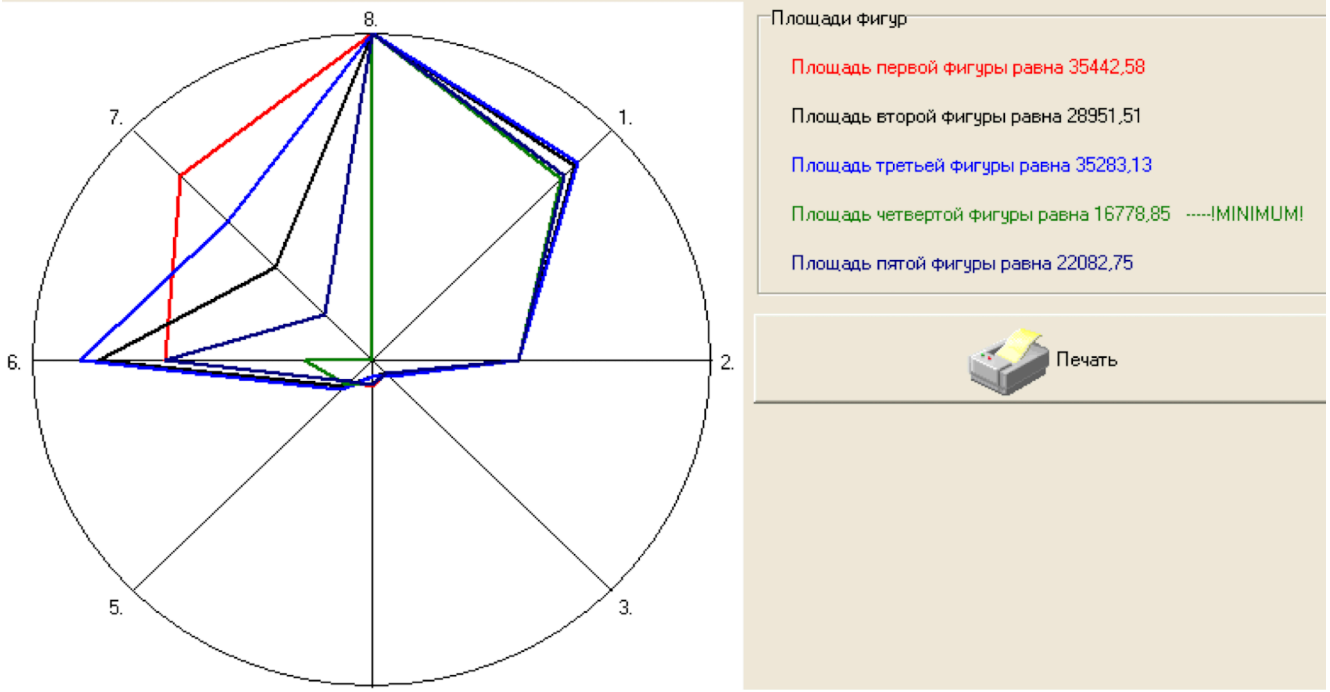

Рисунок 6.28 — Графический метод многовариантной структуризации

Рассмотрим реализацию метода интеграционной оптимизации:

– на основании выбранных агрономом хозяйства параметров отбора технологии, из базы данных технологий загружаются таблицы с экономическими характеристиками по каждой из технологий, на основании которых строится таблица оценок технологий (рисунок 6.29);

– агрономом задается также весовой коэффициент каждого из критериев, что позволяет рассматривать критерии отбора как неравновесные между собой;

– на основании матричной модели анализа технологий, системы рассчитывает весовой коэффициент каждой из технологий, и выделяет наиболее подходящий при выбранной значимости критериев;

– имеется возможность выгрузки таблицы оценок в текстовый документ и вывода его на печать.

Критерий	Значимость	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3	Вариант №4	Вариант №5
1. Урожайность зерна (300-0) ц/Га:	0,1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10
2. Стоимость семян (0-10000) руб.:	0,1	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3. Удобрения и СЗР (0-10000) руб.:	0,2	1,20	1,00	1,20	1,40	1,60
4. Стоимость ГСМ (0-5000) руб.:	0,1	0,90	0,90	0,40	0,90	0,90
5. Себестоимость 1 ц (0-2000) руб.:	0,5	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
6. Рентабельность (300-0) %:	0,8	3,20	2,40	5,60	6,40	4,00
7. Прибыль на 1 рубль затрат (5-0) руб.:	0,8	3,20	1,60	1,60	1,60	1,60
8. Прибыль на 1 Га (100000-0) руб.:	0,8	0,80	0,80	1,60	1,60	0,80
ИТОГО		14,80	12,20	15,90	17,40	14,30

Рисунок 6.29 — Оценка вариантов технологий возделывания культуры

Таким образом, вышеописанный комплекс программ представляет собой цифровую среду управления организационной системой аграрного профиля и реализует модели и алгоритмы теоретических разработок 3 и 4 глав диссертации.

С его помощью можно проводить оптимизацию структуры организационной системы, компонентов цифровой среды управления, распределять ресурсное обеспечение на поддержание функционирования и развитие информационной системы, оптимизировать систему управления технологическими процессами, определяющими эффективность работы организационной системы предприятия.

Внедрение цифровой среды «Агрополе» в организационные системы аграрного профиля позволяет сократить затраты на ресурсное обеспечение и позволяет управленческому аппарату принимать научно-обоснованные решения и тем самым повысить экономическую эффективность за счет уменьшения потерь рабочего времени и непроизводственных затрат, улучшения использования человеческих ресурсов.

Сокращение затрат ручного труда на обработку информации об основных показателях работы предприятия, вкладе каждого менеджера, оцениваемого по рассчитываемому KPI, позволяет сократить циклы управления в цифровизированной организационной системе аграрного профиля.

Снижение циклов управления повысит устойчивость и эффективность цифровизированной организационной системы, так как повышается обратная связь из-за уменьшения реакции системы, затрачиваемого на контроль выбранных управляющих воздействий.

По результатам экспериментального тестирования и опытной эксплуатации цифровой среды управления выявлено снижение материальных и временных затрат, связанных со структурой и методикой управления подразделениями организации, на 25–30%. Причем, методики и технологии, положенные в основу программного комплекса, определяют пути дальнейших исследований с целью повышения эффективности работы системы, построения прогностических, нейросетевых моделей на основе накопленных данных о фактически достигнутых результатах организации для принятия научно-обоснованных решений управленческим аппаратом [151, 194, 195, 207].

Программный комплекс «Агрополе» внедрен в ряде предприятий аграрного профиля Воронежской области, используется в департаменте аграрной политики Администрации Воронежской области, используется в образовательном процессе Воронежского государственного университета, деятельности Центра прикладных исследований «Проектирование и разработка информационных систем» в процессе акселерации студенческих стартапов.

Выводы шестой главы

1. На основе проведенной характеризации компонентов цифровой среды управления автономной организационной системы определены основные варианты реализации модулей, возможные программные платформы и стыки технологий для альтернативных вариантов реализации системы. Проведен анализ зависимости реализованных вариантов модулей на эффективность функционирования и возможность развития цифровой среды.

2. На основе план-фактного анализа показателей работы организации аграрного профиля формируются требования к показателям эффективности функционирования цифровизированной системы, которые используются для выработ-

ки управляющий воздействий на организационную структуру предприятия, цифровую среду управления и экономические характеристики. Это позволяет провести оптимизацию управления на основе предложенных методов многовариантной структуризации.

3. Многовариантная структуризация системы цифрового управления севооборотом, как одного из главных направлений деятельности управленческого аппарата аграрного предприятия, позволяет выработать оптимальные управляющие воздействия на основе корректировки формируемых сменных заданий сотрудникам и менеджерам предприятия.

