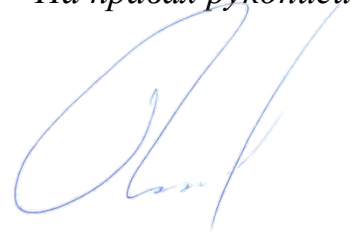


*На правах рукописи*



**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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Воронеж – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежской государственной технической академии»

**Научный консультант:** **Сахаров Юрий Серафимович,**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные  
оппоненты:**

**Бурков Владимир Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова Российской Академии наук, главный научный сотрудник

**Иващенко Антон Владимирович,**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБУ «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М. И. Кривошеева». Самарский филиал «Самарское отделение научно-исследовательского института радио», ведущий научный сотрудник

**Сумин Виктор Иванович,**  
доктор технических наук, профессор, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИИ России, профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет».

Защита состоится 26 июня 2023 г. в 12:00 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.2.286.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: г. Воронеж, Московский проспект, 14, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и на сайте [www.cchgeu.ru](http://www.cchgeu.ru).

Автореферат разослан 25 апреля 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



К. Ю. Гусев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** 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 принятием решений в организационных системах.

4. Синхронизация распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития как составляющих организационной системы, так и компонентов цифровой среды управления принятием решений, 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. В. Иващенко, А. Якобсона, Г. Буча, Д. Рамбо, В. И. Сумина, 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 различного профиля.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью формирования единой методологической основы – многовариантной структурной оптимизацией 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 цифровизированных организационных системах.

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 эко-

номика Российской Федерации», утвержденной протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7, государственной программой «Информационное общество».

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

**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 статистики, теории информации, методы моделирования, оптимизации и экспертного оценивания.

**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, отличающийся механизмом последовательной редукции при оптимальном выборе компонентов, объединенных в целостную структуру на основе уровневых энтропийных оценок разнообразия вариантов интеграции и обеспечивающий 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 реализаций 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, отличающиеся 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 компонентов 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 распределения и 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, отличающиеся 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 ресурсно-распределительной 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 организационной 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 и аппарат 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 и 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 компонентов в единую структуру и определяют концептуальную основу моделирования и оптимизации управления в цифровизированной организационной системе.

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

4. Модель и алгоритм интеграционной оптимизации дают возможность 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 организационной 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 научных 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.** Основные результаты работы опубликованы в двух монографиях, в 27 статьях и 16 материалах научных конференций, получено 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, в том числе 15 работ опубликованы без соавторов. 19 статей опубликованы в научных журналах и изданиях, рекомендо-

ванных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 5 работ – в изданиях, включенных в международную наукометрическую базу данных 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, модели и алгоритмы многовариантной структурной оптимизации цифровой среды автономной организационной системы аграрного профиля.

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

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность тематики диссертации, цель работы, задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проанализированы пути повышения эффективности управления в организационных системах, интегрированных с развивающейся цифровой средой управления принятия управленческих решений.

Организационная система рассматривается как совокупность внутренних взаимосвязанных частей организации (объектов), образующая некоторую целостность. При этом все составляющие объединены единством цепей, взаимосвязанностью осуществляемой деятельности, совместным использованием ресурсов и наличием единого управляющего центра. С этих позиций функционирование организационной системы основано на взаимодействии управляющего центра и объектов, входящих в систему. В настоящее время характерна разная степень автоматизации процесса принятия управленческих решений от локального применения информационных технологий до построения корпоративной информационной системы.

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. Такая среда является развивающейся, поскольку, с одной стороны, со временем происходит

снижение эффективности функционирования её компонентов ниже критического уровня и требуется их замена, а с другой – возникают новые задачи управления, требующие применения новых компонентов.

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, каждый из которых интегрирован с компонентами цифровой среды. В этом случае организационную систему, интегрированную с развивающейся цифровой средой управления, будем называть цифровизированной организационной системой.

Основной комплекс задач управления в организационной системе связан с распределением управляющим центром ресурсного обеспечения на функционирование и развитие объектов, 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.

Распределение этой части ресурсного обеспечения зависит от основных групп подходов к формированию цифровой среды управления в организационных системах.

На основе классификации используемых представлений, среди современных практик разработки цифровой среды можно выделить следующие группы подходов:

1. Архитектурные подходы, в основе которых лежит идея о важности хорошо проработанной, единообразной архитектуры с четким делением программного средства на подсистемы и компоненты.
2. Технологические подходы, связанные с исследованием современных подходов к написанию программного кода, включая различные парадигмы, языки и среды программирования, и построением на их основе эффективного процесса производства ПО.
3. Организационно-ориентированные подходы, рассматривающие проблему построения цифрового средства с точки зрения организации наиболее эффективного процесса работы с пользовательскими требованиями.

Использование в современных методиках на приоритетной основе одной из групп вышеперечисленных подходов в случае применения их для построения развивающейся цифровой среды управления характеризуется следующими недостатками:

1. Увеличение проектных рисков вследствие невозможности предсказать развитие средств с достаточной точностью и обеспечить необходимый комплекс мер, обеспечивающий их успешность.

2. Принципиальная невозможность оптимизации процесса создания цифровой среды в рамках одной парадигмы. Реально используемые методики обычно имеют в своем составе набор эмпирических правил, гарантирующих определенную вероятность успеха, но теоретически недостаточно изученных.

Для теоретического обоснования этих правил предлагается ориентироваться на следующие этапы оптимизации развивающейся цифровой среды управления.

A1. Оптимальный выбор перспективного множества реализаций компонентов.

A2. Оптимальная интеграция в организационное целое реализаций компонентов, входящих в перспективное множество.

Этап A2 включает в себя несколько внутренних этапов:

A2.1. Оптимальный выбор реализаций компонентов при их объединении;

A2.2. Оптимальная кластеризация компонентов по степени влияния на достижение показателя или эффективности организационной системы заданного уровня;

A2.3. Оптимальный выбор последовательности включения компонентов в организационное целое.

A3. Оптимальное распределение ресурсного обеспечения на функционирование и развитие цифровой среды управления.

Этап A3 включает в себя несколько внутренних этапов:

A3.1. Оптимальное распределение ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления.

A3.2. Оптимальное распределение ресурсного обеспечения на стадии развития цифровой среды управления.

A3.3. Оптимальная синхронизация распределения ограниченного 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 (Рисунок 1).

Для принятия управленческих решений в рамках приведенной структурной схемы обосновано использование оптимизационного подхода на концептуальной основе многовариантной структуризации, представляющей собой процесс редуцированного преобразования множеств альтернативных реализаций компонентов при выборе варианта их интеграции в организационное целое в соответствии с требованиями к показателям эффективности функционирования организационной системы.

Таким образом, обоснована структура процесса управления в цифровизированной организационной системе, отличающаяся механизмом её интеграции с развивающейся цифровой средой принятия управленческих решений на концептуальной основе многовариантной структуризации с целью обеспечения эффективного взаимодействия управляющего центра и объектов, входящих в систему.

