

На правах рукописи



**МУХА Владимир Владимирович**

**УПРАВЛЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ  
В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ  
МНОВОВАРИАНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ  
РЕШЕНИЙ**

Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Львович Яков Евсеевич**, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Сумин Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФКОУ ВО «Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний», профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем

**Преображенский Юрий Петрович**, кандидат технических наук, доцент, АНОО ВО «Воронежский институт высоких технологий», проректор по информационным технологиям

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (г. Волгоград)

Защита состоит «23» декабря 2022 года в 12:00 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, д. 14, ауд. 216.

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

Автореферат разослан «01» ноября 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Гусев  
Константин Юрьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время происходит ускорение цифровой трансформации процессов функционирования в организационных системах разнообразных сфер деятельности за счёт интенсификации применения информационных технологий. Основные тенденции такого ускорения в значительной мере проявляются при управлении логистическим процессом (промышленные, транспортные, строительные, торговые организационные системы), что существенным образом влияет на эффективность системы в целом. Управляемое перемещение результатов деятельности объектов организационной системы между собой и к потребителям с использованием цифровых средств требует синхронного управления материальными и информационными потоками на основе оптимизационного подхода. Исследования по проблеме оптимизации принятия управленческих решений с применением формализованных описаний взаимодействия компонентов цифровизированного логистического процесса базируются на общей теории управления в организационных системах и нашли отражение в научных трудах отечественных ученых Д.И. Батищева, А.М. Бершадского, В.Н. Буркова, М.Б. Гузаирова, В.А. Зернова, Г.Г. Иванова, Я.Е. Львовича, В.Г. Наводнова, Д.А. Новикова, Ю.А. Сахарова, Е.Н. Смольяниновой.

Однако полученные результаты в этой области в основном носят обобщенный характер и не учитывают тенденции, характерные для цифрового управления логистическим процессом:

- интеграция управления материальными и информационными ресурсами в рамках цифровизации взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы;

- структурная связанность показателей эффективности в организационной системе для логистической части и характеристик информационного обмена в рамках интегрированного компонента логистического процесса;

- разнообразие универсальных цифровых платформ, используемых для выработки управляющих воздействий на поток транспортируемых ресурсов организационной системы, участвующих в логистическом процессе;

- многовариантность структуры решений, обеспечивающих эффективное взаимодействие цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы при принятии управленческих решений.

Несмотря на появление работ, связанных с анализом этих тенденций, научные задачи, определяющие проблемную ориентацию формализованных методов моделирования и оптимизации на особенности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе, в полной мере не рассматриваются.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования связана с современными потребностями по переходу к цифровому управлению логистическим процессом с учетом необходимости развития аппарата формализованного описания, оптимизации и экспертного оценивания, ориентированных на принятие решений при многовариантном характере

взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов логистической части организационной системы.

Работа выполнена в рамках основного научного направления Воронежского государственного технического университета «Информационные системы и технологии».

**Целью диссертационного исследования** является повышение эффективности управления логистическим процессом на основе многовариантного моделирования и оптимизации структурных решений при взаимодействии цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать возможности повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на основе многовариантного моделирования и оптимизации структурных решений;

- сформировать модели многовариантного выбора при оптимизации структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе;

- разработать алгоритмы принятия решений при оптимизации структуры цифрового управления логистическим процессом на основе моделей многовариантного выбора;

- разработать программные средства многовариантного моделирования и оптимизации и оценить их эффективность в практике цифрового управления логистическим процессом в организационной системе.

**Объект исследования:** цифровое управление логистическим процессом в организационной системе.

**Предмет исследования:** проблемно-ориентированные модели многовариантного выбора и алгоритмы принятия решений при оптимизации структуры цифрового управления логистическим процессом в рамках организационной системы.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались основные положения теории управления, теории вероятностей и математической статистики, методы многовариантного анализа на основе оптимизационных и имитационных моделей, многокритериальной оптимизации, адаптации и экспертного оценивания.

**Соответствие диссертации паспорту специальности.**

П.2 Разработка математических моделей и критериев эффективности, качества и надёжности организационных систем.

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.

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

— структура системы принятия решений по оптимизации цифрового управления логистическим процессом, отличающаяся учетом особенностей взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы и обеспечивающая достижение установленных требований к показателям эффективности преобразования материальных и информационных потоков;

— оптимизационные модели многовариантного выбора структуры цифрового управления логистическим процессом, отличающиеся математическим описанием влияния разнообразия структурных решений взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы при формировании экстремальных и граничных требований и обеспечивающие согласованность показателей эффективности преобразования материальных потоков;

— алгоритм оптимального выбора на фиксированном множестве структурных решений, отличающийся введением трех уровней интерактивного диалога с экспертом в составе адаптивной итерационной схемы многокритериальной оптимизации и обеспечивающий эффективное цифровое управление логистическим процессом в организационной системе по совокупности показателей;

— алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на варьируемом множестве вариантов цифрового управления, отличающийся привлечением визуальной экспертной информации для формирования вероятностных оценок приоритетов структурных решений на основе бикритериальной оптимизации и их использования для установления окончательного решения в режиме имитационного моделирования и обеспечивающий гибкое кластерное взаимодействие цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы;

— структура программного комплекса оптимизации цифрового управления логистическим процессом, отличающаяся механизмами встраивания в промышленные программные системы и обеспечивающая повышение эффективности логистических процессов в конкретных организационных системах.

**Теоретическая значимость** заключается в развитии ряда инвариантных методов многовариантного моделирования и многокритериальной оптимизации путем их проблемной ориентации на выбор структурных решений, учитывающих особенности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе.