4. Программный комплекс цифровизации управления организационной системой агропромышленного предприятия «Агрополе» предназначен для решения задач оперативного управления, планирования, контроля деятельности сотрудников на основе их KPI, вычисляемых в системе, решения задач многовариантной структуризации и оптимизации ресурсного обеспечения автономной организационной системы аграрного профиля. Его использование подтвердило повышение эффективности работы такой цифровизированной организационной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена научная проблема оптимизации управления в цифровизированных организационных системах на основе предложенного аппарата многовариантной структуризации, имеющая важное социально-экономическое и хозяйственное значение для развития страны.

Основные результаты диссертационного исследования состоят в следующем:

1. Дана характеристика развивающейся цифровой среды, ориентированной на повышение эффективности управления в организационных системах в условиях интенсивной цифровизации. Проведен анализ путей повышения эффективности управления в организационных системах, интегрированных с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений. Осуществлена структуризация взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы в развивающейся цифровой среде управления.

2. Сформированы принципы многовариантной структуризации, определяющие концептуальную основу оптимизации развивающейся цифровой среды управления при выборе компонентных и интеграционных решений и распределения ресурсного обеспечения на функционирование и развитие цифровизированной организационной системы.

3. Осуществлено формализованное описание задачи компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды управления, использующая принципы многовариантной интеграции и экспертные оценки влияния реализаций компонентов на достижение установленного уровня показателей эффективности организационной системы.

4. Сформированы оптимизационные модели и алгоритмы интеграции компонентов в развивающейся цифровой среде, их кластерного упорядочивания и установления последовательности взаимодействия. Предложенные методы реализованы в виде программной системы многовариантной структуризации в цифровой среде «Агрополе» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20216666399 от 27.09.2021).

5. Разработаны модели и алгоритмы оптимизации распространения ресурсного обеспечения по временным интервалам функционирования и развития цифровой среды управления в организационных системах. Предложенные методы реализованы в виде программной системы оптимизации ресурсного обеспечения в цифровой среде «Агрополе» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021667431 от 14.12.2022).

6. Сформированы модель и алгоритм синхронизации объемов ресурсного обеспечения на эффективное функционирование и развитие цифровой среды управления в организационных системах, направленные на обеспечение устойчивого характера процесса принятия управленческих решений в переходных ситуациях компонентных изменений.

7. Проведена оценка эффективности применения разработанных принципов, моделей и алгоритмов в практике цифровизированного управления в организационных системах. Так, при реализации предложенных методов в цифровой среде управления организационной системой аграрного профиля «Агрополе» улучшились следующие показатели эффективности организационной системы: сократились затраты на сезонное финансирование компании на 12,5% при достижении лучших экономических показателей; сократилась численность организационной структуры компании на 6,4% и улучшились KPI сотрудников; сократились затраты на сопровождение информационной корпоративной системы на 18% при увеличении жизненного цикла работы отдельных компонентов программного обеспечения в условиях использования Open Source программных продуктов.

8. Полученные в диссертационной работе результаты целесообразно продолжить и использовать для оптимизации построения цифровой среды управления в других классах организационных систем, в первую очередь в многообъектных органнизационных системах и системах в других отраслях. Развитие методов и средств оптимального построения цифровой среды перспективны для применения в смежных научных областях: разработка программного обеспечения информационных систем, разработка программного обеспечения вычислительных систем, комплексов и сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Berkes F.* Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience / F. Berkes, C. Folke, J. Colding. — Cambridge University Press, 2000. — 476 p.

2. *Bolman L. G.* Reframing organisations: artistry, choice and leadership / L. G. Bolman, T. E. Deal. — 6th edition. — San Francisco : Jossey-Bass Publishers, 2017. — 492 p.

3. *Brooks F. J.* The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering / F. J. Brooks. — 2nd Edition. — Addison-Wesley Professional, 1995. — 336 p.

4. *Dell'Anna D.* Requirements-driven evolution of sociotechnical systems via probabilistic reasoning and hill climbing / D. Dell'Anna, F. Dalpiaz, M. Dastani // Automated Software Engineering. — 2019. — Vol. 26. — P. 513–557.

5. *Donges N.* Random Forest Classifier: A Complete Guide to How It Works in Machine Learning [Electronic Resource] / N. Donges // Builtin. —. — Режим доступа: https://builtin.com/data-science/random-forest-algorithm.

6. *Eichfelder G.* Adaptive Scalarization Methods in Multiobjective Optimization / G. Eichfelder. — Springer Berlin, 2008. — 241 p.

7. *Erl T.* Service-Oriented Architecture (SOA): Concepts, Technology and Design / T. Erl. — Prentice Hall, 2005. — 760 p.

8. Executing SOA: A Practical Guide for the Service-Oriented Architect / N. Bieberstein [et al.]. — IBM Press, 2008. — 240 p.

9. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology // IEEE Std 610.12-1990. — 1990. — P. 1–84.

10. *Jacobson I.* The Essence of Software Engineering: Applying the SEMAT Kernel / I. Jacobson. — Addison-Wesley Professional, 2013. — 344 p.

11. *Klotins E.* Software engineering in start-up companies: An analysis of 88 experience reports / E. Klotins, M. Unterkalmsteiner, T. Gorschek // Empirical Software Engineering. — 2019. — Vol. 24, no. 1. — P. 68–100.

12. *Kruchten P.* The Rational Unified Process: An Introduction / P. Kruchten. — 3rd Edition. — Addison-Wesley Professional, 2003. — 332 p.

13. Managed Software Evolution / R. Reussner [et al.]. — Springer Cham, 2019. — 426 p.

14. *Miettinen K.* Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive Approaches / K. Miettinen, F. Ruiz, A. P. Wierzbicki // Multiobjective Optimization. — 2008.

15. Optimization of the level of components functionality of developing software systems / Y. E. Lvovich [et al.] // Revista San Gregorio. — 2020. — No. 41. — P. 222.

16. Performance Indicators: Good, Bad, and Ugly / S. M. Bird [et al.] // Journal of the Royal Statistical Society Series A (Statistics in Society). — 2004. — 168(1). — P. 1–27.

17. *Przybyłek A.* An empirical study on the impact of AspectJ on software evolvability / A. Przybyłek // Empirical Software Engineering. — 2018. — No. 23. — P. 2018–2050.

18. *Ryndin A. A.* Approaches to the quality assessment of software system design in the development of innovative solutions / A. A. Ryndin, N. A. Ryndin, S. V. Sapegin // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. — 2020. — Vol. 9, no. 4. — P. 5266–5271.

19. *Ryndin N. A.* Features of software clustering in the control loop of large information systems : Proceedings of the XXVIII-th International Open Science Conference / N. A. Ryndin // Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2023'SCT). — Yelm, WA, USA : Science Book Publishing House LLC, 2023. — P. 63–80.

20. *Ryndin N. A.* Optimization of the developing digital management environment based on the principles of multivariate structuring / N. A. Ryndin // Modern informatization problems in economics and safety (MIP-2022ES). Proceedings of the XXVII-th International Open Science Conference / ed. by O. J. Kravets. — Yelm, WA, USA, 2022. — P. 75–81.

21. *Ryndin N. A.* Conceptual foundations for the development of developing software systems using multivariate synthesis of design solutions / N. A. Ryndin, I. A. Aksenov // Journal of Physics: Conference Series. 3. Cep. ”III International Scientific Con-

ference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering, APITECH-III 2021 - Cybernetics and IT”. — 2021.

22. *Ryndin N. A.* Research of scalability and stability of tools of digitalized organizational systems : Proceedings of the XXVIII-th International Open Science Conference / N. A. Ryndin, D. A. Danilov // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2023’as). — Yelm, WA, USA : Science Book Publishing House LLC, 2023. — P. 182–193.

23. *Ryndin N. A.* Multivariate synthesis of design solutions for the optimal software systems development / N. A. Ryndin, O. Y. Frantsisko // AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. — Melville, New York, United States of America, 2021.