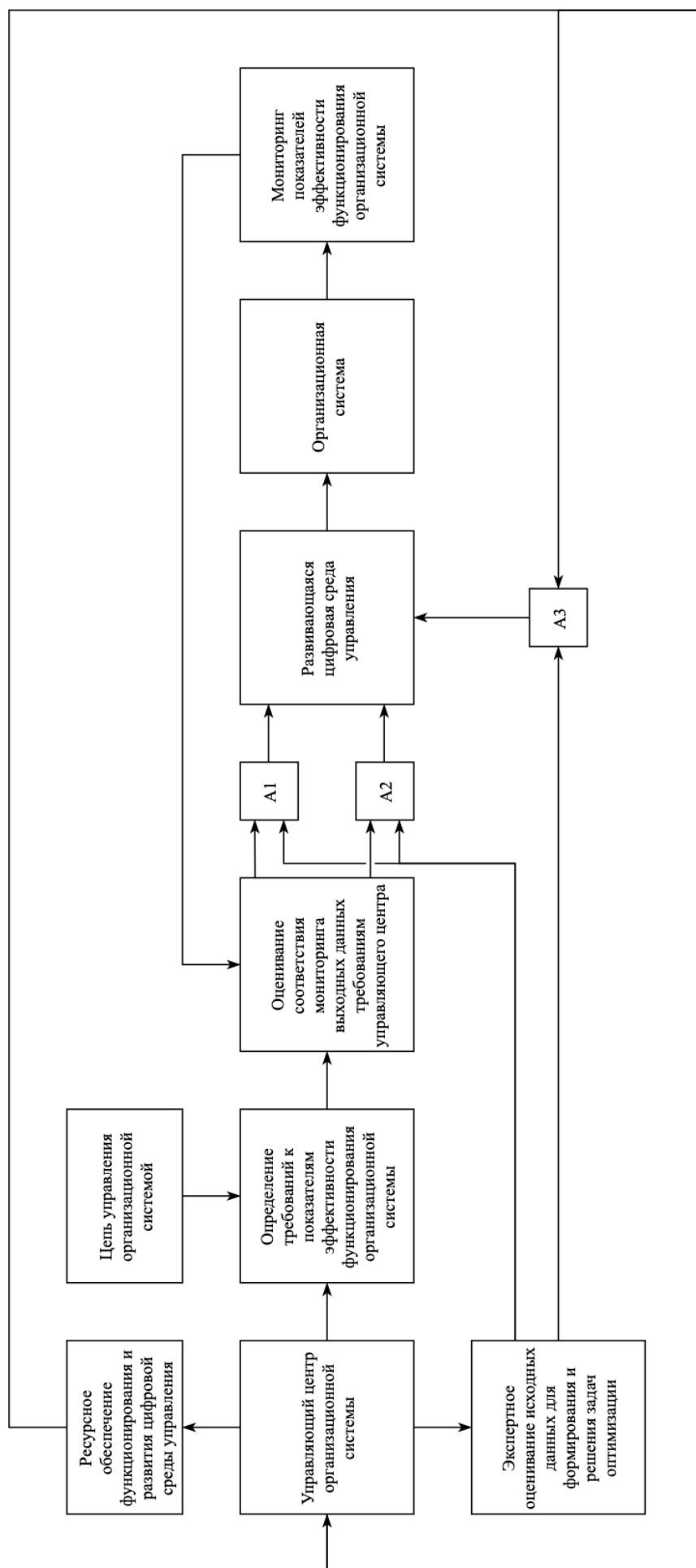


Рисунок 1 – Структурная схема управления в организационной системе, интегрированная с развивающейся цифровой средой управления

Во **второй** главе сформулированы основные положения многовариантной структуризации, определяющие концептуальную основу оптимизации развивающейся цифровой сферы управления в организационных системах.

Проведена структуризация взаимодействия управляющего центра и объектов цифровизированной организационной системы, основанной на её интеграции с компонентами развивающейся цифровой среды управления. Взаимодействие осуществляется через компоненты цифровой среды управляющего центра и объектов, и направлено как на передачу информационных потоков о состоянии объектов, характеризующимися показателями эффективности функционирования, так и на принятие управленческих решений по межобъектному и внутриобъектному распределению ресурсного обеспечения, устанавливаемого для стадий функционирования и развития системы.

Для характеристики процесса взаимодействия при передаче информационных потоков и принятия управленческих решений в рамках структурной схемы цифровизированной многообъектной организационной системы, приведенной на рисунке 2, введены следующие обозначения:

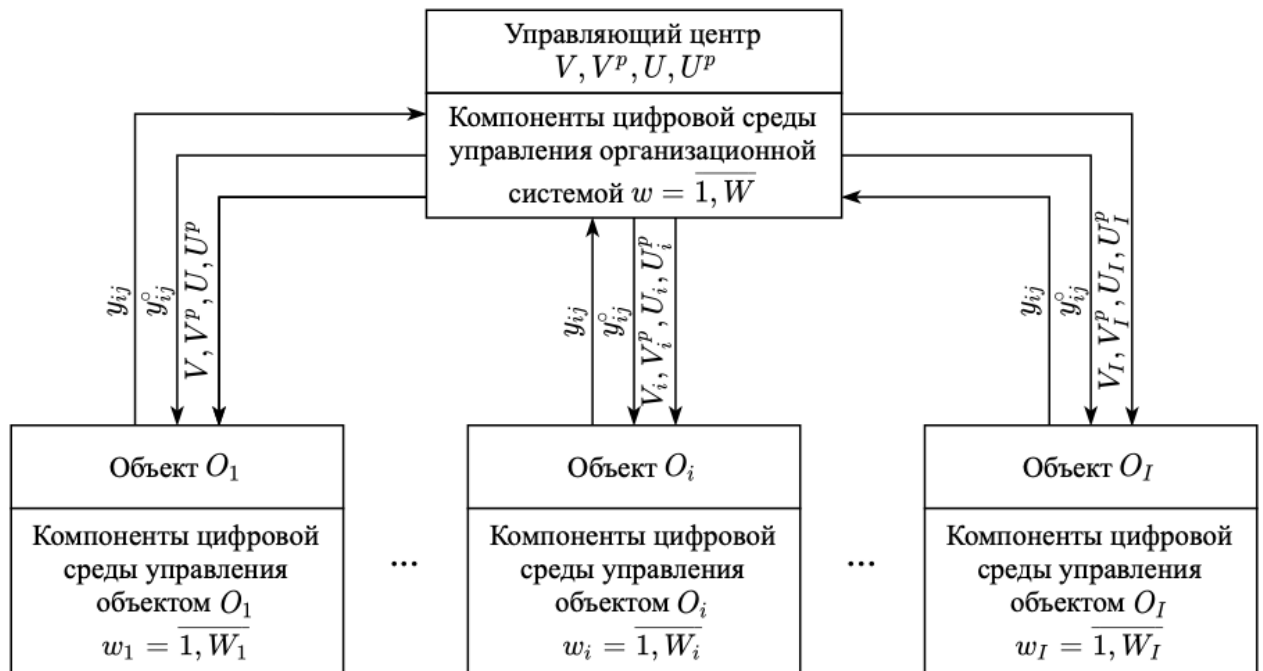


Рисунок 2 – Структурная схема взаимодействия управляющего центра и объектов в цифровизированной многообъектной организационной системе

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

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

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

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;

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

В случае автономной организационной системы управляющий центр взаимодействует непосредственно с группами исполнительных эргатических элементов  $I_n, n = \overline{1, N}$ , которые участвуют в решении отдельных задач  $Z_i, i = \overline{1, I}$ , 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  $y_{ij}^\circ, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$ . Особенностью рассматриваемого класса организационных систем является зависимость достижения показателями  $y_{ij}$  требований  $y_{ij}^\circ$  от эффективности деятельности исполнительных эргатических элементов 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 3. Элементы взаимодействия характеризуются дополнительными к рисунку 3 следующими обозначениями:

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

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

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

Компоненты цифровой среды управления характеризуются разнообразием альтернатив реализации:

