

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

На правах рукописи



МУХА Владимир Владимирович

УПРАВЛЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ МНОГОВАРИАНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ

Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Львович Яков Евсеевич

Воронеж 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	15
1.1 Особенности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе	16
1.2 Влияние взаимодействия цифровых платформ на эффективность управления логистическим процессом.....	26
1.3 Возможности многовариантного моделирования и оптимизации для повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом	33
Выводы первой главы.....	40
2 МНОГОВАРИАНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА МНОЖЕСТВЕ СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ	41
2.1 Многовариантное моделирование при оптимизации цифрового управления на фиксированном множестве структурных решений	42
2.2 Верификационное моделирование влияния на показатели структурных решений информационного обмена между цифровыми платформами с использованием аналитических расчетов.....	48
2.3 Многовариантное моделирование при оптимизации цифрового управления на варьируемом множестве структурных решений.....	64
Выводы второй главы	68
3 АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ВЫБОРЕ СТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	69
3.1 Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления.....	70

3.2 Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления с использованием бикритериальной оптимизационной модели.....	76
3.3 Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления с учетом граничных требований.....	88
Выводы третьей главы.....	93
4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МНОГОВАРИАНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ.....	94
4.1 Формирование программных средств оптимального выбора структурных решений.....	95
4.2 Трансформация структурных решений в реализацию обмена XML-документами между цифровыми платформами ERP и WMS в практике управления логистическим процессом организационной системы.....	100
4.3 Оценка результативности применения разработанных средств в практике цифрового управления логистическим процессом.....	104
Выводы четвертой главы.....	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВА О РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕОВАНИЯ.....	141

ВВЕДЕНИЕ

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 материальным и информационным ресурсами в рамках цифровизации взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы;
- структурная связанность показателей эффективности логистической части организационной системы и характеристик информационного обмена в рамках интегрированного компонента логистического процесса;

- разнообразие универсальных цифровых платформ, используемых для выработки управляющих воздействий на поток транспортируемых ресурсов объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе;
- многовариантность структурных 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 опережающими тенденциями перехода к цифровому управлению логистическим процессом и необходимостью 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 решения 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 требований к показателям эффективности преобразования материальных и информационных потоков;

— оптимизационные модели многовариантного выбора структуры цифрового управления логистическим процессом, отличающиеся учетом математического описания 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 принятия решения при оптимальном выборе на фиксированном множестве структурных решений, отличающийся введением трех уровней вопросно-ответного диалога с экспертом в рамках 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 реестре Федеральной службы 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 17 научных работах, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 публикация в издании, индексируемом в базе данных Scopus, 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в автореферате, лично соискателю принадлежат: [11,13,15] – разработка структуры взаимодействия цифровых платформ

управляющего центра и объектов организационной системы при управлении логистическим процессом; [58,59,91] определение показателей эффективности преобразования материальных потоков для оптимизационных моделей многовариантного выбора структуры цифрового управления логистическим процессом; [10,12,14] – разработка структуры аппаратно-программного комплекса решения для интеграции в организационную систему цифрового управления логистическим процессом; [16, 48, 9] – разработка оценок и требований показателей эффективности для алгоритма принятия решения при оптимальном выборе структурного решения цифрового управления логистическим процессом; [98, 55-57] – 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, [69] – 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.

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, участвующих в логистических цепочках, и доставки этих результатов потребителям.

Рассмотрены современные тенденции активной цифровизации логистического процесса в организационной системе с характеристикой ряда особенностей, которые влияют на выбор путей повышения его эффективности. Предложено под цифровизированным логистическим процессом понимать процесс управляемого перемещения материальных потоков результатов деятельности объектов организационной системы, объединенных в логистические цепочки, между собой и потребителями на основе цифровых платформ управляющего центра и объектов, связанных информационными потоками, отражающими эти перемещения на уровне цифрового двойника.

Показано, что для повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе путем многовариантного моделирования и оптимизации необходимо учитывать ряд факторов, связанных с наличием двух множеств показателей эффективности, поиском оптимального структурного решения на фиксированном и варьируемом множестве вариантов, привлечением методов экспертного оценивания, что позволяет перейти к эквивалентным задачам векторной оптимизации на основе методов их скаляризации и включения в цикл принятия решения имитационного моделирования перемещения результатов деятельности объектов организационной системы и их верификации по показателям информационного обмена между цифровыми средствами.

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 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.

Для формализованной постановки строится оптимизационная модель. 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

Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом использует определенную информацию по каждому варианту о значениях показателей.

Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием бикритериальной оптимизационной модели строится путем объединения итерационных алгоритмических схем.

Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления с учетом граничных требований задач реализуется 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 требований.

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.

Программные средства обеспечивают процесс поиска оптимального решения на основе исходной информации о структуре взаимодействия цифровой платформы управляющего центра и цифровых платформ объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе, оценок экспертов управляющего центра значимости и уровня показателей эффективности, характеристиках материальных потоков и потоков информационного обмена для проведения циклов имитационного моделирования.

Для дальнейшего применения в практике оптимизации цифрового управления логистическим процессом организационной системы разработаны три программы, позволяющие оценить необходимость модернизации структуры цифрового управления с прогнозируемыми улучшениями общей эффективности и надежности решения.

1 ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Для определения путей повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе прежде всего следует выделить ряд особенностей, связанных с:

- отличием цифровизированного логистического процесса от традиционного перемещения результатов деятельности объектов организационной системы;
- двух- и трехуровневой структурами управления логистическим процессом на основе взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в этом процессе.

Данные особенности позволяют определить структуру цифровизированного логистического процесса и схему оптимизации цифрового управления, в которой повышение эффективности принятия административных решений управляющим центром поддерживается формализованным подходом к многовариативному моделированию и оптимизации по результатам мониторинга совокупности экономических, временных и надежности показателей.

Такая поддержка административных управленческих решений связана с влиянием разнообразия структурных решений, определяющих взаимодействие цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы, которая участвует в логистическом процессе, на повышение эффективности цифрового управления. При этом, на уровне объекта организационной системы используется цифровые платформы класса WMS, задачи, решаемые которой координируются с управлением организационной системой в целом. Поэтому на уровне управляющего центра используются цифровые платформы класса ERP.

Другой составляющей повышения эффективности управления является поддержка управленческих решений с использованием методов многовариантного моделирования и оптимизации. Соответствующие формализованные описания и

алгоритмы принятия решений нацелены на обеспечение согласованности множества показателей, характеризующих перемещение материальных и информационных потоков, что приводит к необходимости многокритериальной оптимизации при выборе структуры цифрового управления.

1.1 Особенности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе

Логистический процесс в организационной системе будем рассматривать как последовательную 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 [54,79,101,104]. Таким образом, логистический процесс является управляемым [51,80] и характеризуется с одной стороны внутрисистемными связями, а с другой – связями с внешней средой [34,92]. Локальные действия управляющего центра по перемещению результатов деятельности i -го объекта, представляет собой $r = \overline{1, R}$ элементов логистического процесса.

Эти элементы выполняют ряд функций: закупочные, производственные и распределительные (транспортные, складские) [2,32].

Взаимодействие элементов логистического процесса поддерживается за счет информационных, материальных и других связей, определяющих интегративные свойства системы [33]. Логистическая система характеризуется определенной степенью организации и общесистемными свойствами. Специфическими свойствами логистической системы является: сложность, динамичность, адаптивность, открытость, относительная изолированность, стохастичность.

Основной целью логистического процесса является доставка продукции соответствующего количества и качества точно в срок и при минимальных затратах

на снабжение, производство, сбыт и транспортировку, а также на получение, обработку и передачу информации.

Современный логистический процесс в организационной системе строится исходя из принципов и тенденций развития общества, основным трендом развития которого является цифровизация [23,39,65,70,77,82,86,90,96,97].

Влияние этого тренда вносит изменения как в научный, так и в прикладной подход к логистике, которая рассматривается как теория, наука, интегральный инструмент организационных систем при планировании, контроле и управлении транспортированием, складированием, переработкой и др. операциями в процессе доставки результатов деятельности конечному потребителю [94].

В работе [58] предложена схема реализации концепции цифровой логистики (рис. 1.1).

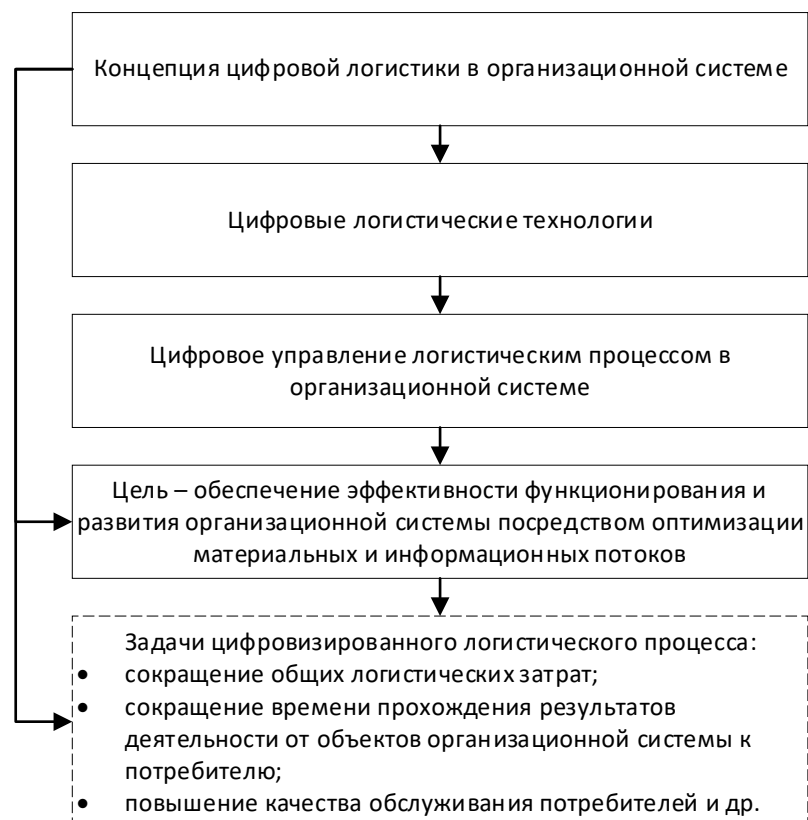


Рис.1.1. Схема реализации концепции цифровой логистики в организационной системе

В этой схеме особую значимость приобретают методы управления, основанные на цифровых логистических технологиях [1,35,72,99,102]. Их интеграция приводит к построению системы цифрового управления логистическим процессом в организационных системах. Для того, чтобы определиться с путями повышения эффективности функционирования [19] такой системы, необходимо охарактеризовать ряд особенностей цифрового управления логистическим процессом.

1. Интегрированность цифрового управления материальными и информационными потоками логистического процесса в единой цифровизированной среде организационной системы.

Система цифрового управления логистическим процессом – это инструмент для предоставления на уровне каждой его цепочки высочайшего уровня сервиса, исходя из индивидуальных требований, а также конкурентноспособных цен на услуги [93].

Организация логистического процесса с помощью системы цифрового управления позволяет существенно сократить время выполнения операций, уменьшить их стоимость, сократить количество ошибок, улучшить качество обслуживания клиентов, повысить производительность работы персонала, уменьшить издержки хранения товаров, то есть повысить эффективность управления [45].

Объект организационной системы фактически интегрирован с цифровым средством, автоматически вырабатывающим управляющие воздействия на поток перемещаемых результатов деятельности, формирование и поддержку его движения [15].

В этом случае с использованием определенных цифровых средств синхронно осуществляется последовательная совокупность действий по перемещению материальных потоков и выполнению операций, отражающих это перемещение на уровне цифрового двойника. Поэтому эффективность управления логистическим процессом в организационной системе определяется структурой цифровой

трансформации, обеспечивающей взаимодействие управляющего центра и объектов в рамках компонентов цифрового двойника.

2. Мультиплатформенность цифрового управления логистическим процессом в организационной системе.

Одним из существенных трендов цифровой логистики является переход от отдельных средств цифрового управления к цифровым платформам [28, 31, 53]. Разнообразие универсальных цифровых платформ, используемых для управления логистическим процессом в организационной системе, связано с одной стороны с необходимостью учитывать различия функций управляющего центра и объектов, участвующих в логистической цепочке, а с другой – программно-аппаратными реализациями.

Так цифровые платформы на уровне управляющего центра должны объединять всю совокупность бизнес-процессов в организационной системе, включая логистику. Такие возможности обеспечивают ERP-системы [76], представляющие собой набор интегрированных приложений, которые комплексно, в едином информационном пространстве поддерживают все основные аспекты управленческой деятельности организационной системы – планирование финансовых, человеческих, материальных ресурсов для производства товаров либо услуг, оперативное выполнение планов, включая снабжение, сбыт, ведение договоров, все виды учета, анализ результатов хозяйственной деятельности.

Цифровое управление на уровне объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе, осуществляются на уровне проблемно-ориентированных цифровых платформ WMS – Warehouse Management System [76].

WMS созданы специально для того, чтобы максимально оптимизировать функции оперативного управления логистическим процессом и повысить тем самым эффективность бизнеса в целом. WMS-система как инструмент реализации стратегических и тактических целей призвана осуществлять активное цифровое управление, увеличение скорости обработки заказов, получать точную информацию о месте нахождения и движение в рамках логистической цепочки

результатов деятельности объектов, эффективно управлять товаром, имеющим ограниченные сроки годности и прочее.