24. *Ryndin N. A.* Optimization approach to automation of multiple-path synthesis of design solutions in the integrated design of evolving systems / N. A. Ryndin, A. A. Ryndin, S. V. Sapegin // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. — 2019. — Vol. 16, no. 12. — P. 5364–5369.

25. *Ryndin N. A.* Component design of the complex software systems, based on solutions multivariant synthesis / N. A. Ryndin, S. V. Sapegin // SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. — 2021. — Vol. 69, no. 12. — P. 280–286.

26. *Ryndin N. A.* A methodological framework for rationalization of building information systems / N. A. Ryndin, S. V. Sapegin, A. A. Ryndin // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. — 2019. — Vol. 16, no. 7. — P. 2776–2779.

27. Анализ функционирования и структурная декомпозиция информационных систем специального назначения / В. И. Сумин [и др.] // Научно-техническая информация. Серия 2 : Информационные процессы и системы. — 2021. — № 8. — С. 5—14.

28. *Андреев Ю. С.* Промышленный интернет вещей : учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. С. Андреев, С. Д. Третьяков. — СПб. : Университет ИТМО, 2019. — 54 с. — Режим доступа: https://books.ifmo.ru/file/pdf/2549.pdf.

29. *Балдин К. В.* Управленческие решения : учебник для бакалавров / К. В. Балдин, С. Н. Воробьев, В. Б. Уткин. — М. : Дашков и К, 2020. — 495 с.

30. *Баркалов С. А.* Методы агрегирования в управлении проектами / С. А. Баркалов, В. Н. Бурков, Н. М. Гилязов. — М. : ИПУ РАН, 1999. — 55 с.

31. *Батищев Д. И.* Принятие оптимальных решений в экономических задачах / Д. И. Батищев. — Горький : Изд-во ГГУ, 1982. — 416 с.

32. *Батищев Д. И.* Оптимизация в САПР / Д. И. Батищев, Я. Е. Львович, В. Н. Фролов. — М. : Высшая школа, 1977. — 421 с.

33. *Белецкая С. Ю.* Алгоритмизация слабоформализованных задач оптимального выбора на основе адаптивного подхода / С. Ю. Белецкая ; под ред. Я. Е. Львовича. — Воронеж : ВГТУ, 2003. — 148 с.

34. *Беллман Р.* Некоторые вопросы математической теории процессов управления : пер. с англ. В. В. Величенко и Л. А. Тененбаума / Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс ; под ред. М. А. Айзермана, Р. В. Гамкрелидзе. — М. : Изд-во иностр. лит., 1962. — 336 с.

35. *Бешелев С. Д.* Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. — М. : Статистика, 1980. — 264 с. — (Математическая статистика для экономистов).

36. *Бонгард М. М.* О понятии «полезная информация» / М. М. Бонгард // Проблемы кибернетики. — 1968. — № 9. — С. 71—102.

37. *Бондарев Я. П.* Интеллектуализация управления изменениями в деятельности вуза на основе мониторинго-рейтинговой информации [Электронный ресурс] / Я. П. Бондарев, Я. Е. Львович // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 3. — Режим доступа: https://science-education.ru/ru/article/view?id=9162.

38. *Борсут Р. М.* Цифровые сети проводной связи и распределения информации / Р. М. Борсут. — М. : Моск. техн. ун-т связи и информат., 1993. — 200 с.

39. *Бурков В. Н.* Механизмы функционирования организационных систем / В. Н. Бурков, В. В. Кондратьев. — М. : Наука, 1991. — 584 с.

40. *Бурков В. Н.* Механизмы управления в сетевых структурах / В. Н. Бурков, Н. А. Кузнецов, Д. А. Новиков // Автоматика и телемеханика. — 2002. — № 12. — С. 96—115.

41. *Бурков В. Н.* Основы математической теории активных систем / В. Н. Бурков. — М. : Наука, 1977. — 225 с.

42. *Бурков В. Н.* Модель согласования интересов в задаче управления проектами / В. Н. Бурков, С. А. Баркалов // Математическое моделирование информационных и технологических систем. — 2003. — № 2. — С. 58—60.

43. *Бурков В. Н.* Как управлять проектами / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. — М. : Синтег, 1997. — 188 с.

44. *Бьюли Р.* Системный подход к моделированию уравнений предложения в сельском хозяйстве / Р. Бьюли, Т. Янг, К. Д. // Журнал сельскохозяйственной экономики. — 1987. — С. 151—166.

45. *Вайл П.* Цифровая трансформация бизнеса : пер. с англ. / П. Вайл, С. Ворнер. — М. : Альпино Паблишер, 2022. — 258 с.

46. *Вендров А. М.* CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А. М. Вендров. — М. : Финансы и статистика, 1998. — 176 с.

47. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М. : Наука, 1969. — 368 с.

48. *Вильсон А.* Энтропийные методы моделирования сложных систем : пер. с англ. / А. Вильсон. — М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. — 248 с.

49. *Витминский В. В.* Анализ, оценка и моделирование экономического рейтинга / В. В. Витминский. — К. : ДЕМИУР, 2006. — 216 с.

50. *Волкова В. Н.* Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В. Н. Волкова, В. А. Воронков, А. А. Денисов. — М. : Радио и связь, 1983. — 248 с.

51. *Вольский В. И.* Голосование в малых группах / В. И. Вольский, З. М. Лезина. — М. : Наука, 1991. — 192 с.

52. *Гаврилова Т. А.* Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т. А. Гаврилова, К. Р. Червинская. — М. : Радио и связь, 1992. — 200 с.

53. *Гапоненко Т. В.* Управленческие решения / Т. В. Гапоненко. — Ростов н/Д. : Феникс, 2008. — 288 с. — (Высшее образование).

54. *Гарусин М. И.* О формировании адаптивных алгоритмов оптимизации псевдобулевых функций на основе метода локальных улучшений / М. И. Гарусин, А. И. Каплинский // Автоматика и телемеханика. — 1976. — № 9. — С. 96—104.

55. *Голубков Е. П.* Технология принятия управленческих решений / Е. П. Голубков. — М. : Дело и Сервис, 2005. — 544 с.

56. *Гончарова О. И.* Система управления и контроля работы сельскохозяйственного предприятияв условиях использования в северных территориях / О. И. Гончарова, Н. А. Рындин, А. В. Евдокимов // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. Материалы международной научно-практической конференции / под ред. В. И. Прядкина. — 2018. — С. 265—269.

57. *Грановская Р. М.* Интуиция и искусственный интеллект / Р. М. Грановская, И. Я. Березная. — Л. : Издательство Ленинградского университета, 1991. — 272 с.

58. *Гретченко А. И.* Цифровая платформа: новая бизнес-модель в экономике России / А. И. Гретченко, И. В. Горохова // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. — 2019. — 1 (103). — С. 62—72.

59. *Гумеров Э. А.* Киберфизические системы промышленного Интернета вещей / Э. А. Гумеров, Т. В. Алексеева // Прикладная информатика. — 2021. — Т. 16, 2 (92). — С. 72—81.

60. *Гурин Л. С.* Задачи и методы оптимального распределения ресурсов / Л. С. Гурин, Я. С. Дымарский, А. Д. Меркулов. — М. : Советское радио, 1968. — 463 с.

61. *Донец А. М.* Автоматизированный анализ и оптимизация конструкций и технологии РЭА / А. М. Донец, Я. Е. Львович, В. Н. Фролов. — М. : Радио и связь, 1983. — 208 с.

62. *Дуканич Л. В.* Рейтинговое управление экономическими системами и процессами: концепция и некоторые результаты применения / Л. В. Дуканич, А. С. Тимченко // Экономический вестник Ростовского государственного университета. — 2005. — Т. 3, № 3. — С. 83—91.

63. *Евгенев Г. Б.* Основы автоматизации технологических процессов и производств : в 2 томах / Г. Б. Евгенев, Е. Н. Хоботов, С. С. Гаврюшин ; под ред. Г. Б. Евгенева. — М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 480 с.