**Практическая значимость.** Практическая значимость заключается в:

— использовании разработанных средств многовариантного моделирования и алгоритмов оптимизационного выбора для поддержки принятия решений управляющего центра по структуре цифрового управления перемещением результатов деятельности объектов организационной системы;

— обеспечении оптимальной трансформации структурных решений в способ управления обмена данными между цифровыми платформами

управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе;

— применении программных средств многовариантного моделирования и оптимизации при реализации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на базе цифровых платформ ERP и WMS.

На программные средства многовариантного моделирования и оптимизации получено 3 свидетельства о государственной регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент).

**Достоверность и обоснованность** результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата при разработке формализованного описания оптимизационных моделей многовариантного выбора и алгоритмов принятия структурных решений цифрового управления логистическим процессом, данными экспериментальной апробации разработанных средств при реализации решений по обмену данными между цифровыми платформами управляющего центра и объектов организационной системы.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения:

1. Структура системы принятия решений при оптимизации цифрового управления логистическим процессом позволяет организовать взаимодействие цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы, обеспечивающее выполнение требований к показателям эффективности.

2. Оптимизационные модели многовариантного выбора структуры цифрового управления логистическим процессом позволяют сформировать математическое описание влияния разнообразия взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы на экстремальные и граничные требования при согласовании показателей эффективности преобразования материальных потоков.

3. Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на фиксируемом множестве структурных решений позволяет выбрать структуру цифрового управления логистическим процессом в организационной системе за счет трехуровневого экспертного оценивания в рамках адаптивной схемы многокритериальной оптимизации по совокупности показателей.

4. Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на варьируемом множестве вариантов цифрового управления логистическим процессом позволяет преобразовать в режиме имитационного моделирования вероятностные оценки приоритетов структурных решений в окончательный вариант взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы.

**Внедрение результатов работы.** Результаты исследований были успешно внедрены в промышленной деятельности организационной структуры компании «Балтика» при организации цифрового управления на основе взаимодействия цифровой платформы ERP управляющего центра и цифровых платформ WMS, входящих в логистическую цепочку, а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «ВГТУ» направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии», в

лабораторный практикум и лекционный курс по дисциплинам «Оптимизация эффективности, качества и надежности при разработке ИС», «Методы и средства проектирования ИС», «Проектная деятельность», а также при выполнении курсовых проектов и работ, выпускных квалификационных работ.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы представлялись на следующих научно-практических конференциях, семинарах и совещаниях: IX Международная научно-практическая конференция «Антропоцентрические науки: инновационный взгляд на образование и развитие личности» (Воронеж, 2019); XVIII Международная научно-техническая конференция «Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2021)» (Пенза, 2021); VI Международная научно-практическая конференция «Инновационные исследования как локомотив развития современной науки: от теоретических парадигм к практике (НИЦ МИСИ)» (Москва, 2021); Международная молодежная научная школа «Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах» (Воронеж, 2021); Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные информационные системы» (Воронеж, 2022); XV International scientific conference «General question of world science» (Amsterdam, 2022), V Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция «Тенденции развития интернет и цифровой экономики» (Симферополь – Алушта, 2022), а также на ежегодных научных конференциях и семинарах аспирантов и студентов Воронежского государственного технического университета (Воронеж, 2018 – 2022).

**Публикации.** Результаты выполненных в диссертации исследований изложены в 16 научных работах, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, лично соискателю принадлежат: [1-3] – разработка структуры взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы при управлении логистическим процессом; [4, 9] определение показателей эффективности преобразования материальных потоков для оптимизационных моделей многовариантного выбора структуры цифрового управления логистическим процессом; [5-7] – разработка структуры аппаратно-программного комплекса решения для интеграции в организационную систему цифрового управления логистическим процессом; [10, 11, 15] – разработка оценок и требований показателей эффективности для алгоритма принятия решения при оптимальном выборе структурного решения цифрового управления логистическим процессом; [8, 12-14] – определение требуемых экспериментальных данных для оценки эффективности и надежности информационного обмена, проведение имитационных экспериментов разработанных моделей в организационной системе на базе цифровых платформ ERP и WMS реальной эксплуатируемой системы, [16] – анализ, оценка и разработка метода сокращения трудозатрат на администрирование справочных данных в WMS на основе централизации обмена данными между управляющим центром ERP и локальными WMS системами за счет централизованного ввода данных в одной системе.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст работы изложен на 143 страницах, включая 25 рисунков, 10 таблиц и 62 формулы. Список литературы содержит 104 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** диссертации обоснована актуальность темы, сформированы цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, изложено краткое содержание работы.

**В первой главе** проанализированы пути повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе.

Логистический процесс в организационной системе рассматривается как последовательная совокупность действий, осуществляемых управляющим центром при внутреннем движении результатов деятельности объектов организационной системы  $O_i, i = \overline{1, I}$ , участвующих в логистических цепочках, и доставки этих результатов потребителям. Таким образом, логистический процесс является управляемым и характеризуется, с одной стороны, внутрисистемными связями, а с другой – связями с внешней средой. Локальные действия управляющего центра по перемещению результатов деятельности  $i$ -го объекта представляют собой элементы  $r = \overline{1, R}$  логистического процесса.

Современные тенденции активной цифровизации логистического процесса в организационной системе характеризуются рядом особенностей, которые влияют на выбор путей повышения его эффективности: интегрированность цифрового управления материальными и информационными потоками логистического процесса в единой цифровизированной среде организационной системы; мультиплатформенность цифрового управления логистическим процессом в организационной системе; многовариантность структурных решений взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы; векторность оценки эффективности структурных решений взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы; возможность многовариантного моделирования оценочных показателей с использованием результатов мониторингирования; необходимость верификации структурных решений по показателям эффективности обмена данными между цифровыми платформами.