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

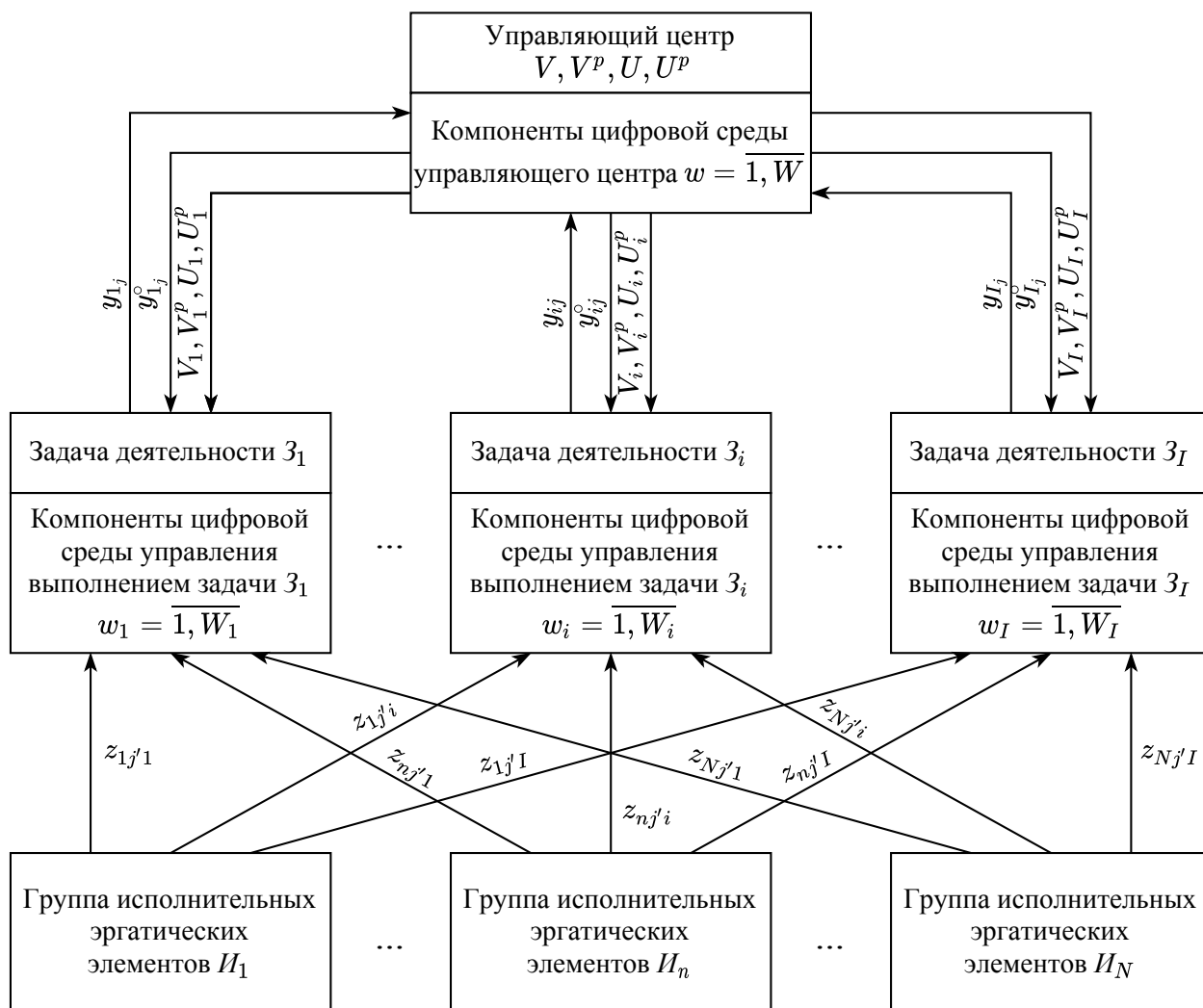


Рисунок 3 — Структурная схема взаимодействия управляющего центра и исполнительных элементов в цифровизированной автономной организационной системе

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

Стадию функционирования варианта цифровой сферы управления  $S_l$  свяжем с жизненным циклом, в течении которого сохраняется функциональность  $w_g$ -го компонента до достижения критического уровня, стадию развития – с расширением множества  $w_g, g = \overline{1, G}$ , путем включения в него компонентов  $w_{g_1}, g_1 = \overline{1, G_1}$  для решения новых задач управления, оказывающих влияние на достижение показателями  $y_{j_1}, j_1 = \overline{1, J_1}$  требуемого уровня  $y_{j_1}^o$ . Дополнительно на стадии развития осуществляется замена компонентов из множества  $w_g, g = \overline{1, G}$ , достигнувших критического уровня функциональности в течение жизненного цикла цифровой среды.

Проведено формализованное описание процесса многовариантной структуризации с использованием энтропийных оценок.



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.

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. Для характеристики процесса  $B$  будем считать, что множество альтернатив, связанных с реализацией компонентов  $w_g$ , образует нумерационное множество  $m_g = \overline{1, M_g}$ . Выбор  $m_g$ -й реализации будем характеризовать значением вероятности  $P_{m_g} = 1$ . 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  $H$ .

Для оптимизации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах на этапах А1-А3 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, связанном с объединением компонентов в организационное целое, следует продолжить редуцирующий 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, связанном с групповым упорядочением компонентов, включенных в цифровую среду управления, распределение в кластеры осуществляется в соответствии с максимальной близостью по эффекту влияния на выполнение требований к показателям эффективности организационной системы.

**Уровень 4** – последовательностной оптимизации.

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

**Уровень 5** – ресурсно-распределительной оптимизации.

На этапе многовариантной структуризации, связанном с распределением ресурсного обеспечения по стадиям функционирования и развития цифровой сферы, следует учитывать необходимость сочетания 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:

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

- с двумя индексами:

$$x_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-й компонент необходимо} \\ & \text{связать с } n\text{-м для достижения} \\ & \text{заданного уровня показателя;} \\ 0, & \text{в противном случае } m = \overline{1, M}, n = \overline{1, N}; \end{cases} \quad (2)$$

Значения показателей эффективности организационной системы зависят от выбранных реализаций компонентов развивающейся цифровой среды и являются функциями альтернативных переменных (1), (2):

$$y_j = f_j(x_m), y_j = f_j(x_{mn}) \quad (3)$$

Требования управляющего центра состоят в увеличении их значений до уровня не менее чем  $y_j^\circ$ , то есть:

$$y_j = f_j(x_m) \geq y_j^\circ, j = \overline{1, J} \quad (4)$$

Кроме того, эксперты управляющего центра выделяют один или несколько наиболее значимых показателей, для которых требования (4) трансформируются в экстремальные  $\psi_{j_1}(x_m) \rightarrow \min_{x_m}$ ,  $j_1 = \overline{1, J_1}$  с использованием следующей функции:

$$\psi_{j_1}(x_m) = \begin{cases} y_{j_1}^\circ - f_{j_1}, & \text{если } y_{j_1} \geq y_{j_1}^\circ, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (5)$$

где  $j_1 = \overline{1, J_1} \in \overline{1, J}$  – нумерационное множество показателей, к которым предъявляются экстремальные требования (5).

Наличие экстремальных и граничных требований приводит к задачам однокритериальной или многокритериальной оптимизации с ограничениями.

Влияние альтернативных переменных на выполнение условий (4) оценивается в нескольких формах:

– двоичной:

$$c_{mj} = \begin{cases} 1, & \text{если реализация компонента, соответствующая} \\ & m\text{-й альтернативной переменной способствует} \\ & \text{выполнению } j\text{-го условия (4)} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (6)$$

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

– ранговой:

$$a_{mj} = 1 - \frac{\rho_{mj}}{\sum_{j=1}^J \rho_{mj}}, m = \overline{1, M}, j = \overline{1, J}, \quad (7)$$

где  $a_{mj}$  – коэффициент значимости  $m$ -й реализации компонента для выполнения  $j$ -го условия (4),

$$0 \leq a_{mj} \leq 1, \sum_{j=1}^J a_{mj} = 1.$$

$\rho_{mj} = 1, 2, \dots, \rho_{mj}, \dots, J$  – нумерационное множество ранговой упорядоченности по значимости  $m$ -й реализации компонента для выполнения условия (4);

– функциональной (3).

Значения параметров (6), (7) определяются с использованием методов экспертного оценивания, а функциональные зависимости (3) – путем аналитических расчетов либо путем обработки статистических данных.

Оценивание размерности переменных оптимизационных 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 величина энтропии. Тогда указанное условие запишется следующим образом:

$$H(B) \geq H(A), \quad (8)$$

где  $H$  – обозначение величины энтропии.

Показано, что величина энтропии процесса  $A$  зависит от значений  $w_g, g = \overline{1, G}$  и  $G$ , а величина энтропии процесса  $B$  от значений  $M, N$ . Тогда при известных  $w_g, g = \overline{1, G}$  и  $G$  из соотношения (8) определяется размерность оптимизационных задач  $M, N$ .

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

- на стадии функционирования:

$$u(t), t = \overline{1, T}, \sum_{t=1}^T u(t) \leq U; \quad (9)$$

- на стадии развития:

$$u^p(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}, \sum_{t_1=1}^{T_1} u^p(t_1) \leq U^p \quad (10)$$

В этом случае оптимизационная модель представляет собой семейство формализованных описаний задач оптимизации, связанных при распределении ресурсного обеспечения по временным интервалам с ограничениями (9), (10). Оценивание влияния альтернативных множеств (9), (10) на достижение заданного уровня показателей эффективности организационной системы осуществляется с использованием функций:

$$y_j = f_j(u(t)), j = \overline{1, J}, t = \overline{1, T}; \quad (11)$$

$$y_j = f_j(u^p(t_1)), j = \overline{1, J}, t_1 = \overline{1, T_1}. \quad (12)$$

Желаемые изменения функций (11), (12) задаются экспертным путем.

Введены и обоснованы положения, определяющие построение алгоритмического обеспечения многовариантной структуризации на следующих уровнях структурной оптимизации.

**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;

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

$$F(x_m) = F(\omega, \alpha; f_{j_1} = (x_m); j_1 = \overline{1, J_1}), \quad (13)$$

где  $\omega$  – множество структур интегральной функции;  $\alpha$  – множество параметров интегральной функции.