В зависимости от степени универсальности платформ этого уровня их разделяют на три ключевых класса: общепромышленные с открытым интерфейсом, внутрифирменные, платформы внутри логистических элементов.

С учетом интегрированности цифрового управления материальными и информационными потоками как на уровне управляющего центра, так и на уровне объектов организационной системы [17,20,21,62,63], участвующих в логистических действиях, между собой и потребителями, цифровизированный логистический процесс в целом представим структурной схемой, приведенной на рисунке 1.2.

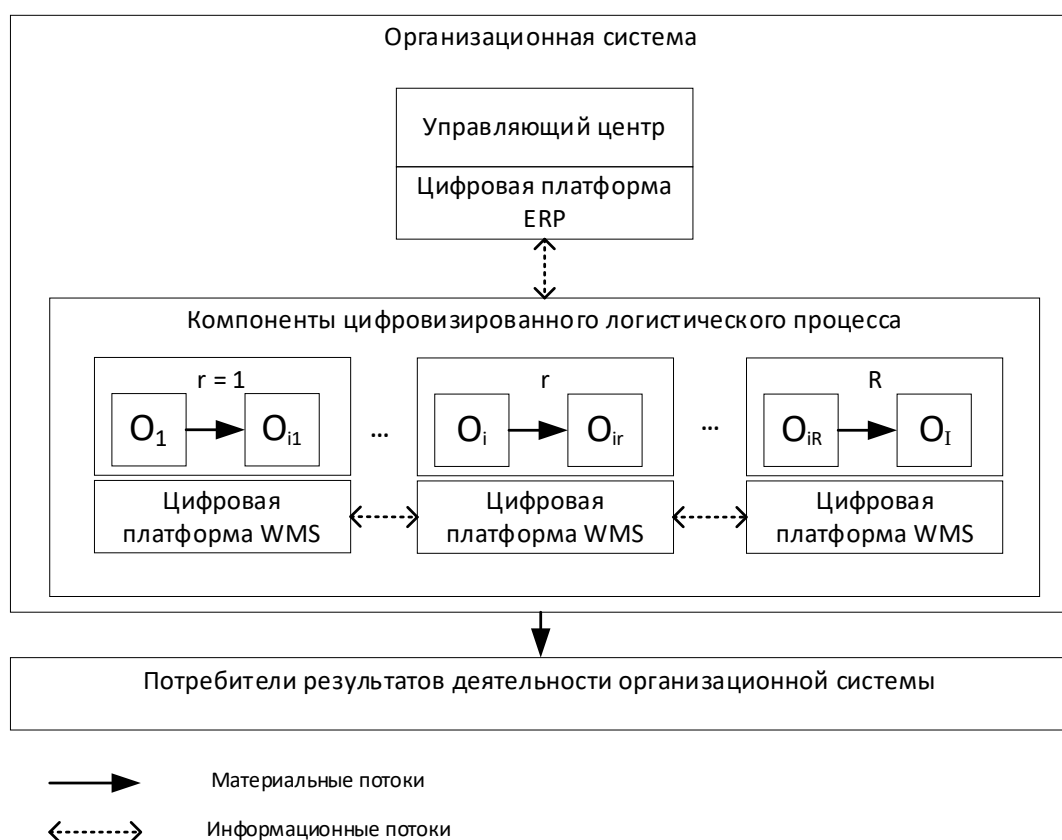


Рис.1.2. Структурная схема цифровизированного логистического процесса в организационной системе

Далее в работе под цифровизированным логистическим процессом будем 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.

3. Многовариантность структурных решений взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы.

Исходя из особенности 2 возможны разные структурные варианты взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и цифровых платформ объектов организационной системы, находящихся в цепи перемещения результатов их деятельности,

Кроме традиционных вариантов полностью централизованного и полностью распределенного управления [43] возможны промежуточные варианты с частичной централизацией [36,64]. При этом должна достигаться связанность бизнес-процессов логистики, реализацию которых обеспечивает цифровая платформа WMS, и других бизнес-процессов организационной системы, реализация которых обеспечивает цифровая платформа ERP структурные решения частичной централизации предлагается формировать, либо как двухуровневые: ERP – WMS объектов, главная WMS – WMS объектов; либо как трехуровневые: ERP – главная WMS – WMS объектов.

4. Векторность оценки эффективности структурных решений взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системе.

В большинстве работ по цифровой логистике эффективность цифровой трансформации логистического процесса оценивается отдельными скалярными показателями [95]. Так в [3] цифровая логистика трактуется как поиск, хранение и способ передачи информации, а также цифровые технологии, обеспечивающие выявление и прогнозирование потребностей, оптимизации маршрутов, направлений материальных и информационных потоков, в том числе сокращение

времени существования в цепях поставок. Здесь оценка эффективности основана на временном показателе.

Одновременно в [82] помимо основного тренда ускорения поставок, то есть вновь временного показателя, указано, что действия на цифровых платформах ускоряют процессы обмена между объектами организационной системы и потребителями, а также удешевляют их, исключают лишние посреднические звенья, резко повышают производительность труда и эффективность рынков. Различные цифровые платформы объединяются во взаимосвязанные, основанные на обмене данными «экосистемы». Экосистемы, возникшие или получившие дальнейшее развитие благодаря платформам для обмена данными и знаниями, преобразуются впоследствии в более сложные экосистемы, рассчитанные на совместное использование или совместное производство инноваций, либо на то и другое одновременно.

Таким образом, речь идет о комплексе экономических показателей эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. В [50] также рассматривается набор временных и экономических показателей при характеристике того, что эффективно функционирующая цифровая логистика обеспечивает качество и надежность поставок, позволяет сократить размер запасов, ускорить оборачиваемость оборотных средств, что положительно влияет на себестоимость производственной продукции [100].

Дополнительно обращено внимание на то, что цифровизация способствует ускорению реализации логистического процесса, улучшению их управляемости, устранению потери и снижению затрат.

Таким образом, оценка эффективности структурных решений характеризуется вектором показателей [37,71]

$$\Psi = \{\Psi_j, j = \overline{1, J}\}.$$

5. Возможность многовариантного моделирования оценочных показателей с использованием результатов мониторингирования.

В [45] показано, что средства цифрового управления логистическим процессом включает в себя функцию автоматизации контроля показателей, характеризующих их текущее состояние и возможность их мониторинга с определенной периодичностью.

Статистическая обработка результатов мониторинга позволяет получить информацию о характеристиках материальных и информационных потоках, определяющих перемещение результатов деятельности объектов организационной системы. Эту информацию целесообразно использовать для вычисления показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ на основе имитационного моделирования потоков в зависимости от структурных решений взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов, участвующих в логистических действиях [30]. Такая возможность создает предпосылки для учета при многовариантном моделировании [85] показателей эффективности управления материальными и информационными потоками логистического процесса, представленного на рисунке 1.2

Необходимость верификации структурных решений по показателям эффективности обмена данными между цифровыми платформами.

Многовариантное моделирование при оптимальном выборе структурных решений позволяет выделить несколько доминирующих вариантов взаимодействия цифровых платформ. Каждая структура цифрового управления логистическим процессом трансформируется в определенные программные средства, обеспечивающие обмен данными между цифровыми платформами. При этом способ реализации обмена данными характеризуется своим множеством показателей эффективности $\Psi_{j,j'} = \overline{1, J'}$. Поэтому требуется трансформировать структурное решение в соответствующий способ реализации обмена данными и провести ее верификацию по показателям $\Psi_{j,j'} = \overline{1, J'}$.

ERP и WMS в процессе взаимодействия обмениваются пакетами данных в формате XML [83,87]. Сообщения передаются по протоколу HTTP(s) в виде запрос-ответ с использованием предоставляемого системой ERP средства «XML

Connector». Все запросы инициируются системой WMS методом протокола HTTP «POST» [103].

Для оповещения WMS о событиях, происходящих в рамках системы ERP, используется механизм генерации событий и организации очереди для хранения событий, ожидающих обработки со стороны WMS. Примерами событий, генерируемых системой ERP, являются, ввод и доведение до состояния готовности к обработке со стороны WMS документа (установка статуса), или изменение (добавление) значимой для WMS позиции в классификаторе товарно-материальных ценностей ERP. WMS через определенные промежутки времени (настраиваемые) обращается к процедуре, которая анализирует внутренние структуры ERP и формирует список событий, (без противоречивых и взаимно компенсирующихся на момент вызова событий типа создание-удаление одного объекта, или множественное изменение одного документа), возвращает список таких событий в качестве результата выполнения в порядке возрастания номера события с номерами, больше указанного в параметре.

В большинстве случаев перечисленные особенности учитываются управляющим центром путем принятия ряда административных 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 предполагается организовать поддержку решений с использованием формализованных методов моделирования и оптимизации [46], объединяющих в подсистему поддержки принятия решений ряд модулей:

- многовариантное моделирование при оптимизации цифрового управления на фиксированном множестве структурных решений в соответствии с требованиями $\Psi_j^o, j = \overline{1, J}$;

- многовариантное моделирование при оптимизации цифрового управления на варьируемом множестве структурных решений в соответствии с требованиями $\Psi_{j'}^o, j' = \overline{1, J'}$;

- верификация структурных решений по показателям эффективности обмена данными между цифровыми платформами и выбор окончательного варианта в соответствии с $\Psi_{j'}^o, j' = \overline{1, J'}$.

Функционирование перечисленных модулей требует привлечения следующей информации:

- данных мониторинга показателей эффективности цифровизованного логистического процесса с применением пакета статистической обработки;

- экспертных оценок соответствия показателей эффективности цифрового управления логистическим процессом требованиям $\Psi_j^o, j = \overline{1, J}, \Psi_{j'}^o, j' = \overline{1, J'}$.

Перечисленные модули предлагается объединить в единую систему принятия решений при оптимизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе [50], структурная схема которой представлена на рисунке 1.3.

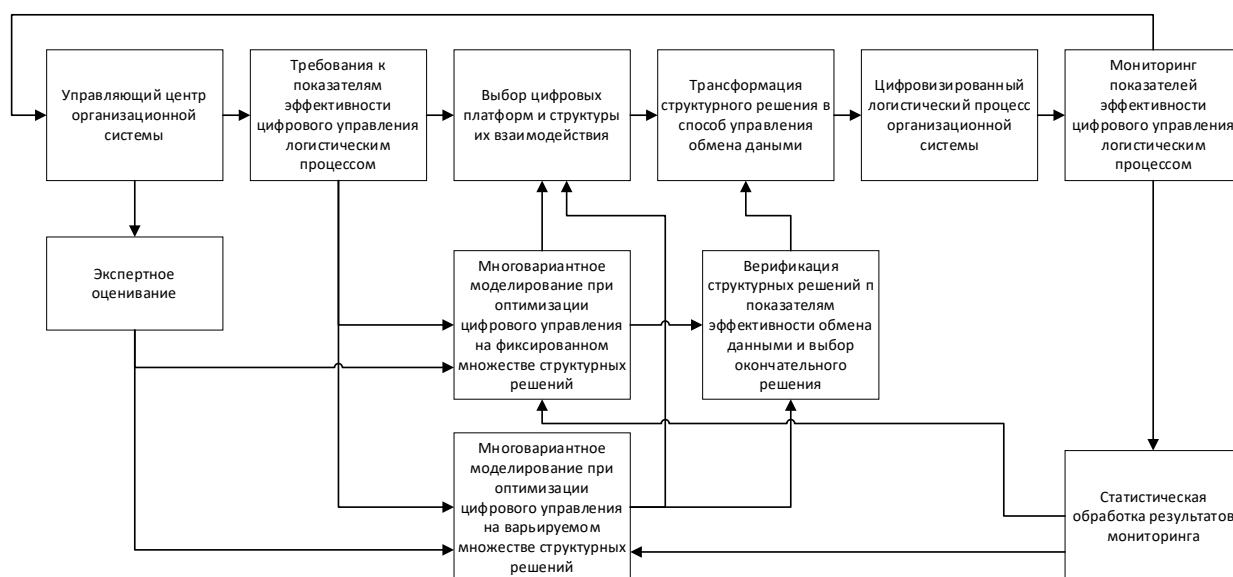


Рис.1.3. Структурная схема системы принятия решений при оптимизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе

1.2 Влияние взаимодействия цифровых платформ на эффективность управления логистическим процессом

В п.1.1 охарактеризовано особенность мультиплатформенного цифрового управления логистическим процессом при взаимодействии ERP цифровой платформы управляющего центра и WMS цифровой платформы объектов организационной системы. Рассмотрим, как их взаимодействие влияет на эффективность управления.

Основное требование, предъявляемое к ERP-системе – централизация данных в единой базе, близкий к реальному времени режим работы, сохранение общей модели управления для организаций любых отраслей, поддержка территориально-распределенных структур, работа на широком круге аппаратно-программных платформ и СУБД. В то время как эти требования никак нельзя отнести к WMS.

Рассматривая реальную ERP Монолит можно сказать, что она полностью отвечает всем современным требованиям, её основные возможности приведены на рисунке 1.4 [52].