Исходя из характеристики этих особенностей предложено под цифровизированным логистическим процессом понимать процесс управляемого перемещения материальных потоков результатов деятельности объектов организационной системы, объединенных в  $r = \overline{1, R}$  логистических цепочек, между собой и потребителями на основе цифровых платформ управляющего центра и объектов, связанных информационными потоками, отражающими эти перемещения на уровне цифрового двойника.

Структурная схема цифровизированного логистического процесса в организационной системе приведена на рис. 1.

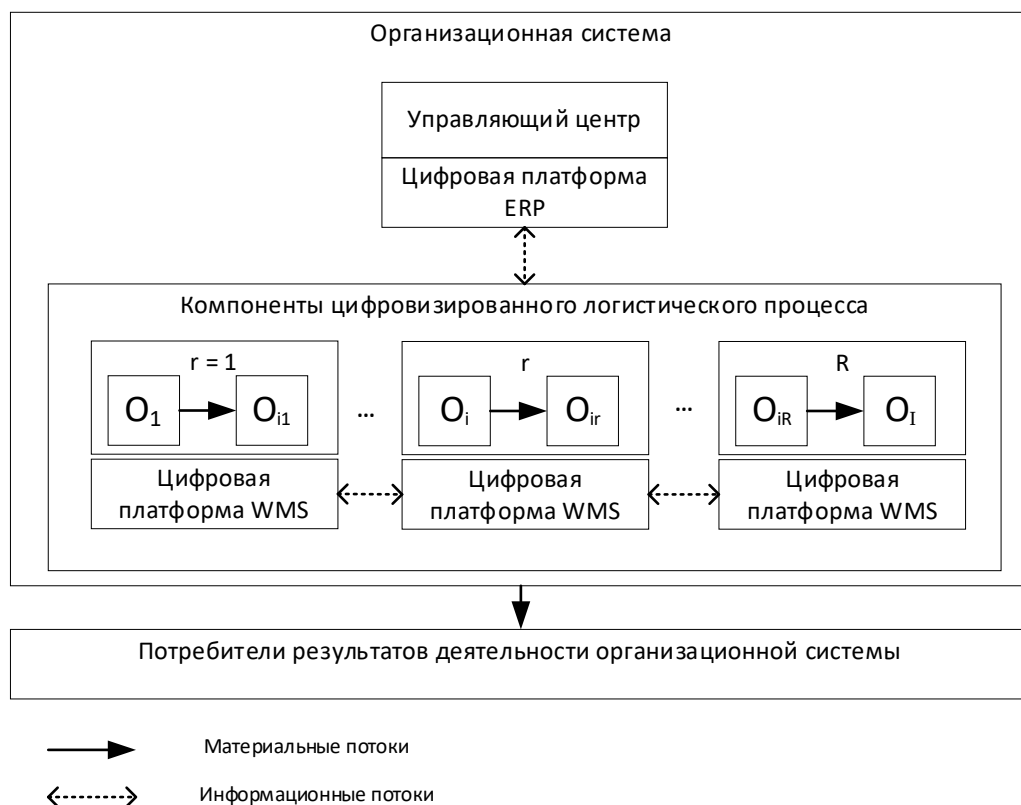


Рисунок 1 – Структурная схема цифровизированного логистического процесса в организационной системе

В большинстве случаев перечисленные особенности учитываются управляющим центром путем принятия ряда решений по переходу к цифровому управлению логистическим процессом в организационной системе:

— формирование требований к показателям эффективности преобразования материальных потоков  $\Psi_j^o, j = \overline{1, J}$  и информационных потоков  $\Psi_{j'}^o, j' = \overline{1, J'}$ ;

— выбор цифровой платформы на уровне управляющего центра и на уровне объектов организационной системы и структуры их взаимодействия в соответствии с требованиями к показателям  $\Psi_j^o, j = \overline{1, J_o}$ ;

— трансформация структурного решения в способ управления обмена данными между цифровыми платформами в соответствии с требованиями  $\Psi_{j'}^o, j' = \overline{1, J'}$ .

Однако эти решения принимаются только на основе экспертного оценивания, что не всегда приводит к оптимальному результату. Поэтому предлагается организовать поддержку решений с использованием формализованных методов моделирования и оптимизации, объединяющих в подсистему поддержки принятия решений ряд модулей в рамках структурной схемы, представленной на рис. 2.