3. Штрафную, определяющую степень влияния граничных требований (4) на достижение экстремума функций (13)

$$\phi(x_m) = \sum_{j_2=1}^{J_2} \lambda_{j_2} \phi_{j_2}(x_m), \quad (14)$$

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  $\phi_{j_2}^\circ$ .

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

Гибкость (14) определяется разнообразием вариантов разделения нумерационного множества показателей эффективности на два подмножества, числом сочетаний вариантов интегральной и штрафной функций, варьированностью 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 к особенностям решаемой комбинаторной оптимизационной задачи многовариантной структуризации 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.

**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. При этом монотонность итерационного рандомизированного поиска оптимального решения приемлемо контролировать на основе изменения величины энтропии процессов  $A$  и  $B$  многовариантной структуризации от максимального к минимальному значению.

Исходя из уровней 1-7, определена этапность процесса многовариантной структуризации развивающейся цифровой среды управления в организационных системах двух типов: многообъектной (рисунок 2) и автономной (рисунок 3). Целостная последовательность реализации этапов многовариантной структуризации приведена в виде структурной схемы на рисунке 4.

Таким образом предложенный аппарат многовариантной структуризации позволяет осуществить на единой концептуальной основе редуциционный механизм объединения компонентов в единую структуру и определяет концептуальную основу моделирования и оптимизации управления принятием решений в цифровизированной организационной системе.

В **третьей главе** осуществлено оптимизационное моделирование процесса многовариантной структуризации при управлении в цифровизированной организационной системе. Согласно уровню 1 оптимизационная модель многовариантной структуризации на компонентном уровне направлена на ограничение разнообразия множеств реализации  $g$ -го компонента  $w_g = \overline{1, W_g}$  до некоторого редуцированного множества  $\hat{w}_g = \overline{1, \hat{W}_g}$ ,  $g = \overline{1, G}$ . 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 (4) и экстремальным требованиям (5) к показателям цифровизированной организационной системы. Источником определения такого соответствия в форме двоичных (6) или ранговых (7) оценок является экспертная информация и её интеллектуальная обработка.

На основании условия (8) определена размерность оптимизационной модели при многовариантной структуризации на компонентном уровне

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

Определившись с размерностью множества альтернативных переменных и характеристикой влияния соответствующих им компонентов  $w_g$ ,  $g = \overline{1, G}$ , перейдем к формированию экстремальных и граничных требований.

В случае определения двоичных оценок имеет смысл использовать при формировании граничных требований их разделение на две группы: соответствующие требованиям (5)  $j_1 = \overline{1, J_1}$ , требованиям (4) –  $j_2 = \overline{1, J_2}$ , 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 (5) и  $C_{j_2}$  требований (4)

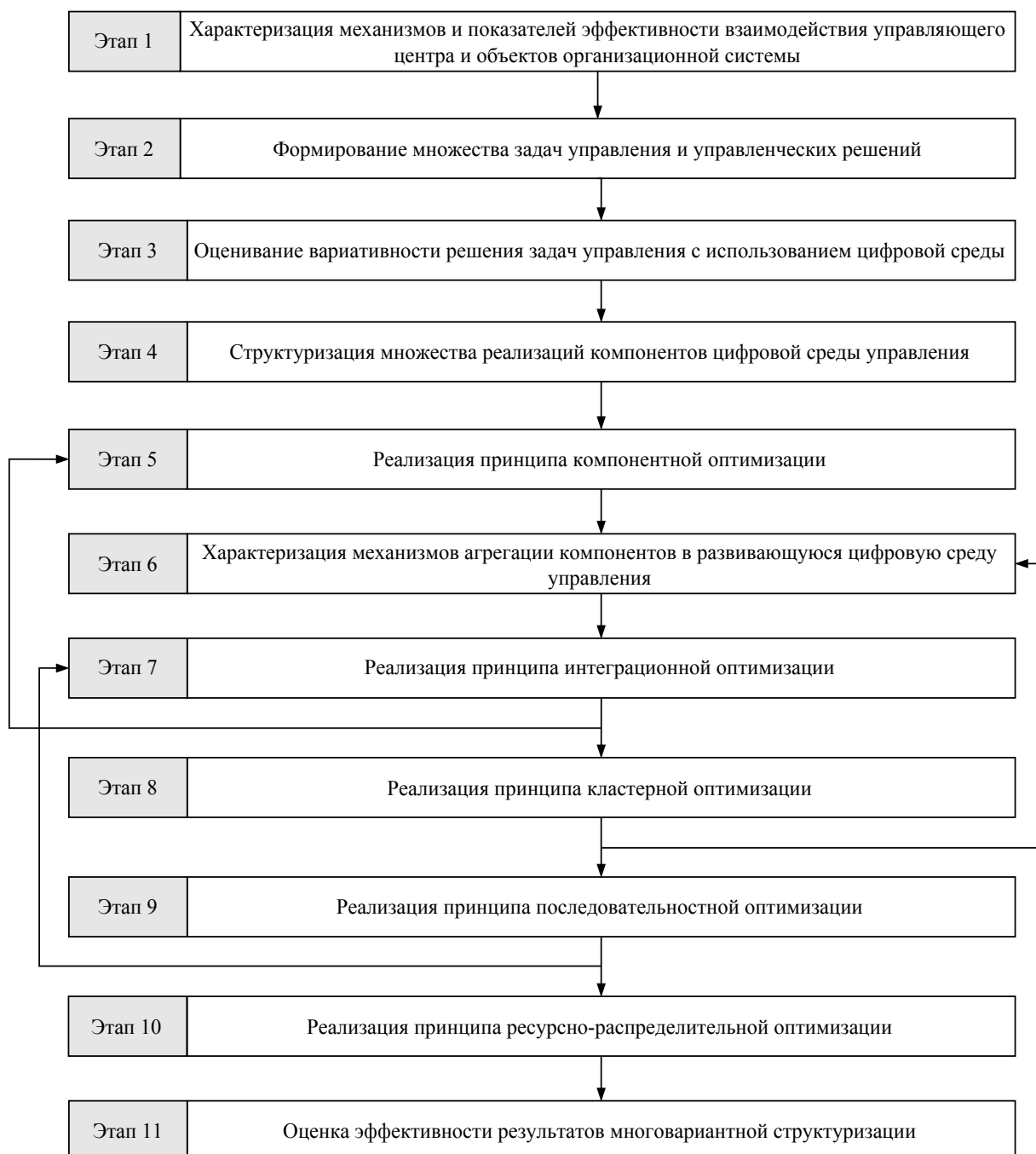


Рисунок 4 — Последовательность реализации этапов многовариантной структуризации

$$\begin{aligned}
 \sum_{m=1}^M c_{mj_1} x_m &\geq C_{j_1}, j_1 = \overline{1, J_1}; \\
 \sum_{m=1}^M c_{mj_2} x_m &\geq C_{j_2}, j_2 = \overline{1, J_2}.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Тогда экстремальное требование направлено на минимизацию числа компонентов  $\widehat{W}_g$ , включаемых в редуцированное множество

$$\sum_{m=1}^M x_m \rightarrow \min_{x_m} \quad (16)$$

В отличие от оптимизационной модели, где данных  $c_{mj_1}, C_{j_1}, c_{mj_2}, C_{j_2}$  достаточно для её построения, оценки (7) 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

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^M a_{mj_1} x_m &\rightarrow \max, \quad j_1 = \overline{1, J_1}, \\ \sum_{m=1}^M a_{mj_2} x_m &\rightarrow \max, \quad j_2 = \overline{1, J_2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Граничные требования связывают задачу компонентной оптимизации с задачей ресурсной оптимизации по следующим характеристикам:

–  $U_{w_g}^\circ, w_g = \overline{1, W_g}, g = \overline{1, G}$  – 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

$$\sum_{m=1}^M U_m^\circ x_m \leq \left( \sum_{m=1}^M x_m \right) U, \quad (18)$$

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

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

$$-\sum_{l=1}^L p_l^{k+1} \lg p_l^{k+1} \leq -\sum_{l=1}^L p_l^k \lg p_l^k, \quad (19)$$

где  $p_l^k, p_l^{k+1}$  – вероятностные характеристики на  $k$ -й и  $(k + 1)$ -й итерациях рандомизированной схемы поиска решения.