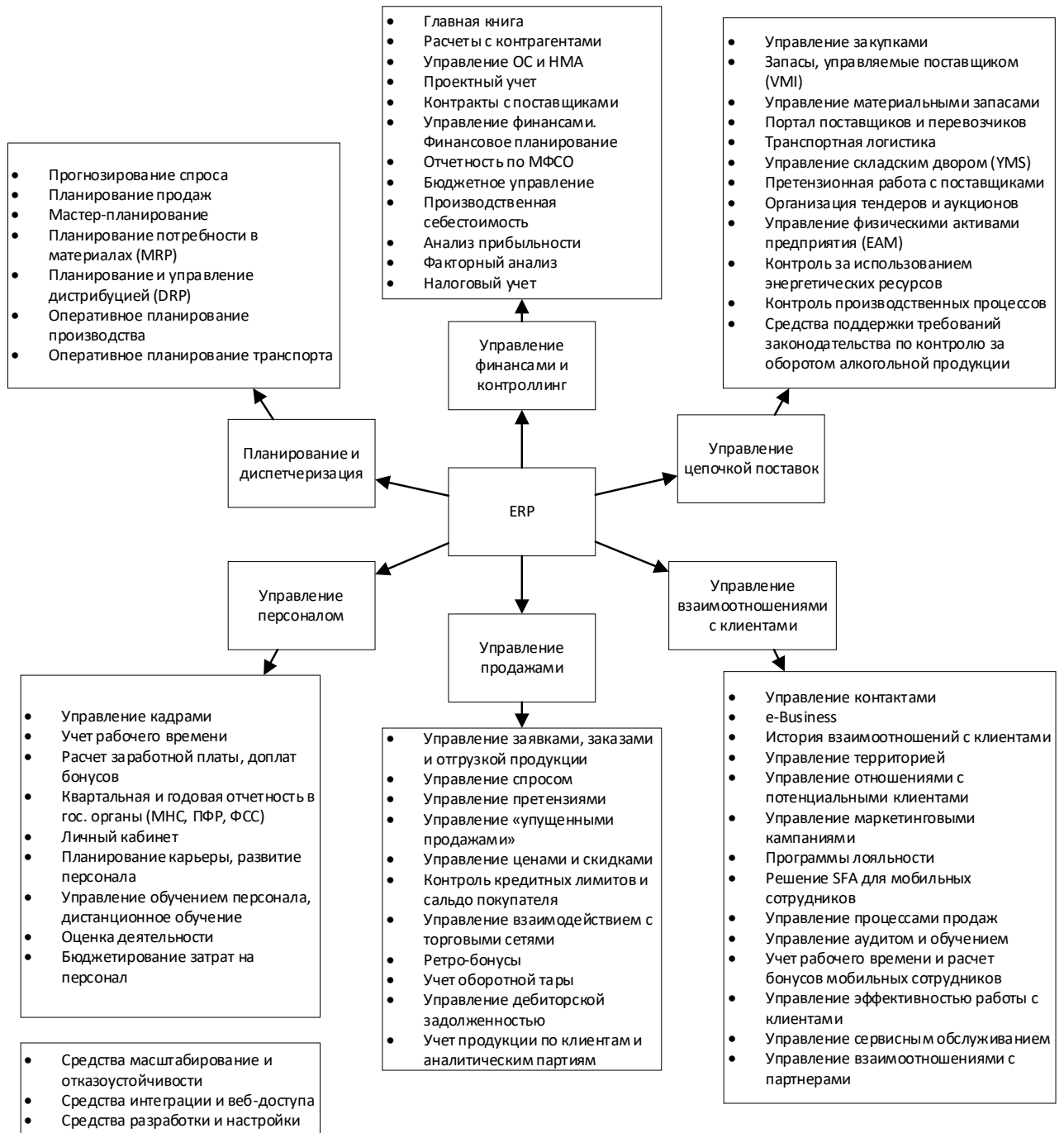


Рис. 1.4. Основные возможности ERP Монолит

Рассматривая принципы взаимодействия между системами ERP Монолит и WMS и описание бизнес-процессов, связанных с отгрузкой продукции, отражаемых в системе ERP Монолит, связанных с взаимодействием с WMS, можно сказать, что в ERP Монолит выполняется подокументный учет всех складских операций; печать первичных документов; количественный учет и резервирование продукции под последующие отгрузки; контроль склада. А со стороны WMS

обеспечивается автоматизированное управление складом и учет товаров с большей степенью детализации – по партиям, паллетам, по адресам хранения [102] и т.д.

Интеграция между системами обеспечивается с помощью шлюза для обменов. Взаимодействие между системами строится по документному принципу. В рамках каждой операции, описываемой в ERP Монолит определенным типом документа, установлены правила взаимодействия (протокол) между системами. Схема взаимодействия между WMS и ERP Монолит построена исходя из задач реализации логистического процесса в организационных системах.

Взаимодействия ERP Монолит и WMS обеспечивается на базе общего набора атрибутов партий. При планировании отгрузки WMS получает директиву в виде списка позиций с указанием ключевых атрибутов. На этом основании WMS обеспечивает загрузку продукции, соответствующей по атрибутам подобранным в ERP-Монолит партиям. При такой схеме взаимодействия между ERP Монолит и WMS – не требуется вводить общий для обеих систем идентификатор партий. При взаимодействии должна быть обеспечена синхронизация между ERP Монолит и WMS всех документов, по поступлению продукции, по отгрузке и по списанию.

У каждого документа есть свои уникальные особенности взаимодействия ERP-WMS, но в тоже время их объединяют ключевые особенности. Подобное взаимодействие двух систем в общем виде можно назвать партионным учётом. Обмен происходит именно по отличительным атрибутам партий продукции. Данные о партиях содержатся как в WMS, так и в ERP и важным аспектом работы склада становится поддержка 100% сходимости партий.

Определяющую роль во взаимодействии цифровых платформ играет обмен командами и обмен данными. В таком контексте одна система должна быть инициатором, ведущей системой, а другая исполнителем. Для решения задач обмена используют межсистемный интерфейс – шлюз.

На рисунке 1.5 представлена схема одного из вариантов одностороннего шлюза между ERP и WMS, в котором команды отдает только ERP.

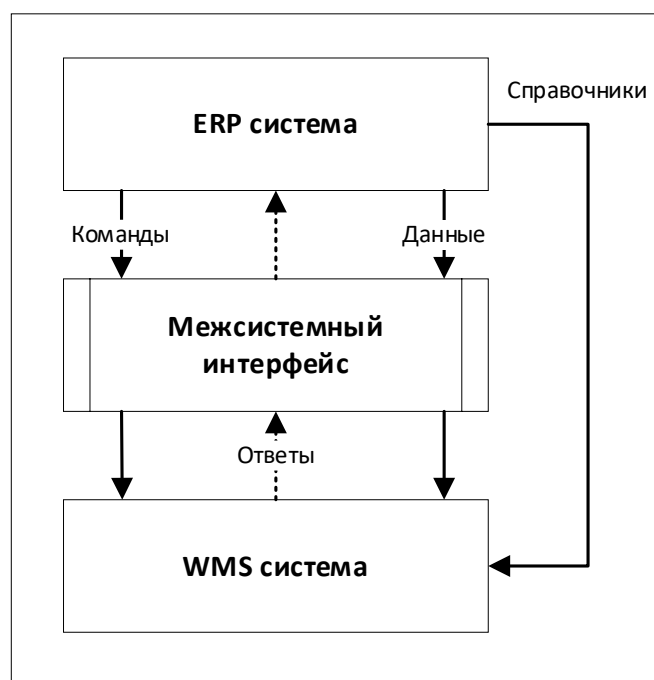


Рис. 1.5. Схема одностороннего шлюза

На схеме обозначено, что через шлюз обрабатываются команды из ERP в WMS и передаются различные данные, в то время как может быть осуществлена прямая передача некоторых данных, например справочников системы без участия межсистемного интерфейса, например с помощью транслирования записей в базу данных. Принимающая система WMS отправляет в ERP информацию о результатах обработки – ответы в формате обработана ли команда или нет.

К сожалению, в связи с широким разнообразием цифровых платформ на сегодняшний день нет универсального инструмента для организации межсистемного обмена. Но есть основные принципы, которых придерживаются разработчики при интеграции систем [66,67]. И именно на этапе интеграции определяются все требования к шлюзу и к списку команд и набора данных для обработки через шлюз.

В настоящий момент, в рамках логистического процесса на основе работы ERP и WMS осуществляются:

- подокументный учет всех операций логистического процесса;
- печать первичных документов;

- количественный учет и резервирование продукции под последующие отгрузки;
- контроль и мониторинг логистического процесса.

С помощью WMS обеспечивается автоматизированное управление складом и учет товаров с большей степенью детализации – по партиям, паллетам, по адресам хранения и т.д. Интеграция между системами обеспечивается с помощью шлюза для обменов с WMS.

Взаимодействие между системами строится по документному принципу. В рамках каждой операции, описываемой в ERP определенным типом документа, определены правила взаимодействия (протокол) между системами [76].

Взаимодействия ERP Монолит и WMS обеспечивается на базе общего набора атрибутов партий. Согласовано, что при взаимодействии партий системы обмениваются только атрибутами партий.

В этом случае, использование единого для двух систем идентификатора партии не требуется. При планировании отгрузки WMS получает директиву в виде списка позиций (SKU) с указанием ключевых атрибутов. На этом основании WMS обеспечивает загрузку продукции, соответствующей по атрибутам, подобранным в ERP партиям. При такой схеме взаимодействия между ERP и WMS – не требуется вводить общий для обеих систем идентификатор партий. Кроме того, нет необходимости в раздельном хранении на складе и учете партий товаров с одинаковыми атрибутами, но поступившими разными поставками.

При взаимодействии должна быть обеспечена синхронизация между ERP и WMS всех документов, по поступлению продукции на склад и уходу продукции со склада.

Обобщенная схема взаимодействия между системами ERP и WMS представлена на рисунке 1.6.

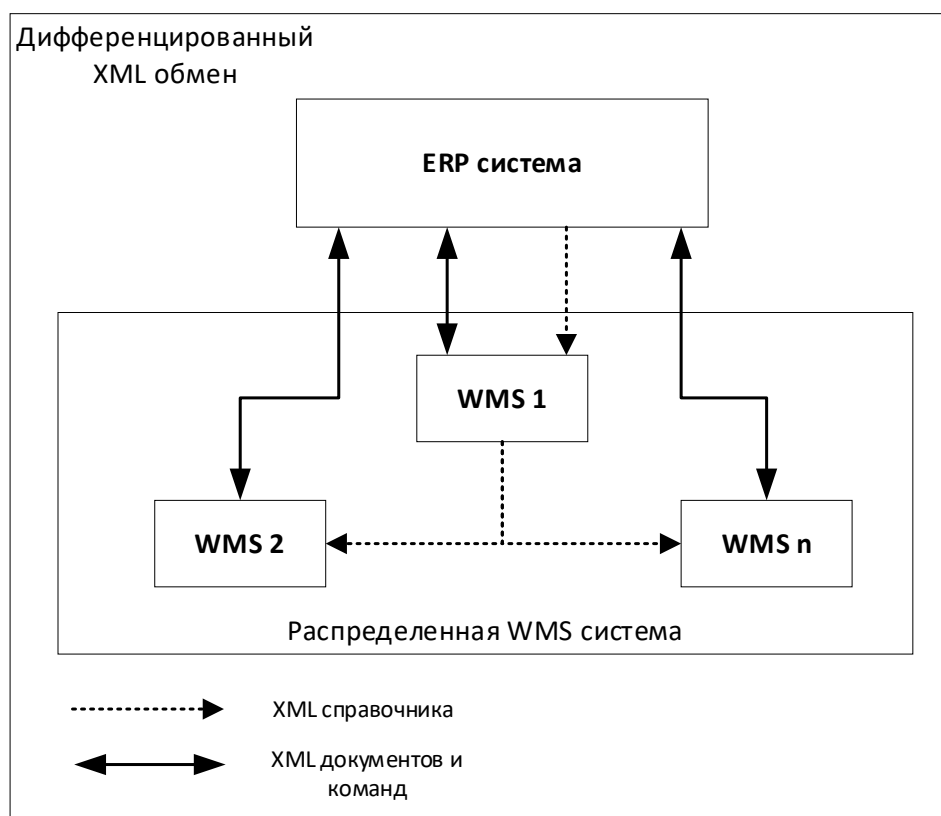


Рис. 1.6. Обобщенная схема

На схеме обозначены потоки XML обмена между ERP и WMS как два разных потока. Первый поток – это поток обмена документами и командами. В шлюзе должны быть четко обозначены все обрабатываемые команды и документы, т.к. зачастую не все команды ERP должны быть переданы в WMS и должна быть предусмотрена возможность управления этими командами. То же самое относится и к обработке документов.

Второй поток – это поток данных справочников, передача мастер-данных из одной системы в другую. Если рассматривается система ERP, работающая в режиме близком к реальному времени, то именно в ней и хранятся все мастер-данные. ERP является инициатором для порождения XML файла на передачу информации в WMS. Аналогично потоку XML команд и документов на этапе интеграции определяется список данных для передачи.

Данная схема применима в том случае, если WMS децентрализована по отношению к ERP и является распределенной системой.

Рассматривая WMS как распределенную систему необходимо обозначить все потоки XML обмена между подсистемами. Весь XML обмен представлен двумя потоками. Обобщенная схема обмена внутри распределённой системы представлена на рисунке 1.7.