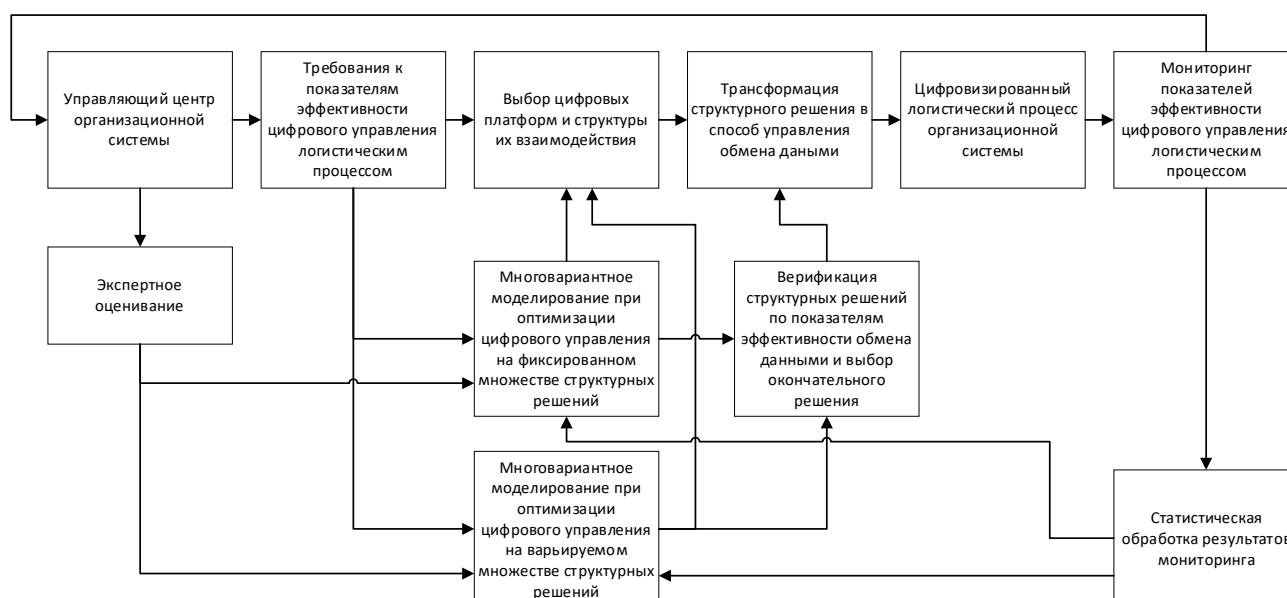


Рисунок 2 – Структурная схема системы принятия решений при оптимизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе

Таким образом, обоснована структура системы принятия решений по оптимизации цифрового управления логистическим процессом, отличающаяся учетом особенностей взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы, что позволяет экспертам определить требования к показателям эффективности преобразования материальных и информационных потоков и обеспечить их выполнение.

**Вторая глава** посвящена задачам многовариантного моделирования при оптимизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на множестве структурных решений.

Рассмотрена задача многовариантного моделирования в случае возможности зафиксировать множество  $n = \overline{1, N}$  вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Многовариантность определяется разнообразием структур взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы, влияющих на степень децентрализации цифрового управления (рис. 3): централизованная структура (рис. 3, а); децентрализованная структура (рис. 3, б); кластерная структура (рис. 3, в).

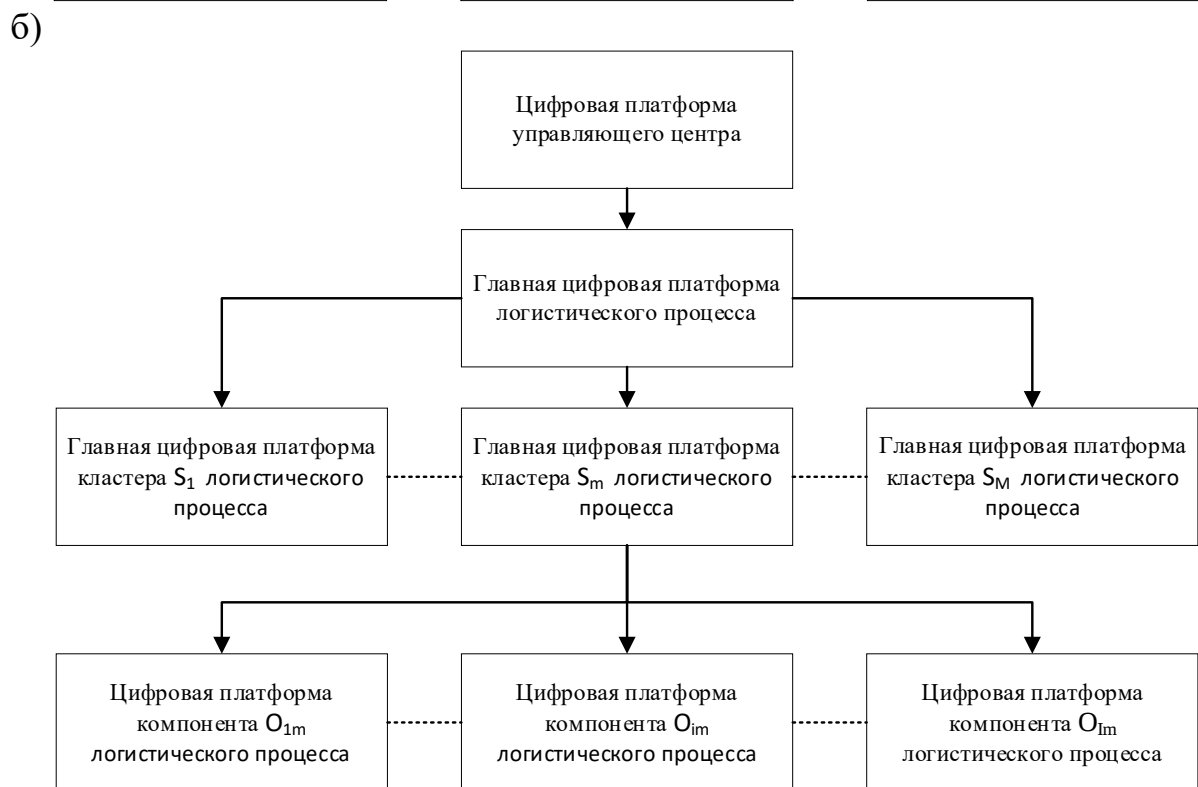
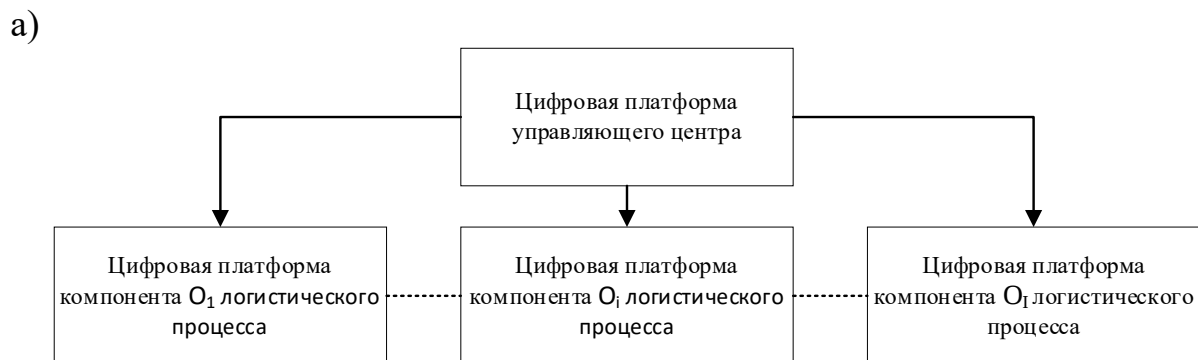
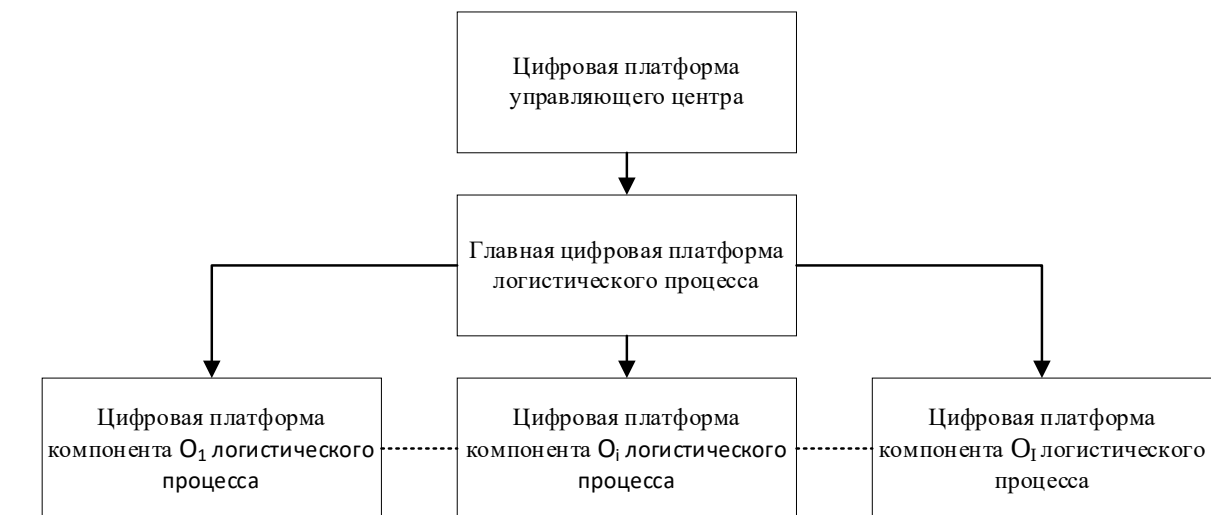