Процесса  $B$

$$\begin{aligned}
 & - \sum_{m=1}^M [p_{x_m}^{k+1} \lg p_{x_m}^{k+1} + (1 - p_{x_m}^{k+1}) \lg(1 - p_{x_m}^{k+1})] \leq \\
 & - \sum_{m=1}^M [p_{x_m}^k \lg p_{x_m}^k + (1 - p_{x_m}^k) \lg(1 - p_{x_m}^k)],
 \end{aligned} \tag{20}$$

где  $p_{x_m}^k, p_{x_m}^{k+1}$  – вероятности принятия переменными (1) значения 1 при реализации процесса  $B$  на  $k$ -й и  $(k + 1)$ -й итерациях рандомизированной схемы поиска решения.

Энтропийные оценки (19), (20) используются для проверки правила останова итерационного процесса при  $k = K$ . После останова на основе альтернативных переменных  $x_m^* = 1$  формируются редукционные множества реализаций компонентов

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

что и является результатом многовариантной структуризации на компонентном уровне.

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

Для постановки задачи интегральной оптимизации в первую очередь требуется определить математическую зависимость (3) показателей интегрированной системы от показателей реализации компонентов  $y_{j\widehat{w}_g}$ , считая, что каждая реализация компонента связана с определенной альтернативной переменной. При этом возможны три способа формирования этих зависимостей.

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

$$y_j = \sum_{g=1}^G y_{j\widehat{w}_g}, \tag{21}$$

либо мультипликативным

$$y_j = \prod_{g=1}^G y_{j\widehat{w}_g}. \tag{22}$$

К показателям, вычисляемым в соответствии с (21), относятся различные экономические характеристики (стоимость, затраты), временные (трудоемкость); вычисляемым в соответствии с (22) – надёжностные характеристики

(вероятность безотказной работы, вероятность поддержания функциональности цифровых средств).

2. Характеризация взаимодействия управляющего центра с объектами организационной системы (Рисунок 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  $y_{j\widehat{w}_g}$ , которые соответствуют определенной альтернативной переменной.

3. Характеризация управляющего центра с исполнительными эргатическими элементами (Рисунок 2) при выполнении задач  $Z_i$ ,  $i = \overline{1, I}$  как человеко-машинной системы. 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 надежные показатели интегрированной системы.

Исходя из условия (8) определена размерность оптимизационной задачи

$$N = G, M_n = \widehat{W}_g, n = \overline{1, N}. \quad (23)$$

Если  $M_n = \widehat{W}_g \leq 8$ , то общая размерность множества альтернативных переменных равна  $8G$ , что определяет трудоемкость итерационного решения задачи. Предлагается для сокращения размерности (23) осуществить нумерацию реализаций компонентов  $\widehat{w}_g = \overline{1, \widehat{W}}$  при  $\widehat{W}_g \leq 8$ ,  $g = \overline{1, G}$  в двоичном исчислении через альтернативные переменные  $x_m$ ,  $m = \overline{1, M}$

$$\begin{aligned} \widehat{w}_1 &= 1 + x_1 2^0 + x_2 2^1 + x_3 2^2, \\ &\vdots \\ \widehat{w}_g &= 1 + x_{m-2} 2^0 + x_{m-1} 2^1 + x_m 2^2, \\ &\vdots \\ \widehat{w}_G &= 1 + x_{M-2} 2^0 + x_{M-1} 2^1 + x_M 2^2. \end{aligned} \quad (24)$$

В случае оптимизируемых переменных (24) общая размерность задачи  $3G$ , что в 2,7 раза снижает трудоемкость её решения.

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

$$\begin{aligned} \psi_{j_1}(x_{mn}) &\rightarrow \text{extr}, j_1 = \overline{1, J_1}, \\ f_{j_2}(x_{mn}) &\leq y_{j_2}^\circ, j_2 = \overline{1, J_2}, \\ x_{mn} &= \begin{cases} 1, & m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}. \end{cases} \end{aligned} \quad (25)$$

Структурная схема оптимизационного моделирования интеграционного процесса многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы приведена на рисунке 5.

Таким образом, сформированная модель и алгоритм интеграционной оптимизации позволяют 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.

Рассмотрено построение оптимизационной модели, направленное на реализацию уровня 3 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.

На основании условия (8) определена 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

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} c_{mn} x'_{mn} &\rightarrow \max, \\ \sum_{m_n=1}^{M_n} x'_{mn} &= 1, \quad n = \overline{1, N}, \\ x'_{mn} &= \begin{cases} 1, & m_n = \overline{1, M_n}, \quad n = \overline{1, N}. \\ 0, & \end{cases} \end{aligned} \quad (26)$$

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  $S_r = \overline{1, S_r}$ .

Исходя из условия (8) определим размерность оптимизационной модели

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

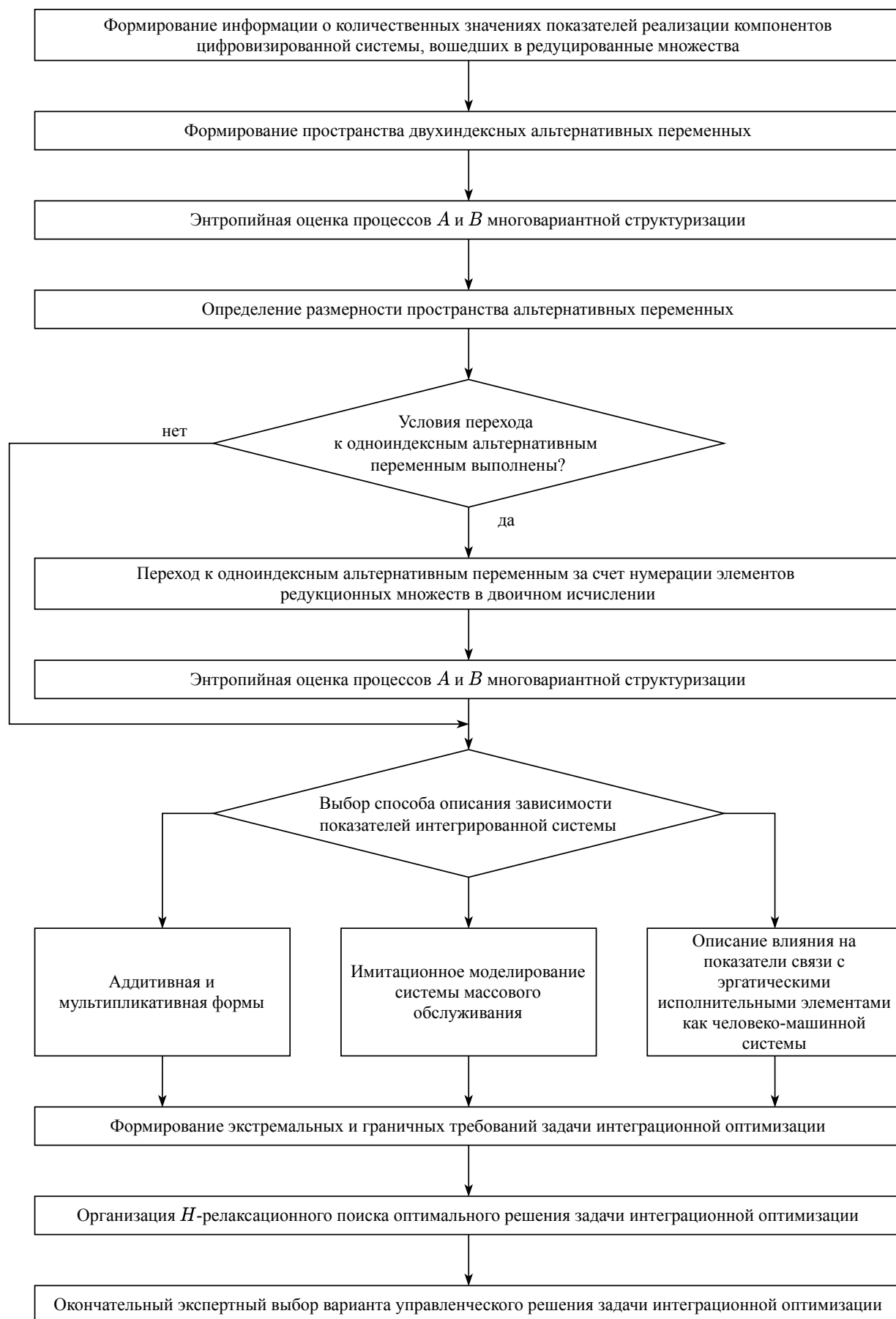


Рисунок 5 – Структурная схема оптимизационного моделирования интеграционного процесса многовариантной структуризации

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:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M a_{mn} x''_{mn} \rightarrow \max, \\
 & \sum_{m=1}^M x''_{mn} = 1, \quad n = \overline{1, N}, \\
 & \sum_{n=1}^N x''_{mn} = 1, \quad m = \overline{1, M}, \\
 & x''_{mn} = \begin{cases} 1, & m_n = \overline{1, M_n}, \quad n = \overline{1, N}. \\ 0, & \end{cases}
 \end{aligned} \tag{27}$$

Процесс итерационного рандомизированного поиска задач кластерной (26) и последовательной оптимизаций (27) предложено рассматривать как составляющие итерационного процесса поиска интеграционной оптимизации. С этой целью коэффициенты  $c_{mn}^k$  и  $a_{mn}^k$  рассчитываются на каждой  $k$ -й итерации от значений вероятностных характеристик оптимизируемых переменных  $x_{mn}$  задачи интеграционной оптимизации, которые соответствуют  $g$ -му компоненту.