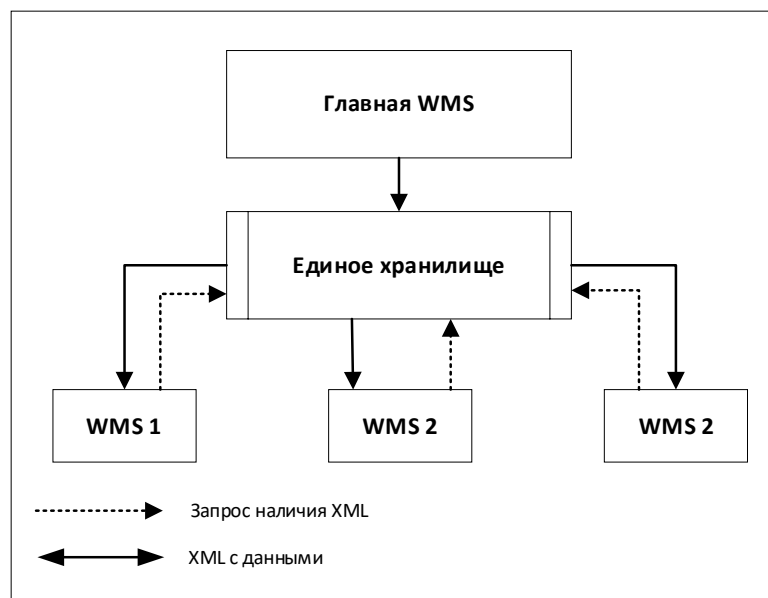


Рис. 1.7. Обмен внутри распределенной системы

Первый поток – это передача XML с данными. Как обозначено на схеме, для снижения нагрузки на главную WMS используется отдельный сервер, или единое хранилище. В него поступают данные, обрабатываются и подготавливаются для передачи во все зависимые WMS. По определенно заданному алгоритму все зависимые WMS опрашивают единое хранилище на наличие данных – это второй поток. Если данные есть, то они будут отправлены в опрашивающую WMS.

Данные в главную WMS поступают из ERP системы по принципу, рассмотренному в схемах на рисунках 1.5 и 1.6.

Таким образом осуществляется передача мастер-данных из системы ERP в WMS. Это могут быть данные различного типа. Но зачастую – это именно всевозможные справочники товаров, контрагентов и прочие.

Проанализируем, что дает такая схема обмена между ERP и WMS, а также внутри распределенной WMS?

Во-первых, данная схема является примером частичной централизации управления мастер-данными. А это значительно повышает эффективность работы компании в целом, т.к. на всех территориально распределенных филиалах всегда будут актуальные данные о товарах, контрагентах или, например, услугах. И соответственно уменьшаются риски предоставления недостоверных данных поставщикам и контрагентам, что в свою очередь уменьшает издержки по затратам на предоставлении информации [1].

Во-вторых, администрирование данных становится в разы проще и эффективнее. Снимается необходимость администрировать данные сразу нескольких WMS, а достаточно выполнять корректировку лишь на одной площадке. Эффективность будет выражаться в экономии на персонале и экономии затраченного времени в человеко-часах.

В-третьих, снижается нагрузка на межсистемный интерфейс между ERP и WMS, а значит повышается его запас производительности и отказоустойчивость в целом. Это проявляется в снижении интенсивности обрабатываемой и передаваемой информации, т.к. передача из ERP осуществляется только для одной WMS, вместо нескольких возможных. А значит, что расширяется возможность масштабирования системы без дополнительных материальных затрат на доработку системы. Но при такой схеме возможен незначительный рост объемов передаваемой информации внутри распределенной WMS.

1.3 Возможности многовариантного моделирования и оптимизации для повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом

Особенности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе, рассмотренные в п. 1.1, определяют возможность повышения эффективности функционирования цифровизированного логистического процесса за счет поддержки принятия решений управляющего центра, с использованием формализованных методов многовариантного выбора и

оптимизации (рис. 1.3). При этом следует учитывать ряд факторов влияющих на построение проблемно ориентированных моделей и алгоритмов решений:

- наличие двух множеств показателей, характеризующих эффективность перемещения материальных потоков $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ и информационного обмена между цифровыми платформами при управлении этими перемещениями $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$;

- возможность многовариантного выбора либо на фиксированном множестве структурных решений, характеризующих взаимодействие цифровых средств управляющего центра и цифровизированных компонентов логистического процесса, либо на варьируемом множестве структурных решений, характеризующих число уровней цифрового управления и распределение цифровизированных компонентов между этими уровнями;

- необходимость привлечения информации в виде оценок экспертов [49] управляющего центра значимости показателей эффективности $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ и $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$ с учетом многокритериальности выбора оптимального структурного решения.

Формализованный учет этих факторов рассмотрим применительно к оптимальному выбору на основе векторного критерия [4,5]

$$\Psi = \{\Psi_1, \dots, \Psi_j, \dots, \Psi_J\}, \quad (1.1)$$

где $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ – скалярные критерии, определяющие экстремальные требования к показателям $\Psi_j, j = \overline{1, J}$.

Оптимальный выбор на основе векторного критерия (1.1) связан с определением областей Парето, т.е. такого множества структурных решений, для которого невозможно одновременное улучшение всех скалярных критериев $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ [68]. Выбор единственного решения осуществляется двумя основными способами:

- на основании методов экспертного оценивания при выборе компромиссного структурного решения [5] (методом логического упорядочения Черчмена-Акоффа, парных сравнений, последовательных уступок);

- путем перехода к эквивалентной оптимизационной задаче на основе скаляризации исходной задачи векторной оптимизации (1.1) [46].

Метод скаляризации реализуется на основании двух приемов перехода к эквивалентной оптимизационной задаче.

В первом случае выбирается единственный показатель Ψ_{j_1} , к которому предъявляются экстремальные требования, а для остальных показателей формулируются граничные требования в виде ограничений

$$\Psi_{j_1} \rightarrow extr, \Psi_j \leq \Psi_j^o, j = \overline{1, J}, j \neq j_1, \quad (1.2)$$

где Ψ_j^o - граничное значение показателей Ψ_j .

Эквивалентная задача (1.2) решается одним из методов решения задач математического программирования [40,89].

Во втором случае скаляризация состоит в сворачивании отдельных критериев в единый, глобальный критерий

$$F(\Psi_j) \rightarrow extr. \quad (1.3)$$

При этом используются разные структуры зависимости (1.3) [5]:

- аддитивная средневзвешенная свертка;
- среднестепенная свертка;
- среднегеометрическая свертка;
- мультипликативная свертка.

Однако, выбор структуры функции F не дает возможности решить задачу (1.3), поскольку эта функция зависит от параметров $\alpha_j, j = \overline{1, J}$. Именно определение этих параметров позволяет выбрать единственное компромиссное решение на множество Парето-оптимальных структурных решений.

Многовариантный выбор осуществляется на основе двух форм информации о разнообразии структур цифрового управления логистическим процессом в организационной системе:

- при фиксированном множестве вариантов $n = \overline{1, N}$ – это информация о значениях показателей, вычисленных для каждого варианта:

$$\Psi_{jn}, j = \overline{1, J}, n = \overline{1, N}; \quad (1.4)$$

— при варьируемом множестве вариантов это информация зависимости показателей $\Psi_{j,,j'} = \overline{1,J'}$, от элементов структуры цифрового управления и связей между ними.

В первом случае с учетом $r = \overline{1,R}$ цифровизированных компонентов логистического процесса перемещение материальных потоков в организационной системе (рис.1.2) следует рассматривать как R – фазную систему массового обслуживания, характеризуемую парой чисел (i, r) и параметрами:

λ_i – интенсивностью входного потока объекта O_i ;

μ_i – интенсивностью обслуживания заявки входного потока в i -м объекте. Имитационное моделирование преобразования потоков в этой системе позволяет определить значения $\Psi_{j,,j} = \overline{1,J}$ [74].

Во втором случае формализация зависимости показателей $\Psi_{j,,j'} = \overline{1,J'}$ от структуры цифрового управления достигается введением альтернативных переменных [47]

$$x_{im} = \begin{cases} 1, \text{ если в структурное решение} \\ \text{включается связь между} \\ i - \text{м и } m - \text{м элементом;} \\ 0, \text{ в противном случае, } i = \overline{1,I}, m = \overline{1,M}. \end{cases} \quad (1.5)$$

Тогда значения показателей эффективности цифрового управления логистическим процессом определяются некоторыми функциональными зависимостями [56]

$$\Psi_j = \Psi_j(x_{im}), j = \overline{1,J}. \quad (1.6)$$

Перечисленные формы информации влияют на переход к эквивалентной оптимизационной модели задачи векторной оптимизации (1.1) [6]. Первая форма (1.4) определяет модель (1.3), вторая на основе (1.5), (1.6) – либо модель (1.2), либо комбинацию моделей (1.2), (1.3).

Эффективным подходом к решению задачи (1.2) при (1.5), (1.6) является использование рандомизированной схемы адаптивного поиска [7] с вероятностями

$P_{x_{im}}$ принятия альтернативной переменной (x_{im} значения 1 и возможностью вычисления значений показателей

$$\Psi_{j'} = \Psi_{j'}(P_{x_{im}}), j' = \overline{1, J'} . \quad (1.7)$$

Значения (1.7) предполагается вычислять с использованием имитационной модели информационных потоков, обеспечивающих управление перемещением результатов деятельности между объектами $O_i, i = \overline{1, I}$, участвующими в логистическом процессе. Особенностью такой модели является возможность варьирования связями между элементами структуры цифрового управления на основе значений вероятностей $P_{x_{im}}$ [75]

$$x_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{x_{im}} \leq \xi; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (1.8)$$

где ξ – значение случайного числа в псевдослучайной последовательности чисел, равномерно распределенных на интервале $[0, 1]$.

Показатели информационного обмена $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$ с целью выбора оптимального варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе предлагается определить следующим образом. Экономические и временные показатели информационного обмена между цифровыми платформами управляющего центра и объектов организационной системы вычисляются на основе аддитивных преобразований.

Вычисление надежностных показателей требует анализа состояний цифровой системы управления перемещением материальных потоков в нормальном и аварийном режимах как системы массового обслуживания [41].

Нормальный режим состоит из следующих состояний:

C_0 – начальное состояние до поступления XML-документа для информационного обмена между цифровыми средствами управления;

C_1 – состояние системы после поступления заявки на обслуживание XML-документа;

C_2 – состояние цифрового управления перемещением материального потока после обслуживания XML-документа.

После завершения управляющего действия, связанного с переходами из состояния C_0 в C_1 , C_1 в C_2 , система вновь переходит в состояние C_0 .

Аварийный режим включает в себя состояния C_3 и C_4 :

C_3 – состояние ожидания восстановления информационного обмена XML-документами после отказа цифрового средства управления;

C_4 – состояние восстановления цифрового средства управления после отказа.

Граф состояний цифрового управления логистическим процессом приведен на рисунке 1.8.

Введем ряд обозначений:

λ_1 – интенсивность потока XML-документов;

μ_1 – интенсивность выполнения подготовительного этапа для информационного обмена XML-документами;

μ_2 – интенсивность обслуживания XML-документов в процессе управления перемещений материального потока;

$\bar{\tau}^B$ – среднее время восстановления цифрового средства управления после отказа;

$\bar{\tau}^{OЖ}$ – среднее время ожидания восстановления информационного обмена XML-документами после отказа цифрового средства управления;

λ_2 – интенсивность отказов цифровых средств управления.

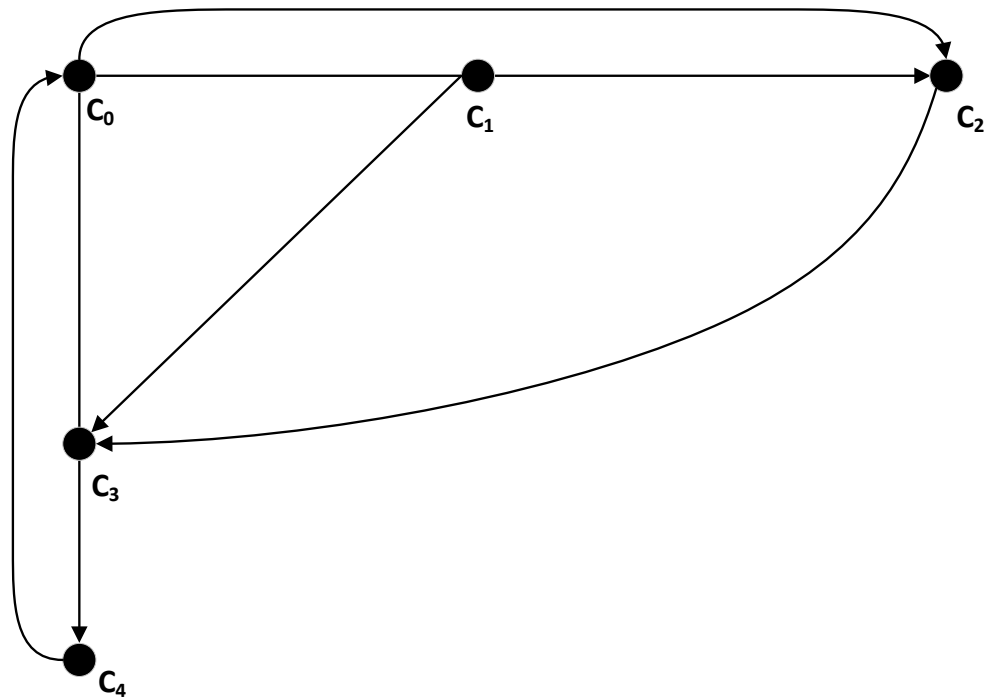


Рис.1.8. Граф состояний цифрового управления логистическим процессом

В [41] качестве критериев оценки надежности цифрового управления определены коэффициенты готовности системы в нормальном режиме

$$k_n = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu_1 + \mu_2}}; \quad (1.9)$$

в аварийном режиме

$$k_a = \frac{1}{1 + \lambda_2 \tau_{\text{ож}} + \lambda_2 \tau_{\text{в}}}. \quad (1.10)$$

Таким образом формализованное описание оптимального выбора структурных решений на основе задач (1.2), (1.3), имитационного моделирования [38] и использования расчетных выражений (1.9), (1.10) определяет возможности многовариантного моделирования и оптимизации [42] для повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом.