Рисунок 3 – Структурные схемы взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе

Для каждого варианта в режиме имитационного моделирования многофазного ( $r = \overline{1, R}$ ) цифровизированного логистического процесса определяются показатели эффективности перемещения материальных потоков

$\Psi_{jn} = \Psi_j(n), n = \overline{1, N}, j = \overline{1, J}$ , что приводит к постановке задачи многокритериальной оптимизации

$$\Psi_j(n) \rightarrow \text{extr}, n = \overline{1, N}, j = \overline{1, J}. \quad (1)$$

Если на основе решения (1) приоритетными являются двухуровневые структурные решения (рис. 3а, 3б), то осуществляется верификационное моделирование и выбор окончательного варианта по показателям эффективности информационного обмена  $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$ . Если больший приоритет имеет трехуровневое структурное решение (рис. 3в), то задача многовариантного моделирования определяется следующим образом.

Среди  $n = \overline{1, N}$  два варианта  $n_1$  и  $n_2$  имеют фиксированные структуры взаимодействия цифровых средств управления логистическим процессом на уровне управляющего центра и объектов организационной системы:  $n_1$ - централизованная структура,  $n_2$ - децентрализованная структура. Остальные варианты  $n = \overline{1, N}, n \neq n_1, n \neq n_2$  предлагается формировать на основе гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств (рис. 3в), которое зависит, с одной стороны, от количества кластеров  $M$ , а с другой – распределения объектов, включаемых в  $m$ -й кластер множества  $i_m = \overline{1, I_m}$ .

Формализуем выбор структуры гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств с использованием альтернативных переменных. В случае варьирования количеством кластеров запишем дискретное число  $M \leq 8$  в двоичной форме через альтернативные переменные

$$x_1 = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, x_2 = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, x_3 = \begin{cases} 1, \\ 0 \end{cases}, \quad (2)$$

$$M = x_1 + 2x_2 + 4x_3.$$

Для определения объектов организационной системы  $O_i, i = \overline{1, I}$ , управление логистическим процессом которых основано на объединении в  $m$ -й кластер, введем следующие переменные

$$x_{im} = \begin{cases} 1, \text{ если цифровое средство управления} \\ \text{логистическим процессом } i - \text{го объекта} \\ \text{включается в } m - \text{й кластер,} \\ 0, \text{ в противном случае, } i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}. \end{cases} \quad (3)$$

Для формализованной постановки на множествах альтернативных переменных (2), (3) построим оптимизационную модель, исходя из следующих предположений:

— каждый объект, участвующий в логистическом процессе, может входить только в один кластер цифрового управления, то есть

$$\sum_{m=1}^M x_{im} = 1, i = \overline{1, I}; \quad (4)$$

— для вариантов  $n = \overline{1, N}, n \neq n_1, n \neq n_2$  зависимости (1) преобразуются в зависимости

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}), j' = \overline{1, J'}; \quad (5)$$

— на множестве  $j' = \overline{1, J'}$  удастся выделить два основных противоречивых показателя  $\Psi_{j'_1}$  и  $\Psi_{j'_2}$ , компромисс между которыми с экспертами управляющего центра организационной системы позволяет определить оптимальный вариант кластерной структуры;

— для остальных показателей  $\Psi_{j'}, j = \overline{1, J'}, j \neq j'_1, j \neq j'_2$  экспертами управляющего центра устанавливаются:

• либо фиксированные граничные требования

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{j'}^0, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \quad (6)$$

• либо вариативные

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{l_{j'}}^0, j = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, l_{j'} = \overline{1, L_{j'}}, \quad (7)$$

где  $l_{j'} = \overline{1, L_{j'}}$  нумерационное множество дискретных значений  $\Psi_{j'}^0$  такое, что  $\Psi_{j'}^0(l_{j'} = 1) = \Psi_{j'}^{0 \min}$ , а  $\Psi_{j'}^0(l_{j'} = L_{j'}) = \Psi_{j'}^{0 \max}$ .

В случае вариативных граничных требований (7) добавляются альтернативные переменные

$$x_{1j'} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{2j'} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{3j'} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, \quad (8)$$

позволяющие представить значения  $l_j \leq 8$  в двоичной форме

$$l_{j'} = x_{1j'} + 2x_{2j'} + 4x_{3j'}.$$

Разнообразие требований приводит к трем видам оптимизационных моделей:

— при бикритериальной оптимизации

$$\Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \quad (9)$$

$$\sum_{m=1}^M x_{im} = 1, i = \overline{1, I},$$

$$x_1 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_2 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_3 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{im} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M};$$

— при фиксированных граничных требованиях

$$\Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr,$$

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{j'}^0, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^M x_{im} = 1, i = \overline{1, I},$$

$$x_1 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_2 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_3 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{im} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M};$$

— при вариативных граничных требованиях

$$\Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr,$$

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{j'}^0(x_{1j'}, x_{2j'}, x_{3j'}), j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2,$$

$$\sum_{m=1}^M x_{im} = 1, i = \overline{1, I}, \quad (11)$$

$$x_1 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_2 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_3 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{im} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}$$

$$x_{1j'} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{2j'} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, x_{3j'} = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right\}, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2.$$

Таким образом, сформированы оптимизационные модели многовариантного выбора структуры цифрового управления логистическим процессом, отличающиеся учетом формы математического описания влияния разнообразия структурных решений взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы на экстремальные и граничные требования, которые

позволяют определить согласованное структурное решение на множестве показателей эффективности преобразования материальных потоков при перемещении результатов деятельности.

**Третья глава** посвящена алгоритмизации принятия решения при оптимальном выборе структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Каждый алгоритм ориентирован на реализацию многовариантного моделирования влияния разнообразия структурных решений на экстремальные и граничные требования к показателям эффективности перемещения материальных и информационных потоков в организационной системе.

Для принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом предложен алгоритм, основанный:

- на рандомизации исходной задачи за счет введения дискретной случайной переменной  $\tilde{j}$ , принимающей значение на нумерационном множестве  $j = \overline{1, J}$  с вероятностями  $P_j, j = \overline{1, J}, \sum_{j=1}^J P_j = 1$  и  $\tilde{n}$ , принимающей значения на нумерационном множестве  $n = \overline{1, N}$  с вероятностями  $P_n, n = \overline{1, N}, \sum_{n=1}^N P_n = 1$ ;
- на введении трех уровней интерактивного взаимодействия с экспертом.

На первом уровне на  $k$ -й итерации случайным образом устанавливается номер варианта интеграции  $\tilde{n} = \overline{1, N}$ .

Пусть случайная реализация величины  $\tilde{n}$  принимает значение  $n_1$ . Тогда рассматриваются значения критериев

$$\Psi_{jn_1} = \Psi_j(n_1), j = \overline{1, J}. \quad (12)$$

Эксперту задается вопрос: «Какое из значений в множестве (12) удовлетворяет его в наименьшей степени?» Эксперт указывает номер  $j_1$ . Его ответ формализуют следующим образом

$$A_{\varepsilon j} = \begin{cases} 1, & \text{если } j = j_1, \\ -1, & \text{если } j \neq j_1, \end{cases} j = \overline{1, J}. \quad (13)$$

$$\text{Тогда функция } \chi \text{ принимает значение: } \chi(A_{\varepsilon}) = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{\varepsilon} > 0; \\ 0, & \text{если } A_{\varepsilon} < 0. \end{cases} \quad (14)$$

На втором уровне интерактивного процесса эксперту задается вопрос: «В какой степени допустимо изменить значение  $\Psi_{j_1 n_1}$ ?» Ответ формализуется с использованием термов  $T_1, T_2$  лингвистической переменной.

На третьем уровне эксперту задается вопрос: «Какое значение  $\Psi_{j_1 n_1}$  является желательным?». Его ответ  $\Psi_{j_1 n_1}^{\mathcal{K}}$  формализуется вычислением величины

$$\Psi_{j_1 n_1}^O = \frac{\Psi_{j_1 n_1}^{\mathcal{K}}}{\Psi_{j_1 n_1}} \quad (15)$$

и определением значения функции принадлежности

$$\mu_{\varepsilon} = \mu(\Psi_{j_1 n_1}^O, T_1, T_2). \quad (16)$$

На последующих итерациях корректируются распределения случайной величины  $\tilde{j}$  с использованием (14), (16) и распределения случайной величины  $\tilde{n}$  в зависимости от текущего значения интегральной оценки.