64. *Емельянов С. В.* Многокритериальные модели принятий решений / С. В. Емельянов, О. И. Ларичев. — М. : Наука, 1985. — 312 с.

65. *Ершов Ю. П.* Теория нумераций / Ю. П. Ершов. — М. : Наука, 1977. — 416 с.

66. *Жаке-Лагрез Э.* Применение размытых отношений при оценке предпочтительности распределенных величин / Э. Жаке-Лагрез // Статистические модели и многокритериальные задачи принятия решений. — 1979. — С. 168—183.

67. *Заде Л. А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. — М. : Мир, 1976. — 165 с.

68. *Захаров В. Н.* Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения / В. Н. Захаров // Теории и системы управления. — 1997. — № 3. — С. 138—145.

69. *Иващенко А. В.* Организационная структура смешанной интегрированной информационной среды цифрового предприятия / А. В. Иващенко, Т. В. Никифорова // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». — 2021. — Т. 1. — С. 40—42.

70. *Иващенко А. В.* Рациональное применение систем искусственного интеллекта при цифровой трансформации производственного предприятия / А. В. Иващенко, Т. В. Никифорова // Современные наукоемкие технологии. — 2021. — № 10. — С. 48—52.

71. *Иващенко А. В.* Цифровизация организационной структуры управления производственным предприятием / А. В. Иващенко, Т. В. Никифорова // Изве-

стия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2021. — Т. 23, 2 (100). — С. 46—50.

72. *Ингланд Р.* Введение в реальный ITSM : пер. с англ. / Р. Ингланд. — М. : Лайвбук, 2010. — 132 с.

73. *Ингланд Р.* Овладевая ITIL : пер. с англ. / Р. Ингланд. — М. : Лайвбук, 2011. — 200 с.

74. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания : Справочник / под ред. А. И. Губинского, В. Г. Евграфова. — М. : Машиностроение, 1993. — 528 с.

75. Информационные системы и технологии / под ред. Ю. Ф. Тельнова. — М. : Юнити, 2017. — 303 с.

76. Искусственный интеллект. в 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник. Т. 2 / под ред. Д. А. Поспелов. — М. : Радио и связь, 1990. — 304 с. — (Искусственный интеллект).

77. *Калмыков А. А.* Математические модели оптимизации структуры телекоммуникационных систем / А. А. Калмыков, Н. А. Рындин // Информационные технологии. — 2006. — № 12. — С. 50—54.

78. *Калянов Г. Н.* CASE структурный системный анализ (автоматизация и применение) / Г. Н. Калянов. — М. : Лори, 1996. — 242 с.

79. *Кантор М.* Управление программными проектами. Практическое руководство по разработке успешного программного обеспечения : пер. с англ. / М. Кантор. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. — 176 с.

80. *Каплан Р.* Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию : пер. с англ. / Р. Каплан, Д. Нортон. — М. : Олимп-Бизнес, 2017. — 320 с.

81. *Каплинский А. И.* Об одном способе построения адаптивных алгоритмов решения задач оптимизации с булевыми переменными / А. И. Каплинский, Г. Д. Чернышова // Автоматика и телемеханика. — 1976. — № 10. — С. 66—77.

82. *Карелина И. Г.* Мониторинг деятельности образовательных организаций – инициатива системных изменений в высшем образовании / И. Г. Карелина,

А. Б. Соболев, С. О. Сорокин // Высшее образование сегодня. — 2015. — № 7. — С. 55—61.

83. *Каширина И. Л.* Оптимизационное моделирование редукции сетевых систем с кластерной структурой / И. Л. Каширина, Я. Е. Львович, С. О. Сорокин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2015. — № 3. — С. 62—67.

84. *Каширина И. Л.* Ресурсная оптимизация эффективности сетевых систем с кластерной структурой / И. Л. Каширина, Я. Е. Львович, С. О. Сорокин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2015. — № 1. — С. 39—43.

85. *Каширина И. Л.* Интегральное оценивание эффективности сетевых систем с кластерной структурой / И. Л. Каширина, Я. Е. Львович, С. О. Сорокин // Экономика и менеджмент систем управления. — 2015. — № 1. — С. 330—337.

86. *Квейд Э.* Анализ сложных систем / Э. Квейд ; под ред. И. И. Андреева, И. М. Верещагина. — М. : Советское радио, 1969. — 520 с.

87. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания : пер. с англ. / Л. Клейнрок ; под ред. В. И. Неймана. — М. : Машиностроение, 1979. — 432 с.

88. *Клир Д.* Системология. Автоматизация решения системных задач : пер. с англ. / Д. Клир. — М. : Радио и связь, 1990. — 544 с.

89. *Козырев А. Н.* Цифровая экономика и цифровизация в исторической ретроспективе / А. Н. Козырев // Цифровая экономика. — 2018. — 1 (1). — С. 5—19.

90. *Колесов Ю. Б.* Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем / Ю. Б. Колесов. — СПб. : СПбГПУ, 2004. — 240 с.

91. *Корбут А. А.* Дискретное программирование / А. А. Корбут, Е. Ю. Финкельштейн. — М. : Наука, 1969. — 368 с.

92. *Корнышев Ю. Н.* Теория распределения информации : учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Корнышев, Г. Л. Фань. — М. : Радио и связь, 1985. — 184 с.

93. *Котлер Ф.* Маркетинг, менеджмент : пер. с англ. / Ф. Котлер, К. Л. Келлер. — 12-е изд. — СПб. : Питер, 2011. — 816 с.

94. *Котов В. Е.* Теория схем программ / В. Е. Котов, В. К. Сабельфельд. — М. : Наука, гл. ред. физ-мат. лит., 1991. — 248 с.

95. *Крючин О. В.* Прогнозирование временных рядов с помощью искусственных нейронных сетей и регрессивных моделей на примере прогнозирования котировок валютных пар / О. В. Крючин // Исследования в России. — 2010. — № 30. — С. 354—362.

96. *Ларичев О. И.* Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития / О. И. Ларичев, А. Б. Петровский // Итоги науки и техники. Серия : Техническая кибернетика. — 1987. — Т. 21. — С. 131—164.

97. *Ларман К.* Применение UML и шаблонов проектирования : пер. с англ. / К. Ларман. — 2-е издание. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. — 624 с.

98. *Леденева Т. М.* Моделирование процесса агрегирования информации в целенаправленных системах / Т. М. Леденева. — Воронеж : Изд-во ВГТУ, 1999. — 155 с.

99. *Липаев В.* Анализ качества баз данных [Электронный ресурс] / В. Липаев // Открытые системы. СУБД. — 2002. — № 3. — Режим доступа: https://www.osp.ru/os/2002/03/181272.

100. *Литвак Б. Г.* Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. — М. : Радио и связь, 1982. — 184 с.

101. *Литвак Б. Г.* Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. — М. : Патент, 1996. — 284 с.

102. *Лойко В. И.* Модель экономической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур / В. И. Лойко, Л. О. Великанова, В. В. Ткаченко // Труды КубГАУ. — 2009. — № 18. — С. 18—22.

103. *Львович И. Я.* Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения / И. Я. Львович, Я. Е. Львович, В. Н. Фролов. — Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2016. — 444 с.

104. *Львович И. Я.* Исследование систем организационного управления : учебное пособие / И. Я. Львович ; под ред. Я. Е. Львовича. — Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. техн. ун-та, 2001. — 177 с.

105. *Львович И. Я.* Оптимизация распределения ресурсным обеспечением и материальными потоками в конкурентоспособном производстве / И. Я. Львович, Н. В. Федоркова. — Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2014. — 108 с.

106. *Львович Я. Е.* Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Я. Е. Львович. — Воронеж : Издательство «Кварта», 2006. — 415 с.

107. *Львович Я. Е.* Оптимальная интеграция алгоритмов и программ проектирования и контроля для разработки эффективных САПР ИЭТ / Я. Е. Львович, А. А. Рындин // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. — 1990. — Т. 33, № 6. — С. 66—70.