Выводы первой главы

1. С целью повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом организационной системы следует ориентироваться на ряд особенностей такого рода цифровой трансформации управляемого перемещения результатов деятельности объектов, участвующих в логистическом процессе: интегрированность цифрового управления материальными и информационными потоками; мультиплатформенность цифрового управления; многовариантность структурных решений; векторность оценки эффективности структурных решений взаимодействия цифровых платформ; возможность многовариантного моделирования оценочных показателей; необходимость верификации структурных решений по показателям эффективности обмена данными между цифровыми платформами.

2. Влияние взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы на эффективность цифрового управления логистическим процессом проявляется через XML обмен между ними и вариативность формирования шлюзов между системами класса ERP и WMS для синхронизации информационного обмена и выполнения управляющих действий на уровне перемещения материальных потоков.

3. Для повышения эффективности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе путем многовариантного моделирования и оптимизации необходимо учитывать: наличие двух множеств показателей эффективности, поиск оптимального структурного решения на фиксированном и варьируемом множестве вариантов, привлечение методов экспертного оценивания. Учет перечисленных факторов позволяет перейти к эквивалентным задачам векторной оптимизации на основе методов их скаляризации и включения в цикл принятия решения имитационного моделирования перемещения результатов деятельности объектов организационной системы и их верификации по показателям информационного обмена между цифровыми средствами.

2 МНОГОВАРИАНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА МНОЖЕСТВЕ СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ

Как показано в п.1 оптимизация цифрового управления логистическим процессом в организационной системе основывается на многовариантном моделировании [91] взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе, на множестве вариантов структурных решений, учитывающих как последовательность перемещений материальных потоков, так и информационный обмен между цифровыми платформами. Возможность варьирования структурой цифрового управления определяется степенью его децентрализации и создает предпосылки для многовариантного моделирования при оптимизации на фиксированном множестве структурных решений. В этом случае для каждого варианта в режиме имитационного моделирования многофазного процесса перемещения результатов деятельности объектов организационной системы вычисляется набор показателей эффективности $\Psi_j, j = \overline{1, J}$. Тогда появляется возможность адаптивного формирования интегральной оценки эффективности с использованием экспертного оценивания на уровне управляющего центра.

В ситуации, когда преимущество по величине интегральной оценки отдается либо централизованной, либо децентрализованной структуре, то они сравниваются между собой по показателям эффективности информационного обмена $\Psi_{j,j'}, j' = \overline{1, J'}$ цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы на основе верификационного моделирования с использованием аналитических расчетов.

В ситуации преимущества кластерной структуры переходят к многовариантному моделированию при оптимизации цифрового управления на варьируемом множестве структурных решений. Оптимальный выбор

осуществляется на множестве показателей информационного обмена, поскольку варьирование происходит в рамках кластерной структуры взаимодействия цифровых платформ и не затрагивает определенную последовательность перемещения материальных потоков. На формализованном уровне варьируемыми являются альтернативные переменные, определяющие число кластеров, перечень объектов, управление которыми осуществляется в рамках кластера, цифровые и количественные оценки граничных требований по показателям эффективности информационного обмена. Разные сочетания экстремальных и граничных требований отражаются в трех постановках задач оптимизации: бикритериальной без ограничений, бикритериальной с фиксируемыми и вариативными граничными условиями.

2.1 Многовариантное моделирование при оптимизации цифрового управления на фиксированном множестве структурных решений

Рассмотрим задачу многовариантного моделирования в случае возможности зафиксировать множество $n = \overline{1, N}$ вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Многовариантность определяется разнообразием структур [84] взаимодействия цифровых платформ, влияющих на степень децентрализации цифрового управления (рис.2.1):

- централизованная структура (рис. 2.1, а);
- децентрализованная структура (рис. 2.1, б);
- кластерная структура (рис. 2.1, в).

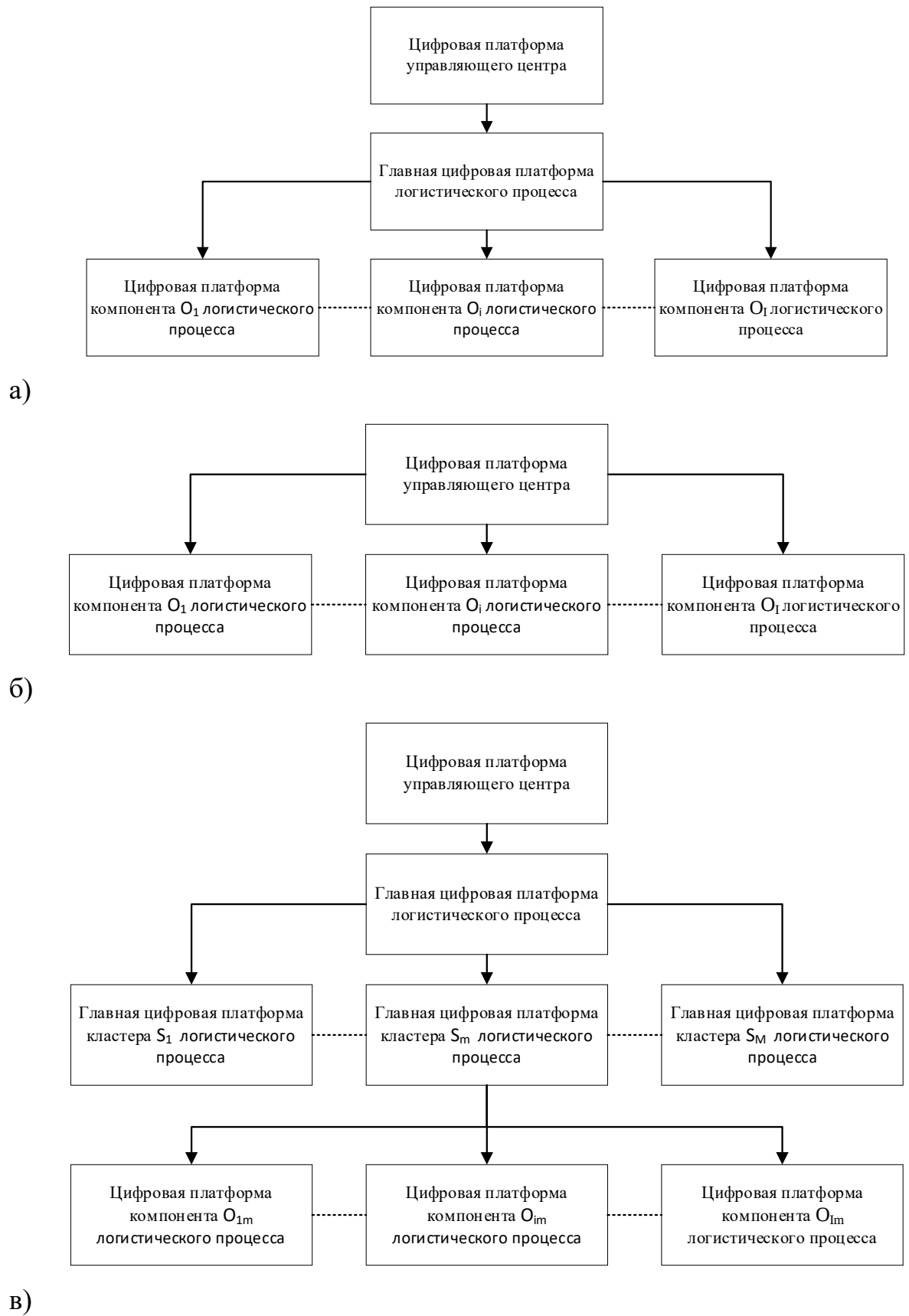


Рис. 2.1. Структурные схемы взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе

Каждый из вариантов соответствует определенному уровню децентрализации управления за счет передачи управленческих действия на уровень цифровых платформ компонентов организационной системы. Число вариантов N зависит от количества кластеров на втором уровне $S_m, m = \overline{1, M}$ и количества компонентов логистического процесса $O_i, i = \overline{1, I}$, включаемых в m -й кластер - $i_m = \overline{1, I_m}, \sum_{m=1}^M I_m = I$. Используя имитационные модели, позволяющие определить значения показателей эффективности перемещения $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ в зависимости от фиксированного множества структурных решений, вычисляем элементы $J \times N$ матрицы

$$\Psi_{jn} = \Psi_j(n), j = \overline{1, J}, n = \overline{1, N}. \quad (2.1)$$

Задача многокритериальной оптимизации на множестве показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ имеет следующий вид

$$\Psi_j(n) \rightarrow \text{extr } n = \overline{1, N}, j = \overline{1, J}. \quad (2.2)$$

Для решения задачи (2.2) переходят к эквивалентной однокритериальной задаче [46]

$$F(\Psi_j(n)) \rightarrow \text{extr } n = \overline{1, N}, \quad (2.3)$$

где F - интегральная функция, построенная на множестве показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$. Одной из распространенных структур интегральной функции (2.3), адекватной задаче оптимизации (2.2), является средневзвешенная аддитивная свертка [5]

$$F(\widehat{\Psi}_j(n)) = \sum_{j=1}^J \alpha_j \widehat{\Psi}_j(n), \quad (2.4)$$

где α_j – весовые коэффициенты,

$$0 \leq \alpha_j \leq 1, \sum_{j=1}^J \alpha_j = 1;$$

$\widehat{\Psi}_j(n)$ – нормированное значение j -го показателя для n -го варианта структурного решения

$$\widehat{\Psi}_j(n) = \frac{\Psi_j(n) - \Psi_j^{\min}}{\Psi_j^{\max} - \Psi_j^{\min}},$$

$$\Psi_j^{\max} = \max_{n = \overline{1, N}} \{\Psi_j(n)\}, \Psi_j^{\min} = \min_{n = \overline{1, N}} \{\Psi_j(n)\}.$$

Выражение (2.4) будем рассматривать в качестве многокритериальной модели оптимизации выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом [11] при исходных данных (2.1).

Охарактеризуем особенности оптимизационной модели (2.1), оказывающие влияние на алгоритмизацию принятия решений [88] при управлении логистическим процессом в организационной системе:

- принятие решений на основе модели (2.4) существенным образом зависит от выбора значений весовых коэффициентов;
- приемлемым способом вычисления показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ является имитационное моделирование цифровизированного логистического процесса как системы массового обслуживания.

Первая особенность влияет на подход к алгоритмизации принятия решения, который рассмотрен в 3.1.

Вторая особенность требует применения имитационного моделирования на основе R -фазной системы массового обслуживания (см. п. 1.3) [74]. Для формирования имитационной модели r -й фазы цифровизированного логистического процесса используем следующие данные:

$i_r = \overline{1, I_r}$ – нумерационное множество объектов O_{i_r} , входящих в r -й цифровизированный компонент логистического процесса;

λ_r – интенсивность пуассоновского входного потока заявок на выходе предыдущего $(r - 1)$ -го компонента;

λ_{ir} – интенсивность потока заявок на выходе объекта O_{i_r} ;

μ_{ir} – интенсивность обслуживания заявок объектом O_{i_r} , при показательном законе распределения времени обслуживания t_{ir} ;

t – текущее время имитационного моделирования логистического процесса;

T – заданное время имитационного моделирования;

$v = \overline{1, V}$ – нумерационное множество заявок, обслуженных за время имитационного моделирования T .

Для имитации перемещения материального потока заявок в рамках r -го цифровизированного компонента логистического процесса необходимо следующие преобразования временных характеристик этих заявок [61]:

- момент поступления v -й заявки для обслуживания в объекте O_{i_r}

$$t_v(i_r = 1) = t_{v-1}(i_r = 1) + \widetilde{\eta}_1,$$

где $\widetilde{\eta}_1$ – случайная величина интервала времени между поступлением $(v - 1)$ -й и v -й заявок в объекте O_1

$$\widetilde{\eta}_1 = -\frac{1}{\lambda_1} \ln \xi,$$

ξ – значение числа из последовательности псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на интервале $(0,1)$;

$$t_v(i_r = \overline{1, I_r}, i_r \neq 1) = t_{v-1}(i_r = \overline{1, I_r}, i_r \neq 1) + \widetilde{\eta}_{ir},$$

$$\widetilde{\eta}_{ir} = -\frac{1}{\lambda_{(i_r-1)}} \ln \xi;$$

момент освобождения объекта O_{i_r} после обслуживания v -й заявки

$$t_v^{CB}(i_r = \overline{1, I_r}) = t_v(i_r = \overline{1, I_r}) + \widetilde{t}_{ir},$$

$$\widetilde{t}_{ir} = -\frac{1}{\mu_{ir}} \ln \xi.$$

Эти преобразования совмещены при имитационном моделировании с рядом логических условий.

1. Соответствие заданному времени имитационного моделирования:

если $t_v(i_r = \overline{1, I_r}) < T$, то моделирование продолжается;

если $t_v(i_r = \overline{1, I_r}) \geq T$, то завершают перемещение заявки до объекта O_{I_r} и подсчитывают общее число обслуженных заявок $v = V$.