Рассмотрено, каким образом перейти от рандомизированного поиска к поиску на основе усредненной функции. С этой целью экспертом задается малая величина  $\delta > 0$  и проверяется условие на  $k$ -ой итерации

$$|P_j^k - P_j^{k-1}| \leq \delta \quad \forall j = \overline{1, J}. \quad (17)$$

Если условие (17) выполняется, то принимается, что весовые коэффициенты функции (12)  $\alpha_j = P_j^k$  и задача выбора варианта межуровневой интеграции цифровых платформ управления логистическим процессом в организационной системе осуществляется путем выбора варианта с максимальным значением интегральной оценки.

Таким образом, предложен алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на фиксированном множестве структурных решений, отличающийся введением трех уровней интерактивного взаимодействия с экспертом в рамках адаптивной итерационной схемы многокритериальной оптимизации, который позволяет определить вариант эффективного цифрового управления логистическим процессом в организационной системе по совокупности показателей.

Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием бикритериальной оптимизационной модели (9) построим путем объединения следующих итерационных алгоритмических схем:

- вероятностного оценивания значений альтернативных переменных (2), (3) при оптимизации по критериям  $\Psi_{j'_1}$  и  $\Psi_{j'_2}$ , вариации которых вычисляются на основе имитационного моделирования;
- вероятностного оценивания степени привлечения к поиску оптимального структурного решения критериев  $\Psi_{j'_1}'$ ,  $\Psi_{j'_2}'$ ;
- поиска множества доминирующих структурных решений аддитивной свертке  $\Psi$  критериев  $\Psi_{j'_1}$ ,  $\Psi_{j'_2}'$ ;
- верификационного моделирования на множестве доминирующих вариантов и выбора окончательного структурного решения по совокупности показателей  $\Psi_{j''}$ ,  $j' = \overline{1, J'}$ .

Первая алгоритмическая схема основана на вычислении вариации оптимизируемого показателя  $\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im})$  при фиксированных и случайных значениях альтернативных переменных в соответствии с вероятностными характеристиками, полученными на  $k_1$ -й итерации:  $P_{x_1}^{k_1}, P_{x_2}^{k_1}, P_{x_3}^{k_1}, P_{x_{im}}^{k_1}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ , с использованием имитационного моделирования преобразования информационных потоков между цифровыми платформами в рамках кластерной структуры.

Вторая алгоритмическая схема реализуется для решения задач бикритериальной оптимизации.

В этом случае вариации рассчитываются для показателей  $\Psi_{j'_1}$ ,  $\Psi_{j'_2}$ , и в зависимости от полученного решения осуществляется поиск компромиссного решения с использованием визуальной экспертной информации, основанной на

графическом образе представления соотношения вероятностей привлечения к поиску критериев  $\Psi_{j_1}, \Psi_{j_2}$

$$P_{j_1} = P(\tilde{j} = j_1), P_{j_2} = P(\tilde{j} = j_2), P_{j_1} + P_{j_2} = 1$$

в виде отрезка на плоскости с координатами  $(P_{j_1}, P_{j_2})$ , соединяющего точки  $(P_{j_1} = 1, P_{j_2} = 0)$  и  $(P_{j_1} = 0, P_{j_2} = 1)$ , с определенным его разбиением на  $2B$  равных частей.

В третьей алгоритмической схеме осуществляется рандомизированный учет граничных требований задач (10), (11) с введением в алгоритмическую схему принятия решения на основе бикритериальной оптимизационной модели третьей итерационной схемы адаптивного учета ограничений, которая реализуется в двух модификациях: при фиксированных и варьируемых граничных требованиях.

При построении четвертой алгоритмической схемы показатели эффективности цифровизированного логистического процесса в организационной системе, использующего оптимальную кластерную структуру, определяются на основе имитационного моделирования и сравниваются с соответствующими показателями централизованного и децентрализованного цифрового управления, и эксперт выбирает лучший, по его мнению, вариант.

Таким образом, разработан алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на варьируемом множестве вариантов цифрового управления, отличающийся привлечением визуальной экспертной информации для формирования вероятностных оценок приоритетов структурных решений на основе бикритериальной оптимизации и их использования для установления окончательного решения в режиме имитационного моделирования, что позволяет определить эффективный вариант гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы.

**В четвертой главе** рассматривается структура программного комплекса оптимизации цифрового управления логистическим процессом, информационное взаимодействие программных модулей, а также результаты практического применения.

Для дальнейшего применения в практике оптимизации цифрового управления логистическим процессом организационной системы разработаны три программы:

Модуль 1 «Оптимизация выбора фиксированного варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе»;

Модуль 2 «Бикритериальная оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе»;

Модуль 3 «Оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе с учетом экстремальных и граничных требований».

На перечисленные программные модули получены свидетельства об их государственной регистрации в Роспатенте. Все программные средства построены по модульному принципу.

Возможность перехода к эксплуатации оптимального структурного решения достигается его трансформацией в компоненты информационного обмена XML-



1. Объем информационного обмена с управляющим центром ERP значительно уменьшается на 89%.

2. Скорость обработки данных увеличивается на 65%, т.к. основной информационный обмен происходит внутри сети логистических объектов WMS, а не каждого локального объекта с управляющим центром ERP.

3. Надежность обработки данных повышается за счет уменьшения вероятности полной потери данных при информационном обмене на 12% и уменьшения времени на восстановление данных при сбое на 24%.