108. *Львович Я. Е.* Лингвистическая модель информационно-поисковой системы / Я. Е. Львович, Т. М. Леденева, Т. Н. Винокурова // Информационные технологии. — 2000. — № 11.

109. *Львович Я. Е.* Принятие решений в экспертно-виртуальной среде : монография / Я. Е. Львович, И. Я. Львович. — Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2010. — 140 с.

110. *Львович Я. Е.* Оптимизация цифрового управления в организационных системах : коллективная монография / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, О. Н. Чопоров ; под ред. Я. Е. Львовича. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. — 191 с.

111. *Львович Я. Е.* Автоматизация сбора начальной проектной информации и выявления существующих технических и организационных политик при построении телекоммуникационных систем / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2004. — № 3/4. — С. 5—8.

112. *Львович Я. Е.* Алгоритм оптимального распределения ресурсного обеспечения на стадии развития и функционирования цифровой среды управления /

Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Системы управления и информационные технологии. — 2022. — 3(89). — С. 54—61.

113. *Львович Я. Е.* Информационные технологии оптимизации цифровой среды в непрерывной подготовке ИТ-специалистов / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Информационные технологии в образовании. — 2021. — № 4. — С. 151—157.

114. *Львович Я. Е.* Оптимизация развивающейся цифровой среды управления в организационных системах / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2021). Сборник научных статей по материалам XVIII Международной научно-технической конференции. — Пенза, 2021. — С. 66—70.

115. *Львович Я. Е.* Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадиях развития и функционирования цифровизированных организационных систем / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Информационные технологии. — 2022. — Т. 28, № 6. — С. 294—301.

116. *Львович Я. Е.* Формализованное описание процесса оптимального построения корпоративных информационных систем / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2003. — № 3—3. — С. 10—13.

117. *Львович Я. Е.* Оптимизационное моделирование процесса многовариантной структуризации при управлении в организационных системах / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин, Ю. С. Сахаров // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. — 2022. — № 4. — С. 75—78.

118. *Львович Я. Е.* Оптимизация распределения ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин, Ю. С. Сахаров // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. — 2021. — № 4. — С. 106—114.

119. *Любарский Ю. Я.* Интеллектуальные информационные системы / Ю. Я. Любарский. — М. : Наука, гл. ред. физ-мат. лит., 1980. — 232 с.

120. *Малышев Н. Г.* Основы интеллектуализации процессов проектирования / Н. Г. Малышев, Н. В. Мицук. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 263 с.

121. *Мартин Н.* Математическая теория энтропии : пер. с англ. В. А. Каймановича / Н. Мартин, Д. Ингленд ; под ред. А. М. Вершина. — М. : Мир, 1988. — 350 с.

122. *Масленников В. В.* Формирование системы цифрового управления организацией / В. В. Масленников, Ю. В. Ляндау, Н. А. Калинина // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. — 2019. — № 6. — С. 116—123.

123. *Месарович М.* Общая теория систем: математические основы : пер. с англ. / М. Месарович, Я. Такахара. — М. : Мир, 1978. — 312 с.

124. *Мимиконов А. Г.* Синтез оптимальных модульных систем обработки данных / А. Г. Мимиконов, В. В. Кульба. — М. : Наука, 1986. — 326 с.

125. *Миркин Б. Г.* Проблемы группового выбора / Б. Г. Миркин. — М. : Наука, 1974. — 256 с.

126. *Михель А. А.* Развитие системы подготовки кадров с учетом мониторинго-рейтинговой информации и оценки потенциала организаций высшего образования / А. А. Михель // Материалы V Всероссийской конференции «Принципы и механизмы формирования национальной инновационной системы». — Дубна, 2014.

127. Модели и способы взаимодействия пользователя с киберфизическим интеллектуальным пространством. Монография / И. В. Ватаманюк [и др.]. — СПб. : Лань, 2019. — 176 с.

128. *Натан А. А.* Основы теории случайных процессов / А. А. Натан, О. Г. Горбачев, С. А. Гуз. — М. : Изд-во МФТИ, 2003. — 168 с.

129. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин [и др.] ; под ред. Д. А. Поспелова. — М. : Наука, гл. ред. физ-мат. лит., 1986. — 312 с.

130. *Нечипоренко В. И.* Структурный анализ систем (эффективность и надежность) / В. И. Нечипоренко. — М. : Советское радио, 1977. — 216 с.

131. *Новиков Д. А.* Модели функционирования многоуровневых организационных систем / Д. А. Новиков. — М. : Фонд «Проблемы управления», 1999. — 155 с.

132. *Новиков Д. А.* Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. — 2-е изд. — М. : Физматлит, 2007. — 584 с.

133. *Новосельцев В. И.* Системный анализ: современные концепции / В. И. Новосельцев. — Воронеж : Кварта, 2003. — 360 с.

134. Основные тенденции цифровой трансформации бизнеса / Н. С. Мрочковский [и др.] // Экономика и предпринимательство. — 2019. — 4 (105). — С. 89—91.

135. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство / В. С. Никляев [и др.] ; под ред. В. С. Никляева. — М. : «Былина», 2000. — 557 с.

136. *Осуга С.* Обработка знаний : пер. с япон. / С. Осуга. — М. : Мир, 1989. — 293 с.

137. *Павлов Ю. А.* Основы автоматизации производства / Ю. А. Павлов. — М. : НИТУ МИСИС, 2017. — 304 с.

138. *Пихлер Р.* Управление продуктом в Scrum. Agile-методы для вашего бизнеса / Р. Пихлер. — М. : Манн, Иванов и Фебер (МИФ), 2017. — 160 с.

139. *Подвальный С. Л.* Многоальтернативные системы: обзор и классификация / С. Л. Подвальный // Системы управления и информационные технологии. — 2012. — Т. 48, № 2. — С. 4—13.

140. *Подвальный С. Л.* Концепция многоальтернативного управления открытыми системами: истоки, состояние и перспективы / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2013. — Т. 9, № 2. — С. 4—20.

141. *Подиновский В. В.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. — М. : Наука, 1982. — 326 с.

142. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление. Новый виток развития / Д. А. Поспелов // Теория и системы управления. — 1995. — № 5. — С. 152—159.

143. *Прангишвили И. В.* Микропроцессоры и локальные сети микро ЭВМ в распределенных системах управления / И. В. Прангишвили. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 272 с.

144. Представление и использование знаний : пер. с япон. / Х. Уэно [и др.] ; под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. — М. : Мир, 1989. — 220 с.

145. Проектирование корпоративных информационных систем / А. А. Рындин [и др.] ; под ред. А. А. Рындина. — Воронеж : Изд-во Кварта, 2003. — 447 с.

146. *Рамбо Д.* Унифицированный процесс разработки программного обеспечения : пер. с англ. / Д. Рамбо, Г. Буч, А. Якобсон. — СПб. : Питер, 2002. — 496 с.

147. *Рассел С.* Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. — 2-е изд. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1408 с.

148. *Рейнгольд Э.* Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика : пер. с англ. / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, И. Деа ; под ред. В. Б. Алексеева. — М. : Мир, 1980. — 476 с.

149. Рейтинговое управление экономическими системами : монография / О. И. Богатов [и др.]. — Донецк : Юго-Восток, 1999. — 110 с.

150. *Рисин И. Е.* Инвестирование средств в персонал как фактор повышения эффективности деятельности организационной системы / И. Е. Рисин // Управление персоналом. — 2009. — № 15. — С. 36—38.

151. *Роджерс Д.* Цифровая трансформация : пер. с англ. / Д. Роджерс. — М. : Точка, 2018. — 344 с.

152. *Романенко В. Д.* Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ : учебное пособие для вузов по специальностям «Автоматизация технологических процессов и производств», «Автоматика и управление в технических системах», «Прикладная математика» / В. Д. Романенко, Б. В. Игнатенко. — Киев : Выща школа, 1990. — 334 с.

153. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : пер. с польского И. Д. Рудинского / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — 2-е издание. — М. : Горячая линия - Телеком, 2013. — 384 с.

154. *Рыков А. С.* Методы системного анализа: оптимизация / А. С. Рыков. — М. : Экономика, 1999. — 256 с.

155. *Рындин А. А.* Использование экспертных ресурсов в процессе акселерации студенческих стартапов для повышения качества ИТ-проектов / А. А. Рындин, Н. А. Рындин, С. В. Сапегин // Информационные технологии моделирования и управления. — 2021. — Т. 126, № 4. — С. 259—266.

156. *Рындин А. А.* Математические модели и алгоритмы многовариантного синтеза проектных решений при разработке архитектуры развивающихся программных систем / А. А. Рындин, Н. А. Рындин, С. В. Сапегин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2019. — Т. 7, 4(27). — Режим доступа: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/RyndinSoavtors4191.pdf.

157. *Рындин Н. А.* Алгоритмизация задачи поиска оптимальных структур телекоммуникационной системы / Н. А. Рындин // Прикладные задачи моделирования и оптимизации : межвуз. сб. научн. тр. — Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж, 2006. — С. 142—146.

158. *Рындин Н. А.* Алгоритмизация процесса многовариантной структуризации в цифровизированных организационных системах / Н. А. Рындин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2023. — 11(1). — URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1274.

159. *Рындин Н. А.* Компонентная оптимизация развивающейся цифровой среды управления в организационных системах / Н. А. Рындин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2022. — 10(2). — URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1140.

160. *Рындин Н. А.* Многовариантная структуризация управления в цифровизированной организационной системе аграрного предприятия / Н. А. Рындин // В сборнике : Интеллектуальные информационные системы. Труды международной научно-технической конференции. — Воронеж, 2023. — С. 145—148.

161. *Рындин Н. А.* Модели и алгоритмы оптимизации ресурсного обеспечения процесса функционирования цифровой среды управления в организационных системах / Н. А. Рындин // В сборнике : Оптимизация и моделирование в автома-

тизированных системах. Труды международной молодежной школы. — Воронеж, 2021. — С. 23—29.

162. *Рындин Н. А.* Оптимизационные модели и алгоритмы интеграции компонентов в развивающейся цифровой среде управления в организационных системах / Н. А. Рындин // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах. Труды международной молодежной школы. — Воронеж, 2021. — С. 47—51.

163. *Рындин Н. А.* Оптимизация управления в цифровизированных организационных системах : монография / Н. А. Рындин. — Воронеж : Издательство «Научная книга», 2023. — 148 с.

164. *Рындин Н. А.* Прикладная верификация стратегии автоматизированного создания многокомпонентных программных средств на основе оптимизации источников знаний / Н. А. Рындин // Информационные технологии моделирования и управления. — 2021. — Т. 125, № 3. — С. 234—240.

165. *Рындин Н. А.* Средства и параметры эксперимента по анализу алгоритма кластеризации больших информационных систем / Н. А. Рындин // Информационные технологии моделирования и управления. — 2022. — Т. 130, № 4. — С. 307—312.

166. *Рындин Н. А.* Стратегия автоматизированного создания многокомпонентных программных средств на основе оптимизации источников знаний / Н. А. Рындин // Системы управления и информационные технологии. — 2021. — 3(85). — С. 46—53.

167. *Рындин Н. А.* Формализация задачи консалтинга при создании корпоративных информационных систем предприятия / Н. А. Рындин // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2003. — № 2/3. — С. 102—105.

168. *Рындин Н. А.* Формирование множества компонентов цифровой среды управления и вариантов их реализации в организационной системе аграрного предприятия / Н. А. Рындин // В сборнике : Оптимизация и моделирование в ав-

томатизированных системах. Труды международной молодежной научной школы. — Воронеж, 2023.

169. *Рындин Н. А.* Экспериментальная апробация алгоритмической стратегии автоматизированного создания многокомпонентных программных средств / Н. А. Рындин // Информационные технологии моделирования и управления. — 2022. — Т. 127, № 1. — С. 63—74.

170. *Рындин Н. А.* Рационализация кластеризации больших информационных систем в рамках процесса рефакторинга программного обеспечения / Н. А. Рындин, Д. А. Данилов // Системы управления и информационные технологии. — 2022. — 4(90). — С. 13—19.

171. *Рындин Н. А.* Формирование требований к показателям эффективности функционирования организационной системы агропромышленного предприятия на основе план-фактного анализа / Н. А. Рындин, Р. Ю. Есиков // В сборнике : Интеллектуальные информационные системы. Труды международной научно-технической конференции. — Воронеж, 2023. — С. 134—138.

172. *Рындин Н. А.* Характеризация компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой «Агрополе» / Н. А. Рындин, Р. Ю. Есиков // В сборнике: Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах. Труды международной молодежной научной школы. — Воронеж, 2023.

173. *Рындин Н. А.* Алгоритмическая стратегия автоматизированного создания многокомпонентных программных средств / Н. А. Рындин, А. В. Потудинский // Системы управления и информационные технологии. — 2022. — 1(87). — С. 57—63.

174. *Рындин Н. А.* Рационализация архитектурного проектирования мультиагентных систем на основе многовариантной интеграции / Н. А. Рындин, С. В. Сапегин // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2018. — Т. 14, № 6. — С. 33—37.

175. *Рындин Н. А.* Рациональное проектирование компонентов развивающихся программных систем на основе учета их динамических свойств / Н. А. Рын-

дин, С. В. Сапегин // Вестник Воронежского института высоких технологий. — 2018. — 4(27). — С. 85—90.

176. *Рындин Н. А.* Оптимизация процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения цифровой среды управления на основе экспертного оценивания / Н. А. Рындин, Ю. С. Сахаров // Интеллектуальные информационные системы. Труды Международной научно-технической конференции. — Воронеж, 2022. — С. 42—44.

177. *Рындин Н. А.* Цифровизация управления в организационных системах агропромышленных предприятий : монография / Н. А. Рындин, Ю. С. Скворцов, Б. Н. Тишуков. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2022. — 148 с.

178. *Рындин Н. А.* Оптимизация цифровой среды управления организационной системой агропромышлненного предприятия / Н. А. Рындин, Б. Н. Тишуков // Интеллектуальные информационные системы. Труды Международной научно-технической конференции. — Воронеж, 2022. — С. 21—24.

179. *Сазерленд Д.* Scrum. Революционный метод управления проектами : пер. с англ. / Д. Сазерленд. — М. : Манн, Иванов и Фебер (МИФ), 2015. — 272 с.

180. *Сачков В. Я.* Введение в комбинаторные методы дискретной математики / В. Я. Сачков. — М. : Наука, 1982. — 384 с.

181. *Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2021666399*. Система цифровизации управления агропромышленным предприятием / А. В. Евдокимов, Ю. С. Скворцов, Н. А. Рындин. — Заявл. 27.09.2021 ; опубл. 13.10.2021, 2021665082.

182. *Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2022682669*. Подсистема оптимизации ресурсного обеспечения в системе цифрового управления агропромышленным предприятием / А. В. Евдокимов, Р. С. Пасмурнов, Н. А. Рындин. — № 2022682047 ; заявл. 17.11.2022 ; опубл. 24.11.2022.

183. *Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2023613821*. Модуль оптимизации организационной структуры системы цифровизации

управления «АгроПоле» / А. В. Евдокимов, Р. Ю. Есиков, Н. А. Рындин. — № 2023612436 ; заявл. 09.02.2023 ; опубл. 20.02.2023.

184. *Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2023613822*. Подсистема многовариантной структуризации системы цифровизации управления «АгроПоле» / А. В. Евдокимов, Р. С. Пасмурнов, Н. А. Рындин. — № 2023612438 ; заявл. 09.02.2023 ; опубл. 20.02.2023.