Таким образом, предложенные модели кластерной и последовательной 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 на этапе развития цифровой среды.

**Четвертая глава** посвящена разработке моделей и алгоритмов оптимизации ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития цифровой среды организационной системы.

На пятом уровне многовариантной структуризации осуществляется оптимизация 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.

На основании последовательной оптимизации 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,  $G' \leq G$ .

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  $t = \overline{1, T}$ .

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

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

в течение 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  $\hat{t}_g$  в виде отношения величины  $\tau_g$  к периоду времени функционирования  $T$

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

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

$$x_g = \begin{cases} 1, & \text{если } g\text{-й компонент эксплуатируется} \\ & \text{на стадии функционирования развивающейся} \\ & \text{цифровой среды управления,} \\ 0, & \text{в противном случае, } g = \overline{1, G}. \end{cases} \quad (28)$$

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

$$\sum_{g=1}^G \hat{t}_g x_g \rightarrow \max \quad (29)$$

при выделенном ресурсном обеспечении  $U$

$$\sum_{g=1}^G u_g^{\circ} x_g \leq U. \quad (30)$$

Решение, 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

$$\sum_{k=1}^K u_{g'k} \leq U_{g'}^{\circ}, \quad g' = \overline{1, G'}, \quad (31)$$

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:

$$\tilde{f}_k = \tilde{f}(t_k), \quad k = \overline{1, K}, \quad (32)$$

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:

$$E(u_k, t_k) = P(1 \geq f(u_k, t_k) \geq f_{\text{кр}}), \quad k = \overline{1, K}, \quad (33)$$

где  $P$  – обозначение вероятности случайного события.

Возможность вычисления оценки эффективности (33) позволяет обеспечить распределение интегрального ресурса  $U^{\circ}$  между временными интервалами  $t_k, k = \overline{1, K}$  таким образом, чтобы максимизировать эффективность их использования для поддержания функциональности при выполнении условия (31). Формализованная запись такой задачи имеет вид:

$$\sum_{k=1}^K E(u_k, t_k) \rightarrow \max_{(u_k, k=1, K) \in G}; \quad (34)$$

$$G = \begin{cases} u_k | \sum_{k=1}^K u_k \leq U^{\circ}, \\ u_k \geq 0, \quad k = \overline{1, K}. \end{cases}$$

Эффективным способом решения оптимизационной задачи (34) является организация  $K$ -шагового процесса принятия решений (многошагового процесса принятия оптимальных решений).

Стадию развития цифровой среды управления в организационных системах охарактеризуем следующими множествами и величинами:

- $g_1 = \overline{1, G_1}$  – 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;
- $U_{g_1}^P$  – объем ресурсного обеспечения, необходимый для интеграции  $g_1$ -го компонента за период времени  $T_1$ ;
- $U_{g_1}^P(t_1)$  – объем ресурсного обеспечения, выделяемый на временном интервале  $t_1$ ;
- $U_{g_2}^P$  – 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 включает 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.

Таким образом, сформированные 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.

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 –  $T$ .

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 рассмат-



ривать единое нумерационное множество  $t = \overline{1, T + T_1}$  с варьируемым на интервале  $T' \leq T \leq T''$  моментом времени перехода от стадии функционирования к стадии развития.

Сформулированы содержательные условия оптимизации процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития, которые представлены в виде оптимизационных моделей.

Стадия функционирования

$$\begin{aligned} \sum_{g=1}^{G(T)} \hat{t}(T) x_g &\rightarrow \max_T, \\ \sum_{g=1}^{G(T)} U_g^\circ x_g &\leq U(T), \\ x_g &= \begin{cases} 1, & g = \overline{1, G}; \\ 0 & \end{cases} \end{aligned} \quad (35)$$

стадия развития

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=1}^{J_1(T)} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} \mu_{g_1 j_1} x_{g_1} &\rightarrow \max_T, \\ \sum_{g_1=1}^{G_1(T)} U_{g_1}^p x_{g_1} &\leq U^p(T) - \sum_{g_2=1}^{G_2(T)} U_{g_2}^p, \\ x_g &= \begin{cases} 1, & g_1 = \overline{1, G_1}. \\ 0 & \end{cases} \end{aligned} \quad (36)$$

Обосновано, что 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.

Таким образом, предложенные модель и алгоритм синхронизации ресурсного обеспечения на эффективное функционирование и развитие цифровизированных организационных систем позволяют оптимизировать условия перехода от поддержания функциональности компонентов цифровой среды к вводу новых с обеспечением устойчивого характера процесса принятия управленческих решений.

В пятой главе рассмотрена реализация многовариантной структуризации управления в цифровизированной автономной организационной системе. Дана характеристика взаимодействия задач деятельности и групп исполнительных эргатических элементов автономной организационной системы аграрного профиля.

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  $y_{ij}^0$ ,  $i = \overline{1, I}$ ,  $j = \overline{1, J}$ , устанавливаемых управляющим центром.

Эффективность групп исполнительных эргатических элементов  $I_n$ ,  $n = \overline{1, 18}$  при выполнении задач  $Z_i$ ,  $i = \overline{1, 16}$  предполагается оценивать в двух направлениях: по уровню достижения целей  $y_{ij}^0$  – 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.

Сформирована иерархическая 4-уровневая система показателей управления эффективностью функционирования исследуемой системы. Для каждого уровня определены соотношения рассматриваемых локальных экономических показателей эффективности управления с интегральным показателем этого уровня. Таким образом для постановки оптимизационных задач многовариантной структуризации цифровизированной организационной системы используем множество показателей  $y_j$ ,  $j = \overline{1, 22}$ , связанных соотношениями с четырьмя интегральными показателями.

Цифровая среда управления обеспечивает поддержку принятия решений, реализуемых исполнительными эргатическими элементами  $I_n$ ,  $n = \overline{1, 18}$  в рамках их участия в выполнении задач деятельности  $Z_i$ ,  $i = \overline{1, 16}$ . В неё включены компоненты  $w$ , идентифицируемые нумерационным множеством  $w = \overline{1, 10}$ .

Показано, что реализация второго уровня - интеграционной оптимизации, для рассматриваемой системы состоит в выборе реализаций компонентов  $w = \overline{1, 10}$  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 .

Для формулировки оптимизационной модели интеграционного процесса многовариантной структуризации перейдем от нумерационных множеств  $g_w$ ,  $w = \overline{1, 10}$ ,  $g_w = \overline{1, G_w}$  к множеству альтернативных переменных.

$$g_w = 1 + x_{w_1} + 2x_{w_2}, \quad w = \overline{1, 10}. \quad (37)$$

Введение двух альтернативных переменных

$$x_{w_1} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad x_{w_2} = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad w = \overline{1, 10} \quad (38)$$

определяется двоичным представлением значений  $G_w$ ,  $w = \overline{1,10}$ .

Зависимости показателей  $y_j$ ,  $j = \overline{1,22}$  от альтернативных переменных (38) предлагается представлять в виде ранговых оценок влияния каждого варианта сочетаний реализации компонентов

$$r_l, l = \overline{1,L}, L = \prod_{w=1}^{10} G_w. \quad (39)$$

Для уменьшения числа вариантов  $L$  (39) выполнены две процедуры ранговой упорядоченности.