2. Обеспечение дисциплины очереди и реализации механизма обслуживания:

Если $t_v(i_r = \overline{1, I_r}) \geq t_{v-1}(i_r = \overline{1, I_r})$, то v -я заявка обслуживается без ожидания и определяется время простоя объекта O_{i_r} до поступления v -й заявки

$$\Delta v(i_r = \overline{1, I_r}) = t_v(i_r = \overline{1, I_r}) - t_{(v-1)}^{CB}(i_r = \overline{1, I_r});$$

Если $t_v(i_r = \overline{1, I_r}) < t_{(v-1)}^{CB}(i_r = \overline{1, I_r})$, то v -я заявка ожидает обслуживания в накопителе с объемом $W_{ir}, i_r = \overline{1, I_r}$ и определяется время ожидания

$$\tau_v^{ож}(i_r = \overline{1, I_r}) = t_{(v-1)}^{CB} - t_v(i_r = \overline{1, I_r})$$

и число заявок в накопителе

$$v^{ож}(i_r = \overline{1, I_r}) = w(i_r = \overline{1, I_r}),$$

где $w(i_r = \overline{1, I_r})$ – число заявок, ожидающих обслуживания в накопителе;

Если $v^{ож}(i_r = \overline{1, I_r}) \geq W$, то заявке отказывают в обслуживании и она возвращается в накопитель между $(r-1)$ -й и r -й фазами системы массового обслуживания и определяется число необслуженных заявок на момент выполнения условия соответствия заданному времени имитационного моделирования $V^{от}(T)$.

По результатам имитационного моделирования определяются следующие временные, экономические и надежность показатели эффективности перемещения материального потока логистического процесса:

Ψ_1 – среднее время ожидания обслуживания заявок в системе

$$\Psi_1 = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{i_r=1}^{I_r} \tau_v^{ож}(i_r = \overline{1, I_r})}{I_r V};$$

Ψ_2 – среднее время простоя объектов организационной системы, участвующие в логистическом процессе

$$\Psi_2 = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{i_r=1}^{I_r} \Delta_v(i_r = \overline{1, I_r})}{I_r V};$$

Ψ_3 – затраты на реализацию r -й фазы логистического процесса

$$\Psi_3 = c_r V;$$

где c_r – средние затраты на обслуживание одной заявки в r -й фазе логистического процесса;

Ψ_4 – затраты, связанные с ожиданием заявок в накопителе

$$\Psi_4 = \sum_{v=1}^V \sum_{i_r=1}^{I_r} \tau_v^{ож}(i_r = \overline{1, I_r}) c_{i_r}^H,$$

где $c_{i_r}^H$ – удельные затраты в единицу времени ожидания в накопителе объекта O_{ir} ;

Ψ_5 – затраты, связанные с простоем объектов логистического процесса

$$\Psi_5 = \sum_{v=1}^V \sum_{i_r=1}^{I_r} \Delta_v (i_r = \overline{1, I_r}) c_{i_r}^{\text{пр}},$$

где $c_{i_r}^{\text{пр}}$ – удельные затраты в единицу времени, связанные с простоем объектов логистического процесса;

Ψ_6 – вероятность отказа обслуживания элементов материального потока

$$\Psi_6 = \frac{V^{\text{от}}(T)}{V}.$$

2.2 Верификационное моделирование влияния на показатели структурных решений информационного обмена между цифровыми платформами с использованием аналитических расчетов

Как показано в 1.1 результаты многовариантного моделирования по оптимальному выбору структурных решений трансформируются в систему обмена данными между цифровыми платформами. Проведем верификационное моделирование влияния структурных решений, представленных на рис. 2.1 а, б, на показатели эффективности обмена данными Ψ_j , которые рассчитываются для централизованного и децентрализованного управления аналитическим путем:

Ψ_1 – скорость передачи информации;

Ψ_2 – объем передаваемой информации;

Ψ_3 – затраты на обработку одной единицы информационного обмена;

Ψ_4 – отказоустойчивость;

Ψ_5, Ψ_6 – коэффициенты готовности для нормального и аварийного режима реализации цифрового управления логистическим процессом (1.9), (1.10).

В каждом критерии можно выделить основные направления для оценки централизации. Итоговый результат можно представить в виде таблицы с оценкой значимости каждого критерия.

Для критерия оценки скорости передачи данных будет важна скорость обмена пакетами XML между ERP и WMS. Для сравнения расчётов скорости обмена данными опытным путём были проведены замеры с помощью пинг-тестов. Модель

обмена данными для децентрализованной схемы обмена представлена в виде графа на рисунке 2.2. Каждое ребро графа представляет собой межсистемный интерфейс (шлюз) между ERP и каждой локальной WMS в распределенной системе. Вес каждого ребра – время обмена пакетами XML. Формулой 2.5 задана матрица смежности для графа при децентрализованной схеме обмена.

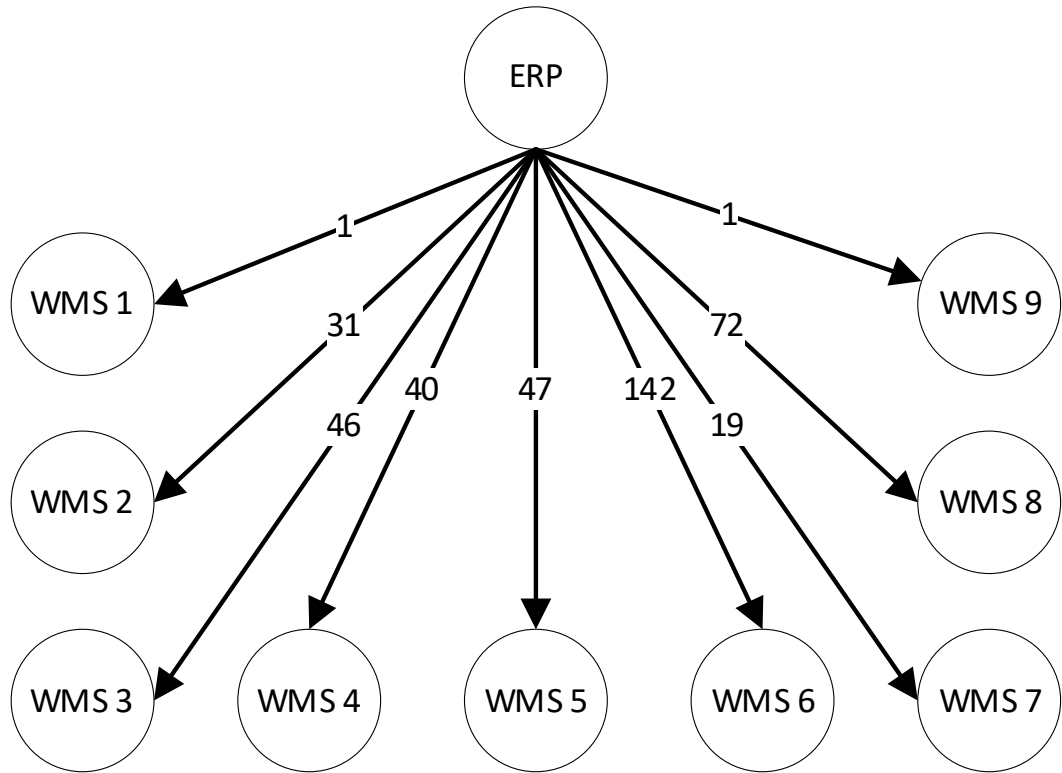


Рис. 2.2. Схема децентрализованного обмена

$$A = \begin{matrix} 0 & 0 & \dots & A_{1n} \\ 1 & 0 & \dots & A_{2n} \\ 31 & 0 & \dots & A_{3n} \\ 46 & 0 & \dots & A_{4n} \\ 40 & 0 & \dots & A_{5n} \\ 47 & 0 & \dots & A_{6n} \\ 142 & 0 & \dots & A_{7n} \\ 19 & 0 & \dots & A_{8n} \\ 72 & 0 & \dots & A_{9n} \\ 1 & 0 & \dots & A_{10n} \end{matrix}, \quad n=1, \dots, 10 \quad (2.5)$$

Модель обмена данными для централизованной схемы обмена представлена в виде графа на рисунке 2.3. Вес каждого ребра – время обмена пакетами XML между ERP и главной WMS, и между главной WMS и локальными WMS. Формулой 2.6 задана матрица смежности для графа при централизованной схеме обмена.

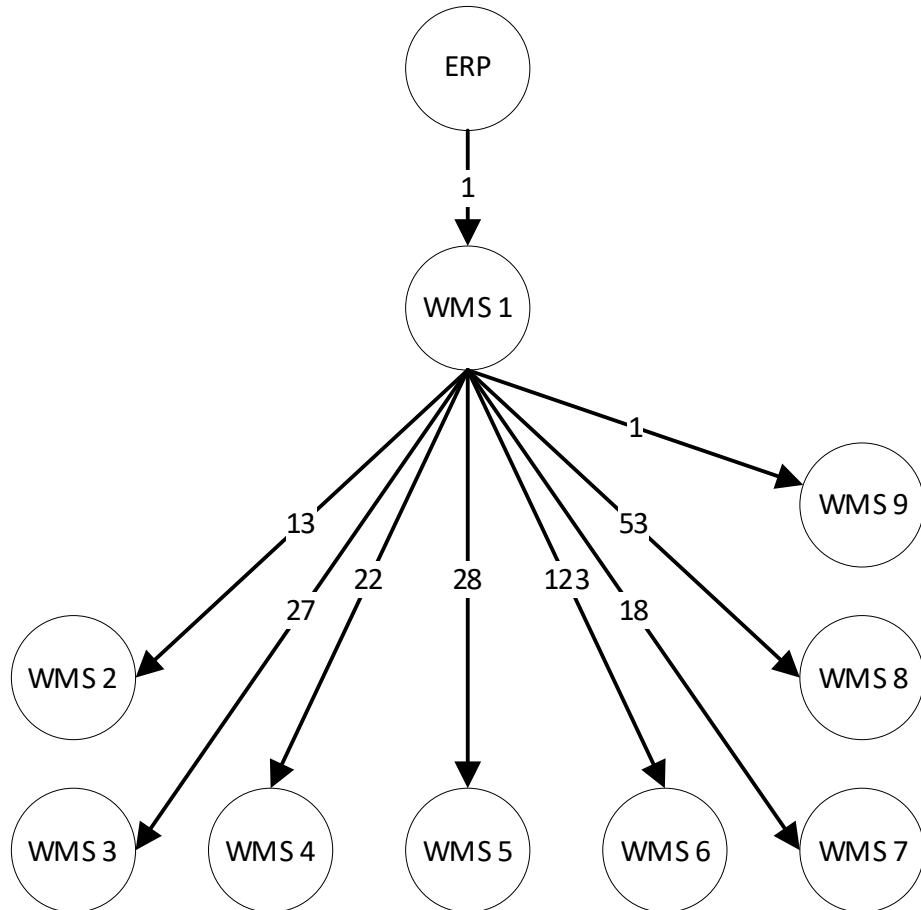


Рис. 2.3. Схема централизованного обмена

$$A = \begin{matrix} & 0 & 0 & 0 & \dots & A_{1n} \\ & 1 & 0 & 0 & \dots & A_{2n} \\ & 0 & 13 & 0 & \dots & A_{3n} \\ & 0 & 27 & 0 & \dots & A_{4n} \\ & 0 & 22 & 0 & \dots & A_{5n} \\ & 0 & 28 & 0 & \dots & A_{6n} \\ & 0 & 123 & 0 & \dots & A_{7n} \\ & 0 & 18 & 0 & \dots & A_{8n} \\ & 0 & 53 & 0 & \dots & A_{9n} \\ & 0 & 1 & 0 & \dots & A_{10n} \end{matrix}, \quad n=1, \dots, 10 \quad (2.6)$$

Для более наглядного представления можно сравнить маршруты графов от вершины ERP до вершины каждой локальной WMS. В таблице 2.1 представлены результаты сравнения.

Таблица 2.1. Сравнение скорости передачи

WMS	Децентрализованная схема	Централизованная схема	Увеличение скорости обмена
WMS 1	1	1	0
WMS 2	31	14	17
WMS 3	46	28	18
WMS 4	40	23	17
WMS 5	47	29	18
WMS 6	142	124	18
WMS 7	19	19	0
WMS 8	72	54	18
WMS 9	1	2	-1

При централизованной схеме обмена данными скорость обмена пакетами XML возросла для шести локальных WMS, для двух локальных WMS скорость осталась неизменной, и для одной локальной WMS скорость упала. Таким образом, при частичной централизации [59] обмена скорость передачи пакетов XML возрастает в среднем на 65%, что является весьма хорошим показателем для распределенной системы цифрового управления [98], в которой физически локальные WMS территориально значительно отдалены друг от друга.

Следующий критерий оценки эффективности централизации – объем передаваемой через сетевой шлюз информации. Естественно, большим преимуществом будет уменьшение объемов. Но сегодня любая информационная система наоборот должна быть готова к росту обрабатываемой информации. Модель обмена данными для децентрализованной схемы обмена представлена в

виде графа на рисунке 2.4. Каждое ребро графа представляет собой межсистемный интерфейс (шлюз) между ERP и каждой локальной WMS в распределенной системе. Вес каждого ребра – условный объем обрабатываемого пакета XML.

Объем, равный единице, представляет собой исходные мастер-данные из ERP системы. Объем, равный двум единицам, представляет собой обработанные в WMS данные – исходные мастер-данные из ERP плюс атрибуты WMS. Формулой 2.7 задана матрица смежности для графа при децентрализованной схеме обмена.