185. *Скворцов Ю. С.* Модель динамического севооборота на основе уравнения беллмана с конечным горизонтом / Ю. С. Скворцов, Н. А. Рындин, А. Ж. К. К. Амоа // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2019. — Vol. 7, 1(24). — P. 449–458.

186. *Смирнов Н. В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. — М. : Наука, 1969. — 512 с.

187. *Соболь И. М.* Численные методы Монте-Карло / И. М. Соболь. — М. : Наука, 1973. — 312 с.

188. *Советов Б. Я.* Моделирование систем : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 2001. — 343 с.

189. *Сорокин С. О.* Оптимизационное моделирование функционирования системы однородных объектов в многоаспектной цифровой среде / С. О. Сорокин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2018. — Т. 6, № 3. — Режим доступа: https://moitvivt.ru/ru/journal/article?id=503.

190. *Сумин В. И.* Анализ процесса оптимизации формирования иерархических многоуровневых сложных организационных систем / В. И. Сумин, Т. Е. Смоленцева // Вестник Воронежского института ФСИН России. — 2020. — № 2. — С. 139—144.

191. *Сумин В. И.* Регуляризация классических условий оптимальности в задачах оптимального управления линейными распределенными системами вольтеррового типа / В. И. Сумин, М. И. Сумин // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2022. — Т. 62, № 1. — С. 45—70.

192. *Тарасов В. Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. — М. : Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.

193. *Тархов Д. А.* Нейросетевые модели и алгоритмы. Справочник / Д. А. Тархов. — М. : Радиотехника, 2014. — 352 с.

194. *Тельнов Ю. Ф.* Интеллектуальные информационные системы в экономике. Учебное пособие / Ю. Ф. Тельнов. — М. : Синтег, 2002. — 316 с.

195. *Тишуков Б. Н.* Повышение эффективности функционирования объектов со структурновариативной формой управления на основе оптимизационного моделирования [Электронный ресурс] / Б. Н. Тишуков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2018. — Т. 6, № 1. — Режим доступа:

196. *Тишуков Б. Н.* Адаптивный подход к алгоритму обезьяньего поиска для решения задач оптимизации объектов со структурновариативной формой управления в динамическом режиме / Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2016. — 5 (68). — С. 51—57.

197. *Тишуков Б. Н.* Разработка математического обеспечения для синхронизации режимов поисковой оптимизации и дуального моделирования в интегрированной вычислительной среде / Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2017. — № 2. — С. 28—32.

198. *Тишуков Б. Н.* Разработка процедур численной оптимизации объектов со структурно-вариативным управлением на основе использования популяционных алгоритмов / Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2016. — Т. 12, № 3. — С. 12—16.

199. *Ткаченко В. В.* Предпосылки создания системы моделей и методики многокритериальной оценки и выбора технологий возделывания сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] / В. В. Ткаченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). — 2015. — 09(113). — С. 1680—1693. — Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/119.pdf.

200. *Ткаченко В. В.* Система поддержки принятия решений для управления экономическими параметрами в растениеводстве / В. В. Ткаченко // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. — 2009. — № 96. — С. 110—114.

201. *Трахтенгерц Э. А.* Компьютерная поддержка принятия решений : научно-практическое издание / Э. А. Трахтенгерц. — М. : Синтег, 1998. — 376 с.

202. *Хоп Г.* Шаблоны интеграции корпоративных приложений : пер. с англ. / Г. Хоп, Б. Вульф. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. — 672 с.

203. *Цвиркун А. Д.* Структура сложных систем / А. Д. Цвиркун. — М. : Сов. радио, 1975. — 200 с.

204. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике : пер. с англ. / К. Шеннон ; под ред. Р. Л. Добрушина, О. Б. Лупанова. — М. : Иностранная литература, 1963. — 829 с.

205. *Шеффер Э.* Индустрия Х.О. Преимущества цифровых технологий для производства : пер. с англ. / Э. Шеффер. — М. : Издательская группа «Точка», 2019. — 320 с.

206. *Щекотихина Н. И.* Система показателей и алгоритм комплексно сравнительной рейтинговой оценки / Н. И. Щекотихина, Н. Ю. Гарбузова // Вестник Орел ГИЭТ. — 2011. — № 6. — С. 22—30.

207. *Щукин О. А.* Измерение и оценка деятельности организации / О. А. Щукин. — М. : Lambert Academic Publishing, 2012. — 180 с.

208. *Эддоус М.* Методы принятия решений : пер. с англ. / М. Эддоус, Р. Стэнсфилд. — М. : Аудит, 1997. — 590 с.

209. *Юдин Д. Б.* Экстремальные модели в экономике / Д. Б. Юдин, А. Д. Юдин. — М. : Экономика, 1979. — 288 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акты внедрения

Утверждаю

Руководитель департамента
цифрового развития
Воронежской области

_____ Волков Д. В.

«____» _____ 2023 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационного исследования
Рындина Никиты Александровича «Управление процессами принятия решений в организационных системах на основе многовариантной структурной оптимизации цифровой среды»

Комиссия в составе: председателя – заместителя руководителя департамента – начальника отдела развития цифрового государственного управления Соколова Алексея Серафимовича; членов комиссии – начальника отдела развития систем электронного взаимодействия Апалихина Сергея Владимировича, начальника отдела управления государственными данными Воронежской области Власовой Анжелики Валериевны, настоящим актом подтверждает использование результатов диссертации Рындина Н. А. в деятельности департамента цифрового развития Воронежской области.

Разработанные Рындиным Н. А. принципы, математические модели и алгоритмы многовариантной структурной оптимизации цифровой среды используются для оценки эффективности эксплуатируемых и разрабатываемых средств цифровизации государственного управления, программных комплексов, проходящих государственную экспертизу и оцениваемых с точки зрения эффективности разработки и дальнейшей эксплуатации в субъектах государственного управления. Предложенные Рындиным Н. А. методики оценки эффективности разрабатываемых средств цифровизации управления и влияния их на экономические показатели работы организации используются для определения эффективности внедрения средств цифровизации в организациях и учреждениях Воронежской области.

Разработанные при участии автора методы многовариантной структуризации для оптимизации управления в цифровизированных организационных системах используются для оптимизации распределения бюджета на сопровождение и развитие цифровой среды управления

департамента в соответствии с требованиями Правительства Воронежской области, что позволяет более рационально использовать выделяемые средства на организацию эффективного функционирования и эксплуатацию имеющихся программно-технических комплексов.

Председатель комиссии:
Заместитель руководителя департамента-
начальник отдела развития цифрового
государственного управления А.С. Соколов

Члены комиссии:
Начальник отдела развития
систем электронного взаимодействия С.В. Апалихин

Начальник отдела управления
государственными данными
Воронежской области А.В. Власова

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «Логус-агро»
_____И.А. Алименко
«____»_____2022 г.

АКТ о внедрении
Результатов диссертационного исследования
Рындина Никиты Александровича **«Управление процессами принятия решений в организационных системах на основе многовариантной структурной оптимизации цифровой среды»**

Комиссия в составе
Председателя - заместителя генерального директора по технической безопасности – руководителя Департамента технического обеспечения Трухачева А.Е., старшего бухгалтера Быхун Н.С., программиста Деева Е.Ю. настоящим актом подтверждает использование диссертации Рындина Н.А. в процессе управления структурными подразделениями агропромышленного холдинга ООО» Логус-агро».

В результате внедрения разработанной при участии автора системы управления и контроля работы агропромышленного предприятия «Агрополе» улучшились следующие характеристики компании:

1.Внедрение моделей и алгоритмов, программного обеспечения ресурсно-распределительной оптимизации позволило сократить затраты на сезонное финансирование компании на 2% при достижении лучших экономических показателей.

2.Внедрение модулей «План-фактный анализ», «Расчет KPI сотрудников» позволило оптимизировать организационную структуру компании, сократить численность сотрудников АУП на 25% за счет бюро первичного учета.