4. Трудозатраты на обработку данных сокращаются на 73%. Подготовка к передаче данных выполняется централизованно для всех объектов, а не для каждого в отдельности.

**В приложении** приведены свидетельства о государственной регистрации программ, акты внедрения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В соответствии с проведенными исследованиями в работе получены следующие основные результаты:

1. Проанализированы пути повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на основе многовариантного моделирования и оптимизации структурных решений.

2. Обоснованы структура цифровизированного логистического процесса в организационной системе и структура системы принятия решений при его оптимизации по показателям эффективности преобразования материальных и информационных потоков.

3. Предложены процедуры многовариантного и верификационного моделирования, направленные на формирование многокритериальных, многоальтернативных задач оптимизации при различных сочетаниях экстремальных и граничных требований к показателям эффективности преобразования материальных и информационных потоков в случае цифрового управления логистическим процессом в организационной системе.

4. Разработан алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием адаптивного подхода к многокритериальной оптимизации в рамках трехуровневого интерактивного взаимодействия с экспертом управляющего центра организационной системы.

5. Сформирован алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве варьируемых вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе путем объединения в едином цикле адаптивного поиска итерационных алгоритмических схем вероятностного оценивания значимости показателей эффективности в задаче бикритериальной оптимизации, значения альтернативных переменных и набора граничных условий, влияющих на степень достижения экстремальных требований.

6. Разработаны программные средства оптимального выбора структуры цифрового управления логистическим процессом для принятия решения в практической деятельности управляющего центра организационной системы по модернизации цифровых средств в соответствии с модельным вариантом.

7. Проведена оценка результативности разработанных моделей, алгоритмов и программных средств в практике цифрового управления логистическим процессом, используемым в компании «Балтика» на 9 территориально распределенных организационных объектах под управлением локальной WMS и централизованной ERP.

### **Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах**

#### **Научные публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ**

1. Борзова, А.С. Многокритериальное моделирование выбора варианта структуры управления логистическим процессом в организационной системе / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. № 2. – DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.005

2. Борзова, А.С. Особенности построения системы принятия решений при многовариантной оптимизации структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на основе имитационного моделирования / А.С. Борзова, В.В. Муха // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. № 3. – DOI: 10.26102/2310-6018/2021.34.3.021

3. Борзова, А.С. Оптимизация выбора структуры гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств управления логистическим процессом в организационной системе / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха // Вестник Российского нового университета: Сложные системы: модели, анализ, управление. – 2021. – №2. – С. 35-44.

4. Муха, В.В. Оптимизация цифровой нити логистических цепочек в практике управления организационными системами / В.В. Муха // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. №1. – DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.027.

#### **Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ**

5. А.С. 2022612767. РФ. Оптимизация выбора фиксированного варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха, А.П. Преображенский; заявитель и правообладатель Воронежский институт высоких технологий. – заявка № 2022611623; заявл. 09.02.2022; опубл. 28.02.2022.

6. А.С. 2022612768. РФ. Бикритериальная оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха, А.П. Преображенский; заявитель и правообладатель Воронежский институт высоких технологий. – заявка № 2022611597; заявл. 09.02.2022; опубл. 28.02.2022.

7. А.С. 2022612770. РФ. Оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе с учетом экстремальных и граничных требований / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха, А.П. Преображенский; заявитель и правообладатель Воронежский институт высоких технологий. – заявка № 2022611602; заявл. 09.02.2022; опубл. 28.02.2022.

#### **Статьи и материалы конференций**

8. Mukha, V.V. Algorithmic differentiated data exchange in a distributed information system / V.V. Mukha // Антропоцентрические науки: инновационный взгляд на образование и развитие личности: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2019. – С. 480-483.

9. Муха, В.В. Оценка эффективности частичной централизации обмена данными в распределенной WMS / В.В. Муха, Я.Е. Львович // Научная опора Воронежской области: сб. тр. победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 163-165.

10. Борзова, А.С. Повышение эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на основе модельных решений с использованием оптимизационного подхода / А.С. Борзова, В.В. Муха, // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2021): сб. научн. ст. по материалам XVIII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2021. – С. 51-55.

11. Львович, Я.Е. Оптимизация трехуровневой структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / Я.Е. Львович, В.В. Муха // Инновационные исследования как локомотив развития современной науки: от теоретических парадигм к практике (НИЦ МИСИ): сб. науч. ст. по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф. – М.: НИЦ МИСИ, 2021. – С. 76-88.

12. Муха, В.В. Имитационное моделирование информационного обмена между цифровыми платформами трехуровневой системы управления логистическим процессом в организационной системе / В.В. Муха // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: тр. Междунар. молодеж. науч. шк. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 24-27.

13. Муха, В.В. Оптимизационное моделирование выбора структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / В.В. Муха // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: тр. Междунар. молодеж. науч. шк. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 61-65.

14. Муха, В.В. Интеллектуализация принятия решений при переходе к цифровому управлению логистическим процессом в организационной системе / В.В. Муха // Интеллектуальные информационные системы: тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 49-52.

15. Борзова, А.С. Алгоритмизация принятия решений при многовариантном выборе структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием бикритериальной оптимизации / А.С. Борзова, В.В. Муха // General question of world science. Collection of Scientific Papers based on the results of an XV international scientific conference. – Amsterdam, 2022. – Р. 46-49.

16. Порядина В.Л. Оптимизация операций администрирования справочников WMS на основе частичной централизации обмена данными в распределенной системе / В.Л. Порядина, Т.Г. Лихачева, В.В. Муха // Тенденции развития интернет и цифровой экономики: тр. V Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2022. – С. 74-79.

---

Подписано в печать 20.10.2022

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 372

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, 20-летия Октября, 84