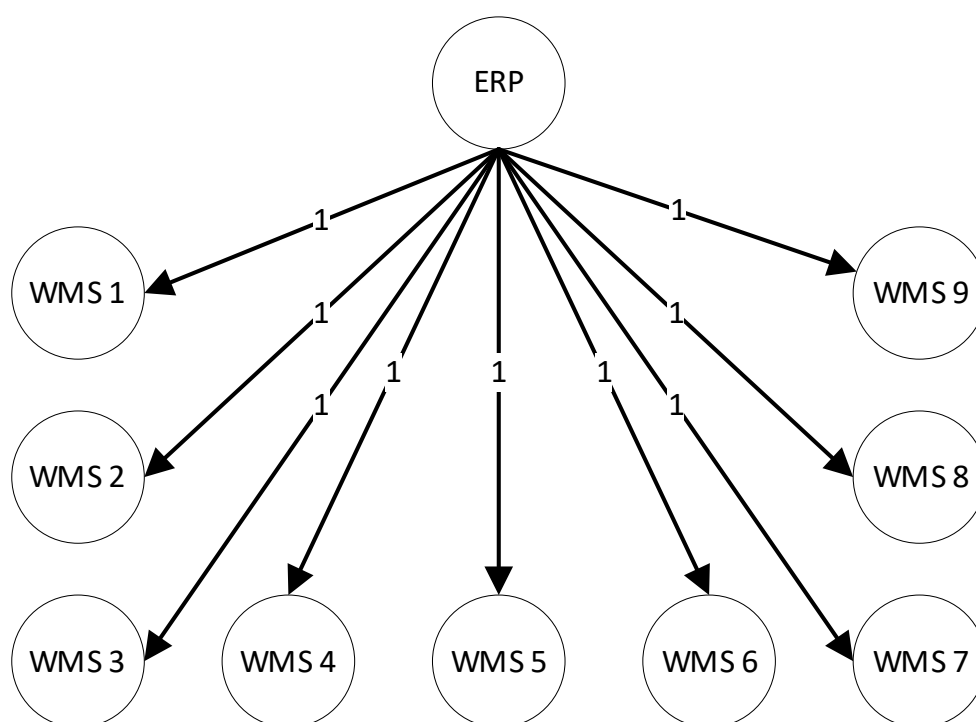


Рис. 2.4. Схема децентрализованного обмена

$$A = \begin{matrix} & 0 & 0 & \dots & A_{1n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{2n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{3n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{4n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{5n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{6n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{7n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{8n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{9n} \\ & 1 & 0 & \dots & A_{10n} \end{matrix}, n=1, \dots, 10 \quad (2.7)$$

Модель обмена данными для централизованной схемы обмена представлена в виде графа на рисунке 2.5. Каждое ребро графа представляет собой межсистемный интерфейс (шлюз) между ERP и главной WMS, и между главной WMS и локальными WMS. Вес каждого ребра – условный объём обрабатываемого пакета XML. Формулой 2.8 задана матрица смежности для графа при централизованной схеме обмена.

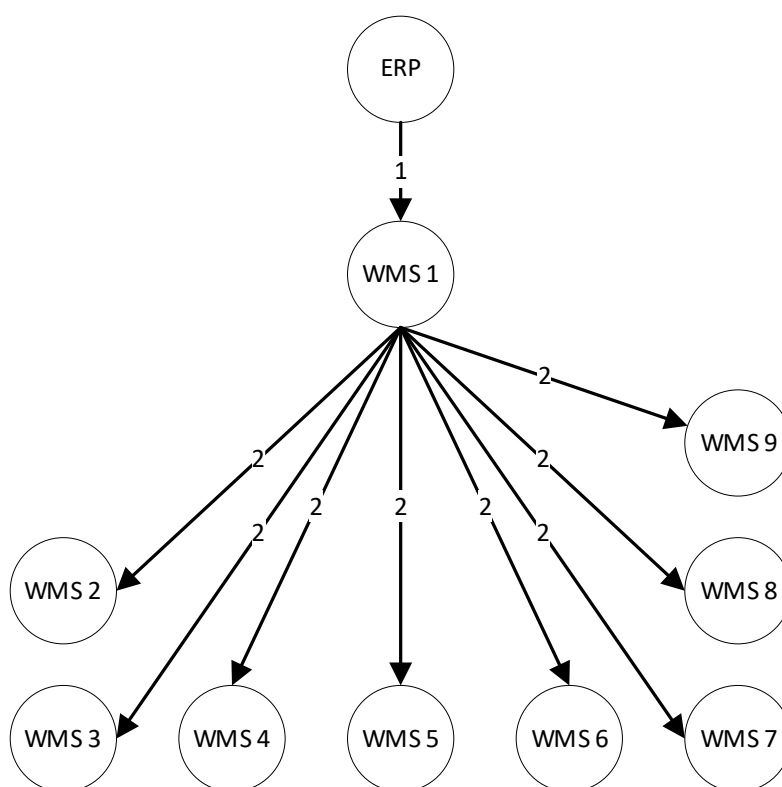


Рис. 2.5. Схема централизованного обмена

$$A = \begin{matrix} 0 & 0 & \dots & A_{1n} \\ 1 & 0 & \dots & A_{2n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{3n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{4n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{5n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{6n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{7n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{8n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{9n} \\ 0 & 2 & \dots & A_{10n} \end{matrix}, \quad n=1, \dots, 10 \quad (2.8)$$

Для более наглядного сравнения объемов передаваемых пакетов можно представить информацию в виде таблицы 2.2. В таблице отображены маршруты графов от вершины ERP до вершины каждой локальной WMS.

Таблица 2.2. Сравнение объемов передаваемых пакетов

WMS	Децентрализованная схема	Централизованная схема	Увеличение пакетов обмена
WMS 1	1	1	0
WMS 2	1	3	2
WMS 3	1	3	2
WMS 4	1	3	2
WMS 5	1	3	2
WMS 6	1	3	2
WMS 7	1	3	2
WMS 8	1	3	2
WMS 9	1	3	2

Для всех локальных WMS объем передаваемых пакетов XML увеличился в 2 раза. Лишь для системы инициатора объем пакетов остался неизменным, т.к. именно в системе инициаторе (главной WMS) происходит обмен с ERP.

Рост объема передаваемой информации обусловлен тем, что из ERP в WMS передаются только основные атрибуты справочников. В WMS к основным атрибутам добавляется большое количество других атрибутов, которые необходимы для корректной работы WMS. С одной стороны, это может негативно сказаться на работе шлюза, но в то же время, нельзя назвать рост объемов в 2 раза критическим. Возросшие объемы передаваемой информации в итоге компенсируются увеличением скорости передачи пакетов между локальным WMS.

Следующий критерий оценки эффективности централизации – трудозатраты на обработку одной единицы справочника. К одной единицы справочника в данном

случае относится каждый результат деятельности объектов организационной системы, участвующих в логистических процессах.

Модель представления трудозатрат, необходимых для обработки одной единицы справочника для децентрализованной схемы обмена отображена в виде графа на рисунке 2.6. Рёбра графа от ERP к локальным WMS представляют собой трудозатраты на передачу пакета XML. Вес каждого ребра – условная единица трудозатрат, необходимых для обмена. Петли графа для вершин локальных WMS представляют собой трудозатраты на обработку одной единицы справочника администратором справочника. Очевидно, что при такой схеме необходимы трудозатраты 9 администраторов, без учета администрирования справочников в ERP. Формулой 2.9 задана матрица смежности для графа при децентрализованной схеме обмена.

Объективно нельзя оценить размер трудозатрат, поэтому можно принять, что трудозатраты на администрирование справочников в размере 10 единиц включают в себя обработку 1 товара (1 единица), обработку упаковок (5 единиц), добавление в товарные группы (3 единицы) и подтверждение обработки (1 единица).

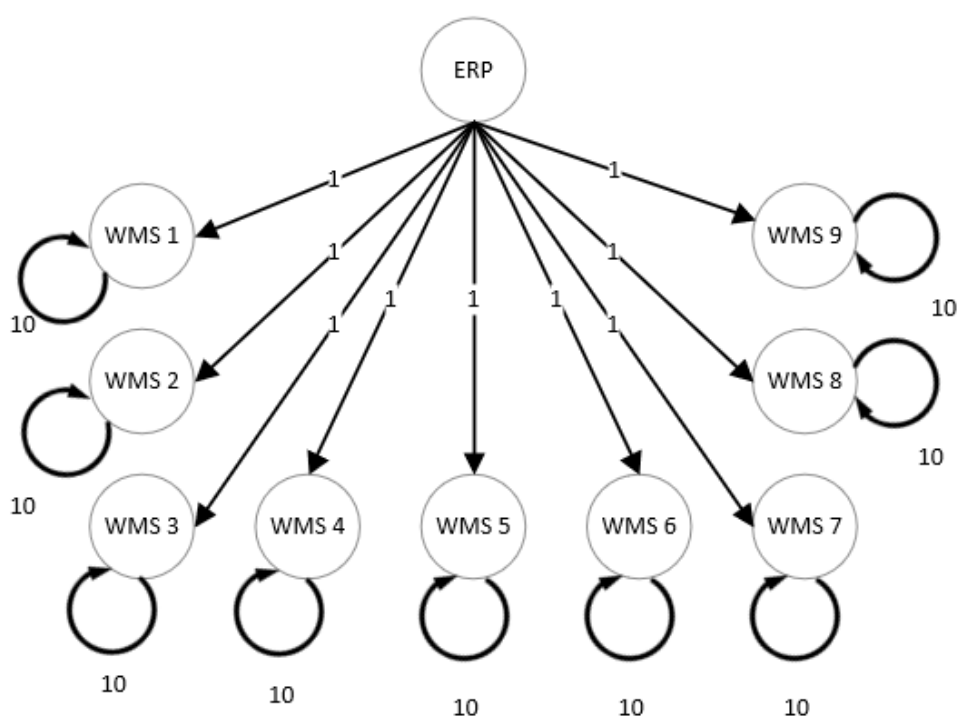


Рис. 2.6. Схема децентрализованного обмена

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Модель представления трудозатрат, необходимых для обработки одной единицы справочника для централизованной схемы обмена отображена в виде графа на рисунке 2.7. Рёбра графа представляют собой трудозатраты на передачу пакета XML. Вес каждого ребра – условная единица трудозатрат, необходимых для обмена.

Петля для вершины WMS 1 представляет собой трудозатраты на обработку одной единицы справочника администратором. Формулой 2.10 задана матрица смежности для графа при централизованной схеме обмена. Петли вершин локальных WMS представляют трудозатраты на обработку одного пакета XML. В централизованной схеме обмена требуется ручная работа только одного администратора главной WMS – системы инициатора. Он задает все атрибуты, необходимые для корректной работы WMS, и в дальнейшем в пакете XML передаются уже готовые обработанные данные.

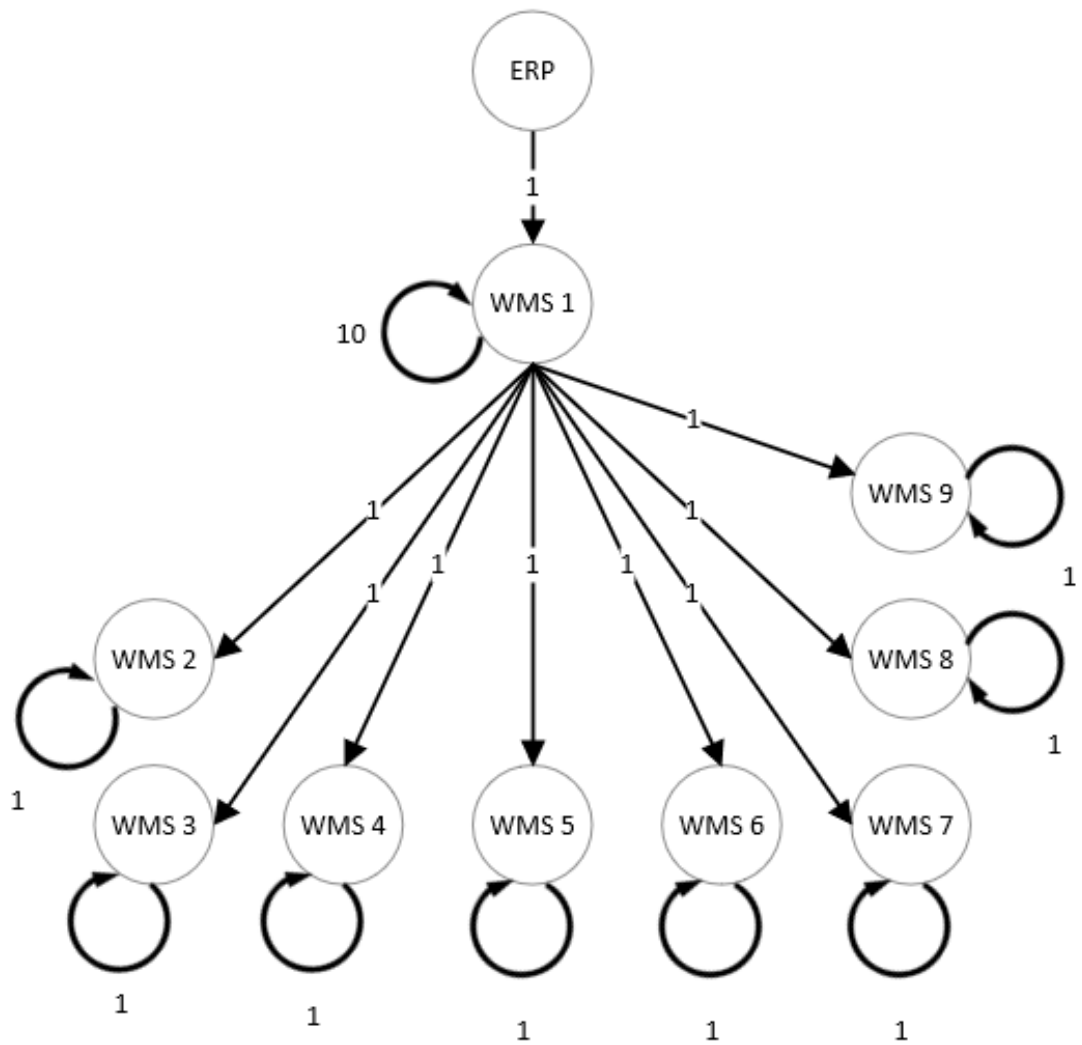


Рис. 2.7. Схема централизованного обмена

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Для более наглядного сравнения трудозатрат при децентрализованной и централизованной схеме обмена можно представить все маршруты графов по обработке пакетов XML для администрирования справочников в таблице 2.3. Трудозатраты на администрирование справочников в распределенной системе

необходимо рассматривать в виде суммы всех трудозатрат, требуемых для администрирования справочников каждой локальной WMS [69]. В таблице 2.3:

T_p – трудозатраты,

$n = 1, \dots, 9$ – номер локальной WMS по порядку.