3.Использование моделей и алгоритмов диссертационного исследования, реализованных в модулях «Многовариантной структуризации» и «Оптимизация ресурсного обеспечения» позволило сократить затраты на сопровождение информационной корпоративной системы на 18% при увеличении жизненного цикла работы отдельных компонентов программного обеспечения в условиях использования Open Source программных продуктов.

Разработанная методология многовариантной структурной оптимизации организационных структур агропромышленных предприятий может быть использована для широкого класса агропромышленных холдингов, объединений и корпораций, использующих для управления корпоративные информационные системы. Предложенные автором методы, модели и алгоритмы цифрового управления, базирующиеся на установлении взаимосвязи используемой цифровой среды и экономических параметров компании, позволяют повысить эффективность управления и принятия решений в таких организационных системах.

Председатель комиссии:
Заместитель генерального директора А.Е. Трухачев

Члены комиссии:
Старший бухгалтер Н.С. Быхун
Программист Е.Ю. Деев

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор ФГБОУ ВО
Воронежский государственный
технический университет,
доктор технических наук, профессор
_____ И.Г.Дроздов
«___» _____2023 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования Рындина Никиты Александровича «**Управление процессами принятия решений в организационных системах на основе многовариантной структурной оптимизации цифровой среды**» в образовательную деятельность ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Комиссия в составе председателя – проректора по учебной работе, кандидата технических наук, доцента Колосова А.И., декана факультета информационных технологий и компьютерной безопасности, кандидата технических наук, доцента Гусева П.Ю., профессора кафедры систем автоматизированного проектирования и информационных систем Костровой В.Н., настоящим актом подтверждают использование результатов диссертации Рындина Н.А. в образовательном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Разработанная Рындиным Н.А. методология многовариантной структуризации для оптимизации управления в цифровизированных организационных системах используется в учебном процессе при подготовке магистров по направлению 09.04.02 Информационные технологии и системы, профиль «Разработка Web-ориентированных информационных систем», а также в управлении организационной структурой ВГТУ на основе данных рейтингования и требований Министерства науки и высшего образования РФ.

Разработанная система цифровизации управления и контроля работы агропромышленного предприятия «Агрополе» используется в качестве учебной Web-ориентированной системы для научно-исследовательской и проектной деятельности студентов этого направления.

Председатель комиссии:
Проректор по учебной работе,
кандидат технических наук, доцент Колосов А.И.

Члены комиссии:
Декан факультета информационных
систем и компьютерной безопасности,
кандидат технических наук, доцент Гусев П.Ю.

Профессор кафедры систем автоматизированного
проектирования и информационных систем,
доктор технических наук, профессор Кострова В.Н.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU2021666399

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): **2021666399** Дата регистрации: **13.10.2021** Номер и дата поступления заявки: **2021665082 27.09.2021** Дата публикации и номер бюллетеня: **13.10.2021 Бюл. № 10** Контактные реквизиты: **evdokimov@arcpris.ru**	Автор(ы): **Евдокимов Александр Викторович (RU),** **Скворцов Юрий Сергеевич (RU),** **Рындин Никита Александрович (RU)** Правообладатель(и): **Общество с ограниченной ответственностью Центр Прикладных Исследований «Проектирование и разработка информационных систем» (RU)**

Название программы для ЭВМ:
"Система цифровизации управления агропромышленным предприятием"

Реферат:
Программа является информационной системой мониторинга, управления и контроля производственной деятельностью сельскохозяйственного предприятия. Программа решает следующие задачи: сезонное планирование производственной и финансовой деятельности предприятия, мониторинг и контроль оперативных и среднесрочных задач, прогнозирование урожайности, оперативный учет ключевых показателей по всем типам выполняемых работ. Программа является инструментом для принятия управленческих решений. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows Server 2008/2012.

Язык программирования: C#; JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 525 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU2022682669

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2022682669
Дата регистрации: **24.11.2022**
Номер и дата поступления заявки:
2022682047 17.11.2022
Дата публикации и номер бюллетеня:
24.11.2022 Бюл. № 12
Контактные реквизиты:
evdokimov@arcpris.ru

Автор(ы):
Евдокимов Александр Викторович (RU),
Рындин Никита Александрович (RU),
Пасмурнов Роман Сергеевич (RU)
Правообладатель(и):
Общество с ограниченной ответственностью
Центр Прикладных Исследований
«Проектирование и разработка
информационных систем» (RU)

Название программы для ЭВМ:
"Подсистема оптимизации распределения ресурсного обеспечения в системе цифровизации управления агропромышленным предприятием"

Реферат:
Программа является информационной подсистемой мониторинга, анализа, прогнозирования и планирования производственной деятельностью сельскохозяйственного предприятия. Программа решает следующие задачи: формирование оптимального распределения ресурсов при сезонном планирование производственной и финансовой деятельности предприятия, контроль и корректировку ресурсного обеспечения на основе данных оперативного учета ключевых показателей по всем типам выполняемых работ. Программа является инструментом для выбора и принятия наиболее рентабельного бизнес-плана принятия, его контроля и оперативной корректировки. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 7/8/10, Windows Server 2008/2012.

Язык программирования: C Sharp, Javascript

Объем программы для ЭВМ: 628 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

RU2023613822

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2023613822
Дата регистрации: **20.02.2023**
Номер и дата поступления заявки:
2023612438 09.02.2023
Дата публикации и номер бюллетеня:
20.02.2023 Бюл. № 2
Контактные реквизиты:
evdokimov@arcpris.ru

Автор(ы):
Евдокимов Александр Викторович (RU),
Рындин Никита Александрович (RU),
Есиков Роман Юрьевич (RU)
Правообладатель(и):
Общество с ограниченной ответственностью Центр Прикладных Исследований «Проектирование и разработка информационных систем» (RU)

Название программы для ЭВМ:
Подсистема многовариантной структуризации системы цифровизации управления «АгроПоле»

Реферат:
Программа предназначена для проведения аудита и мониторинга сельскохозяйственного предприятия с цель определения, подбора и масштабирования модулей системы для оптимального решения производственных задач исследуемого предприятия. Программа является автоматизированной подсистемой системы «АгроПоле». Программа является мониторинговым инструментом для автоматического подбора оптимальной архитектуры системы «АгроПоле» под конкретного заказчика. Тип ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК; ОС: Windows 7/8/10, Windows Server 2008/2012.

Язык программирования: C#, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 919 МБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU2023613821

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2023613821
Дата регистрации: **20.02.2023**
Номер и дата поступления заявки:
2023612436 09.02.2023
Дата публикации и номер бюллетеня:
20.02.2023 Бюл. № 2
Контактные реквизиты:
evdokimov@arcpris.ru

Автор(ы):
Евдокимов Александр Викторович (RU),
Рындин Никита Александрович (RU),
Есиков Роман Юрьевич (RU)
Правообладатель(и):
Общество с ограниченной ответственностью Центр Прикладных Исследований «Проектирование и разработка информационных систем» (RU)

Название программы для ЭВМ:
Модуль оптимизации организационной структуры системы цифровизации управления «АгроПоле»

Реферат:
Модуль является отдельным модулем системы «АгроПоле» и решает следующие задачи. Модуль осуществляет сбор, обработку и анализ всех количественных значений агротехнических мероприятий, выполняемых в хозяйстве, и сопоставляет их с заранее заданными в технологических картах агротехническими требованиями. На основе данного анализа модуль рассчитывает значения KPI, формирует оптимальную рекомендательную модель корректировки значений расценок. Модуль предназначен для повышения мотивации работников, сокращению издержек при выполнении агротехнических мероприятий, повышению рентабельности продукции. Тип ЭВМ: IBM-совмест. ПК; ОС: Windows 7/8/10, Windows Server 2008/2012.

Язык программирования: C#, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 987 МБ