Первая процедура позволяет выделить наиболее значимые компоненты цифровой среды, обеспечивающие управление по показателям  $y_j$ ,  $j = \overline{1,22}$ .

$$w_j = \begin{cases} 1, & \text{если } w - \text{й компонент оказывает} \\ & \text{существенное влияние на изменение} \\ & \text{значения показателя } y_j, \\ 0, & \text{в противном случае,} \\ & w = \overline{1,10}, j = \overline{1,22}. \end{cases} \quad (40)$$

Значения (40) приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Значимость влияния компонентов цифровой среды управления на показатели эффективности

|          | $w_1$ | $w_2$ | $w_3$ | $w_4$ | $w_5$ | $w_6$ | $w_7$ | $w_8$ | $w_9$ | $w_{10}$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| $y_1$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_2$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_3$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_4$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_5$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_6$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_7$    |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_8$    | +     | +     | +     |       |       |       |       |       |       |          |
| $y_9$    | +     | +     | +     |       |       |       |       |       |       |          |
| $y_{10}$ | +     | +     | +     |       |       |       |       |       |       |          |
| $y_{11}$ | +     | +     | +     |       |       |       |       |       | +     | +        |
| $y_{12}$ |       |       | +     |       |       | +     |       |       |       | +        |
| $y_{13}$ |       |       | +     |       |       |       | +     | +     |       |          |
| $y_{14}$ |       | +     |       |       |       | +     |       |       |       | +        |
| $y_{15}$ |       | +     | +     |       |       |       |       |       |       | +        |
| $y_{16}$ | +     | +     |       |       |       |       |       |       |       | +        |
| $y_{17}$ | +     |       |       |       |       | +     | +     |       | +     |          |
| $y_{18}$ | +     |       | +     |       |       |       |       |       |       | +        |
| $y_{19}$ | +     | +     |       | +     |       |       |       |       |       |          |
| $y_{20}$ | +     | +     |       |       |       |       |       |       |       | +        |

|          | $w_1$ | $w_2$ | $w_3$ | $w_4$ | $w_5$ | $w_6$ | $w_7$ | $w_8$ | $w_9$ | $w_{10}$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| $y_{21}$ | +     | +     |       |       |       |       |       |       |       | +        |
| $y_{22}$ | +     | +     |       |       |       |       |       |       |       | +        |

Вторая процедура направлена на измерение значений показателей величин рангов, установленных экспертным путем:

$$y_j = r_{lj}(w_j = 1), j = \overline{1, J},$$

$$l_j = \overline{1, L_j}, L_j = \prod_{w=1}^{10} w_j G_w. \quad (41)$$

Следующим этапом после введения альтернативных переменных (38) и экспертных оценок рангов (41) является разделение показателей на два подмножества:

–  $y_{j_1}, j_1 = \overline{1, J_1}$  – показатели, к которым предъявляются экстремальные требования,

–  $y_{j_2}, j_2 = \overline{1, J_2}$  – показатели, к которым предъявляются граничные требования с последующим формированием оптимизационной модели (25).

Рассмотрены наиболее характерные сочетания экстремальных и граничных требований в рамках оптимизационной модели для исследуемой организационной системы. При этом альтернативные переменные, которым в таблице 1 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  $v_w^\circ$ , необходимого для реализации поддержания  $l_j$ -го варианта с использованием  $w$ -го компонента в соответствии со значениями альтернативных переменных  $x_{w_1}, x_{w_2}$

$$\sum_{w=1}^{10} v_w^\circ (x_{w_1}, x_{w_2}) \leq V, \quad (42)$$

где  $V$  – интегрированный ресурс, выделенный для поддержания функциональности компонентов цифровой среды.

Первый вариант экстремальных требований состоит в минимизации:

– рассогласования плановых и фактических значений прибыли

$$\psi_1 = (y_5 - y_4)^2 \rightarrow \min; \quad (43)$$

– рассогласования плановых и фактических значений экономичности

$$\psi_2 = (y_6 - y_7)^2 \rightarrow \min. \quad (44)$$

В случае экстремальных требований (43) и (44) в качестве граничных условий, кроме (42), используются ограничения на все виды расходов

$$\begin{aligned}
y_{15} \leq y_{15}^{\circ}, y_{17} \leq y_{17}^{\circ}, y_{18} \leq y_{18}^{\circ}, y_{19} \leq y_{19}^{\circ}, \\
y_{20} \leq y_{20}^{\circ}, y_{21} \leq y_{21}^{\circ}, y_{22} \leq y_{22}^{\circ}.
\end{aligned}
\tag{45}$$

Для реализации уровня ресурсно-распределительной оптимизации рассматривается двухгодичный цикл выполнения задач деятельности в рамках автономной организационной системы. Этот цикл разобьем на квартальные подпериоды, считая, что стадия функционирования определяется дискретными подпериодами  $t = \overline{1,4}$ , а стадия развития  $t_1 = \overline{1,4}$ .

Первая распределительная задача состоит в установлении компонентов цифровой среды из множества  $w = \overline{1,10}$ , поддержка жизненного цикла которых осуществляется ресурсным обеспечением  $U$ , выделенным на стадии функционирования. Каждый  $w$ -й компонент характеризуется периодом времени поддержания уровня функциональности  $\tau_w$ , оцененном в масштабе квартальных подпериодов, и потребностью для этих целей в ресурсном обеспечении, которую будем оценивать долей от величины  $U$  —  $u^{\circ}$ . Для компонентов  $w = \overline{1,10}$  эти данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Характеристики функциональности и ресурсного обеспечения компонентов цифровой среды управления

| $w$           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|---------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| $\tau_w$      | 6,4  | 6,2  | 6,8  | 6,5  | 6,9 | 5,8  | 7,2  | 7,4  | 6,3  | 5,6  |
| $u_w^{\circ}$ | 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 2, использованы для решения задачи оптимизации вида

$$\begin{aligned}
\sum_{w=1}^{10} \tau_w x_w \rightarrow \max, \\
\sum_{w=1}^{10} u_w^{\circ} x_w \leq 1, \\
x_w = \begin{cases} 1, & w = \overline{1,10}. \\ 0, & \end{cases}
\end{aligned}
\tag{46}$$

Оптимальное решение (46)  $x_w^*$ ,  $w = \overline{1,10}$  приведено в таблице 2.

На основе оптимизационного моделирования определяются компоненты цифровой среды управления, используемые на первой стадии, и для каждого из 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, соответствующее каждому временному интервалу.

Таким образом, сформированные проблемно-ориентированные оптимизационные модели и алгоритмы многовариантной структуризации цифровизированной автономной организационной системы позволяют на основе исследования взаимосвязей всех её компонентов в рамках иерархической схемы показателей эффективности выбрать оптимальные реализации цифровых средств в интегрированной среде управления и оптимизировать распределение ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития.

В **шестой главе** рассмотрены вопросы применения комплекса моделей, алгоритмов и программных средств многовариантной структуризации в практике цифрового управления автономной организационной системой аграрного профиля.

Проведена характеристика компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой «АгроПоле», разработанной при участии автора. Структура цифровой среды организационной системы агропромышленного предприятия включает в себя ряд типовых модулей и общесистемные средства организации взаимодействия модулей. Основным общесистемным модулем является модуль Администрирования.

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 осуществляется на основании доступных пользователю ролей (планирование севооборота, работа техники, учет выполнения заданий).

Перечисленные функции реализуются через приложения для планшетов и сотовых телефонов. Модуль «План-фактный анализ» позволяет в режиме онлайн отслеживать финансовые показатели предприятия и проводить план-фактный анализ по производственным затратам и по культурам. «Сменное задание» позволяет осуществлять диспетчеризацию сельскохозяйственной техники и агрегатов в рамках организации и является основой для заданий в АРМ или путёвок на выполнения полевых работ механизаторами и водителями. Модуль «Карта мониторинга» позволяет в реальном масштабе времени отслеживать работу всех сотрудников предприятия (механизаторов, шоферов, диспетчеров, агрономов и т. д.). Модуль оптимизации организационной структуры агропредприятия в системе цифровизации управления «АгроПоле» позволяет рассчитывать показатели  $y_i$  по каждому сотруднику (исполнительному эргатическому элементу), подразделению или отделу (группе исполнительных эргатических элементов), определять зависимость показателей эффективности  $y_i$  от параметров цифровой среды. 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.

В рамках технической архитектуры выделяются три схемы базы данных: «Accounts Information», «Personal Data» и «File Archive». Схема «Accounts Information» – предназначена для ведения объектов БД по администрированию информационной системы. Схема «Personal Data» – предназначена для ведения объектов БД по объектам и производственным показателям сельскохозяйственного предприятия, а также для ведения ретроспективных данных.

На основе проведенной характеристики 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.

На основе план-фактного анализа показателей работы организации аграрного профиля по критериям (43), (44) формируются требования к показателям эффективности функционирования цифровизированной системы, которые используются для выработки управляющих воздействий на организационную структуру предприятия, цифровую среду управления и экономические характеристики. Это позволяет провести оптимизацию управления на основе предложенных методов многовариантной структуризации.

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.

Программный комплекс цифровизации управления организационной системой агропромышленного предприятия «Агрополе» предназначен для решения задач оперативного управления, планирования, контроля деятельности сотрудников, 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 управления процессами принятия решений 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 основные положения 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, использующей 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 № 2023613822 от 20.02.2023).

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 № 2022682669 от 24.11.2022).

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 2,5% при достижении лучших экономических показателей; сократилась численность организационной структуры компании на 6,4% и улучшились показатели деятельности 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 организационных 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.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Монографии**

1. 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. – ISBN 978-5-4446-1673-4.

2. Рындин, Н. А. Многовариантная структуризация цифровой среды управления в организационных системах: монография / Н. А. Рындин – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2023. – 172 с. – ISBN 978-5-907328-22-8.

### **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

3. Рындин, Н. А. Формализованное описание процесса оптимального построения корпоративных информационных систем / Н. А. Рындин, Я. Е. Львович // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2003. – № 3–3. – С. 10–13.

4. 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.

5. Рындин, Н. А. Автоматизация сбора начальной проектной информации и выявления существующих технических и организационных политик при построении телекоммуникационных систем / Н. А. Рындин, Я. Е. Львович // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2004. – № 3–4. – С. 5–8.

6. Рындин, Н. А. Прогностическая оценка стоимости проекта структурированной кабельной системы на начальной стадии предпроектного исследования / Н. А. Рындин, А. А. Калмыков // Информационные технологии. – 2005. – №2. – С. 37–42.

7. Рындин, Н. А. Обобщенный алгоритм проектирования телекоммуникационной системы в условиях жестких требований к пропускной способности сети / Н. А. Рындин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 12. – С. 33–39.

8. Рындин, Н. А. Математические модели оптимизации структуры телекоммуникационных систем / Н. А. Рындин, А. А. Калмыков // Информационные технологии. – 2006. – № 12. – С. 50–54.

9. Рындин, Н. А. Исследование эффективности разработанного генетического алгоритма поиска оптимальных структур телекоммуникационных систем / Н. А. Рындин, Я. Е. Львович, А. А. Калмыков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 233–236.

10. 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.

11. Скворцов, Ю. С. Модель динамического севооборота на основе уравнения Беллмана с конечным горизонтом / Ю. С. Скворцов, Н. А. Рындин, А. Ж. Амоа // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. – Т. 7. – № 1 (24). – С. 449–458.

12. 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;7(4). Доступно по: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/RyndinSoavtors\\_4\\_19\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/RyndinSoavtors_4_19_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.020

13. 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.

14. 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.

15. Львович, Я. Е. Оптимизация распределения ресурсного обеспечения на стадиях развития и функционирования цифровизированных организационных систем / Я. Е. Львович, Н. А. Рындин // Информационные технологии. – 2022 – Том 28. – № 6. – С. 294–301.

16. 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.

17. Рындин, Н. А. Компонентная оптимизация развивающейся цифровой среды управления в организационных системах / Н. А. Рындин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 2 (37). – Режим доступа: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1140>. – DOI:10.26102/2310-6018/2022.37.2.013.

18. 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.

19. Рындин, Н. А. Алгоритмизация процесса многовариантной структуризации в цифровизированных организационных системах / Н. А. Рындин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – № 11(1). – Режим доступа: [https:// moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1274](https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1274). – DOI:10.26102/2310-6018/2023.40.1.005.

20. 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. 75–88.

21. 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.

#### **Публикации в изданиях, индексируемые в базах «Scopus» и «Web of science»**

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. Lvovich, Ya. E. Optimization of the level of components' functionality of developing software systems / Ya. E. Lvovich, N. A. Ryndin, A. A. Ryndin, Yu. S. Sakharov // Revista San Gregorio. – 2020. – no. 41. – URL: <https://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/1474>

26. 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.

## Статьи и материалы конференций

27. Гончарова, О. И. Система управления и контроля работы сельскохозяйственного предприятия в 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.

28. 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.

29. 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. 2402, 050039.

30. 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. Сер. "III International Scientific Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering, APITECH-III 2021 – Cybernetics and IT". – 2021. 2094(3), 032002.

31. 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. – Yelm, WA, USA, 2022. – P. 75–81.

32. 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.

33. 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. – 2022. – С. 169–172.

34. Рындин, Н. А. Модели и алгоритмы оптимизации ресурсного обеспечения процесса функционирования цифровой среды управления в организационных системах / Н. А. Рындин // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: труды Международной молодежной школы. – Воронеж. – 2022. – С. 173–176.

35. 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-практической конференции. – Воронеж. – 2022. – С. 42–44.

36. Рындин, Н. А. Оптимизация цифровой среды управления организационной системой агропромышленного предприятия. / Н. А. Рындин, Б. Н. Тишуков // Интеллектуальные информационные системы: труды Международной научно-практической конференции. – Воронеж. – 2022. – С. 21–24.

37. Рындин, Н. А. Формализация синтеза проектных решений при разработке архитектуры развивающихся программных систем. / Н. А. Рындин, С. В. Сапегин // Интеллектуальные информационные системы: труды Международной научно-практической конференции. – Воронеж. – 2022. – С. 108–112.

38. 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.

39. 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.

40. Ryndin, N. A. Features of software clustering in the control loop of large information systems / N. A. Ryndin // Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2023'SCT): Proceedings of the XXVIII-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2023). – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2023. – P. 63–80.

41. Ryndin, N. A. Research of scalability and stability of tools of digitalized organizational systems / N. A. Ryndin, D. A. Danilov // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2023'AS): Proceedings of the XXVII-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2023). – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2023. – P. 182–193.

42. Рындин, Н. А. Формирование требований к показателям эффективности функционирования организационной системы агропромышленного предприятия на основе план-фактного анализа / Н. А. Рындин, Р. Ю. Есиков // Интеллектуальные информационные системы: материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2023. – С.134–138.

43. Рындин, Н. А. Многовариантная структуризация управления в цифровизированной организационной системе аграрного предприятия / Н. А. Рындин // Интеллектуальные информационные системы: материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2023. – С.145–148.

44. Рындин, Н. А. Формирование множества компонентов цифровой среды управления и вариантов их реализации в организационной системе аг-

рарного предприятия / Н. А. Рындин // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: труды Международной молодежной научной школы. – Воронеж, 2023. – С. 32–35.

45. Рындин, Н. А. Характеризация компонентов цифровой среды управления автономной организационной системой «Агрополе» / Н. А. Рындин, Р. Ю. Есиков // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: труды Международной молодежной научной школы. – Воронеж, 2023. – С. 77–80.

### **Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ**

46. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021666399. Система цифровизации управления агропромышленным предприятием / А. В. Евдокимов, Ю. С. Скворцов, Н. А. Рындин – № 2021665082; заявл. 27.09.2021; опублик. 13.10.2021.

47. Свидетельство о государственной 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; опублик. 24.11.2022.

48. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023613822. Подсистема многовариантной структуризации системы цифровизации управления «АгроПоле» / А. В. Евдокимов, Р. Ю. Есиков, Н. А. Рындин – № 2023612438; заявл. 09.02.2023; опублик. 20.02.2023.

49. Свидетельство о государственной 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; опублик. 20.02.2023.

### **Личный вклад автора**

В опубликованных трудах:

[1, 11, 27, 36, 42, 45] – автором предложены многовариантные оптимизационные модели структурной оптимизации цифровой среды организационной системы аграрного профиля.

[3, 5, 6, 8, 9, 12, 21] – автором построены алгоритмы оптимизации структуры корпоративной информационной системы, модели прогнозирования производительности телекоммуникационной системы, оптимизационные модели и алгоритмы развивающейся цифровой среды.

[10, 16, 22–26, 29, 37, 41] – автором разработаны модели и алгоритмы оптимизации структуры корпоративных информационных систем, методология построения эффективных архитектур таких систем.

[13, 15, 18, 20, 28, 35, 42] – автором разработаны оптимизационные модели и алгоритмы последовательностной, компонентной, интеграционной и кластерной оптимизации, ресурсного распределения на стадии функционирования и развития цифровой среды в организационных системах.

Подписано в печать 24.03.2023.  
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л. 2,0. Уч. изд. л. 1,6.  
Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.  
Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.