При децентрализованной и централизованной схеме обмена трудозатраты на администрирование справочников WMS 1 (или системы инициатора) остаются неизменными.

Таблица 2.3. Сравнение трудозатрат

WMS	Децентрализованная схема	Централизованная схема	Разница трудозатрат
WMS 1	11	11	0
WMS n	$\sum_{1}^n T_p = 99$	$\sum_{1}^n T_p = 27$	72

Для администрирования справочников распределенной WMS при централизованной схеме обмена необходима работа лишь 1 администратора, т.к. согласно схеме, все обогащение данных для WMS происходит централизованно в главной системе

Таким образом, общие трудозатраты на администрирование справочников распределенной WMS системы при централизованной схеме обмена сокращаются на 73%. Это весьма значительный показатель экономии ресурсов по сравнению с децентрализованной схемой обмена, т.к. работа 9 администраторов может быть переконфигурирована на другие задачи.

В таблице 2.4 приведено общее сравнение показателей критериев оценки централизованного и децентрализованного обмена справочниками в распределенной WMS системе.

Таблица 2.4. Сравнение схем взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы по показателям обмена данными

Критерий	Децентрализованная схема	Централизованная схема
Скорость передачи информации	Средняя, относительно невысокая	Увеличивается на 65 %
Объём передаваемой информации	Небольшой размер пакетов XML	Увеличивается в 2 раза
Трудозатраты на обработку одной единицы справочника	Значительные	Уменьшаются на 73 %

На основании данных показателей можно сделать вывод, что централизованная схема обмена показывает гораздо большую эффективность по сравнению с децентрализованной. Соответственно при масштабируемости и развитии распределенной WMS системы, например при добавлении локальных WMS, централизованная схема обмена будет демонстрировать весьма хорошие показатели по скорости обмена и по трудозатратам на обработку единицы справочника.

Субъективная оценка централизованной схемы обмена данными – она удобна с точки зрения администрирования справочников. В одной WMS системе можно отслеживать все действия – что, когда было синхронизировано, кем обработано, куда и когда отправлено в локальные WMS.

Рассматриваемая централизованная схема обмена в распределенной WMS системе с одной стороны устойчива к произвольным отказам локальных WMS, а с другой стороны напрямую зависит от отказа главной WMS – системы инициатора.

В данной схеме при оценке надежности не имеет смысла учёт времени возможного отказа каждой локальной WMS, т.к. обмен данным в распределенной

WMS системе крайне затруднительно описать какой-либо зависимостью из-за большого числа внешних факторов.

Фактически отказ всей системы при централизованной схеме обмена можно допустить только в двух случаях. На рисунке 2.8. выделены два ключевых подграфа G1 и G2 графа централизованной схемы обмена, заданные формулами 2.11 и 2.12 соответственно:

$$G1 = (ERP, WMS\ 1) \quad (2.11)$$

$$G2 = (WMS\ 1, \dots, WMS\ n) \quad , n=1, \dots, 10 \quad (2.12)$$

Полный отказ обмена пакетами XML произойдёт только в том случае, если произойдет отказ на подграфе G1 или на подграфе G2. Даже если в подграфе G2 не будет проходить обмен в 8-ми из 9-ти локальных WMS, факт обмена можно считать состоявшимся как минимум в одной WMS.

Так как в централизованной схеме обмена для определения факта отказа рассматривается только 2 основных узла обмена данными, то задачу оценки надежности можно решить «в лоб» и просто перебрать все возможные варианты конфигураций отказа и работы этих узлов [60,81,83].

Экспериментально в ходе тестирования работы схемы централизованного обмена пакетами XML было выявлено, что среднее время безотказной работы составляет 100 часов.

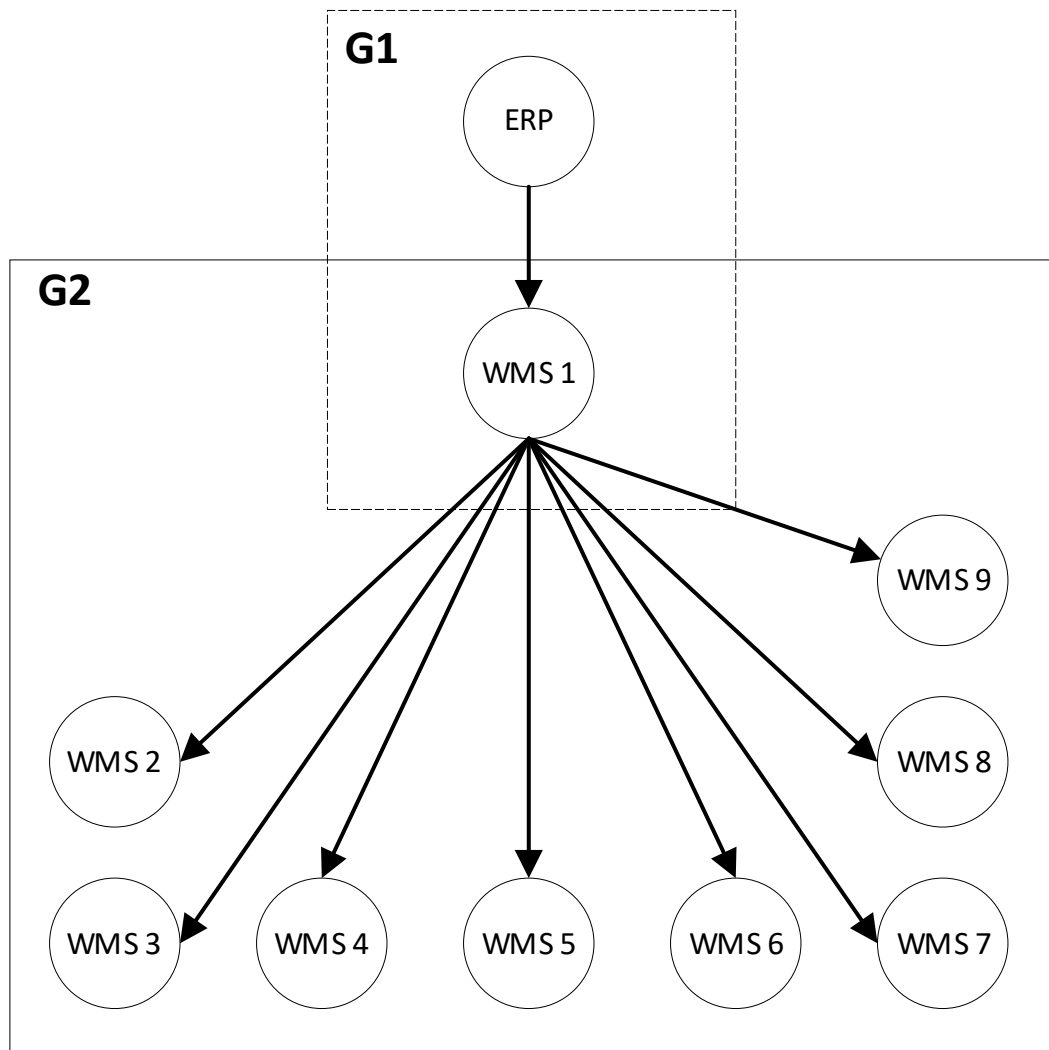


Рис. 2.8. Ключевые узлы работы централизованной схемы обмена

В таблице 2.5 представлены возможные состояния ключевых узлов и результирующее состояние централизованной схемы обмена, где «0» – отказ, «1» – нормальная работа.

Таблица 2.5. Состояния централизованной схемы обмена

G1	G2	Результирующее состояние
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Так как синхронизация системы ERP и системы WMS 1 происходит 1 раз в сутки, то важно определить надежность, или вероятность безотказной работы схемы централизованного обмена данными в течении 24 часов. Это время, в течении которого все пакеты XML со справочниками должны быть отправлены на все локальные WMS, с точки зрения эффективности и требований бизнес-процесса компании. Экспериментально было проведено наблюдение, в ходе которого было выявлено:

1. Среднее количество обрабатываемых XML-документов равно 328 штук. Данные были обработаны с использованием функции скользящего среднего для 9-ти локальных WMS в рамках 24 часов.

2. Среднее время обработки 1 XML-документа составляет 30 секунд, при этом время на подготовку обработки 1 XML-документа составляет 10 секунд. Данные были обработаны с использованием функции скользящего среднего для 9-ти локальных WMS в рамках 24 часов.

3. Т.к. среднее время безотказной работы составляет 100 часов, то среднее количество полных отказов системы в промежутке 24 часов равно 0,24, поэтому для оценки будет принят 1 случай отказа за 24 часа. Данные были обработаны с использованием функции экспоненциально взвешенного скользящего среднего для 9-ти локальных WMS в рамках 24 часов, т.к. необходимо оценивать отказ информационного обмена в рамках всей системы, а не локальных узлов обмена.

4. Среднее время восстановления информационного обмена от момента обнаружения отказа обмена до полной обработки всех XML-документов составляет 25 минут. При этом, среднее время восстановления без обработки составляет 20 минут, т.к. учитывается накопление очереди XML-документов для обработки и проверка ранее отправленных, но необработанных XML-документов. Данные были обработаны с использованием функции взвешенного скользящего среднего для 9-ти локальных WMS в рамках 24 часов на эксплуатируемой системе в разрезе 7 дней.

Таким образом в соответствии с описанием, приведенным в разделе 1.3 определим следующие показатели для рассмотренного примера эксплуатируемой системы:

$$\lambda_1 = \frac{1}{328} \approx 0,0031 \text{ – интенсивность потока XML-документов;}$$

$\mu_1 \approx 0,0028$ – интенсивность выполнения подготовительного этапа для информационного обмена XML-документами;

$\mu_2 = \frac{328}{24} \approx 13,67$ – интенсивность обслуживания XML-документов в процессе управления перемещений материального потока;

$\bar{\tau}^B \approx 0,34$ секунды – среднее время восстановления цифрового средства управления после отказа;

$\bar{\tau}^{OЖ} \approx 0,42$ секунды – среднее время ожидания восстановления информационного обмена XML-документами после отказа цифрового средства управления;

$$\lambda_2 = \frac{1}{24} \approx 0,042 \text{ – интенсивность отказов цифровых средств управления.}$$

В соответствии с формулой (1.9) определим коэффициент готовности системы в нормальном режиме:

$$k_n = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu_1 + \mu_2}} = \frac{1}{1 + \frac{0,0031 + 0,0031}{0,0028 + 13,67}} = \frac{1}{1 + 1,1071 + 0,0002} = \frac{1}{2,1073} \approx 0,4745$$

В соответствии с формулой (1.10) определим коэффициент готовности системы в аварийном режиме:

$$k_a = \frac{1}{1 + \lambda_2 \bar{\tau}^{OЖ} + \lambda_2 \bar{\tau}^B} = \frac{1}{1 + 0,042 * 0,42 + 0,042 * 0,34} = \frac{1}{1 + 0,0176 + 0,0143} = \frac{1}{1,0319} = 0,969$$

В случае вариативного структурного решения представленного на рисунке 2.1,в, верификационное моделирование по перечисленным показателям информационного обмена между цифровыми платформами организационной системы на основе имитационного моделирования подробнее рассмотрено в п. 2.3, п. 3.3.

2.3 Многовариантное моделирование при оптимизации цифрового управления на варьируемом множестве структурных решений

Построим оптимизационную модель в ситуации, когда наряду с фиксированными вариантами централизованного и децентрализованного управления логистическим процессом, рассмотренными в п. 2.2, формируется варьируемое множество вариантов за счет гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы [18].

Тогда общее количество вариантов N зависит от количества кластеров M и количества объектов $O_{im}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}, \sum_{m=1}^M I_m = I$, управление логическими процессами которых объединяется в кластер S_m . Фиксация определенного нумерационного множества вариантов $n = \overline{1, N}$ позволяет поставить ему в соответствие нумерационное множество показателей эффективности информационного обмена между средствами цифрового управления логистическим процессом $j' = \overline{1, J'}$, значения которых Ψ_j вычисляются для каждого n -го варианта

$$\Psi_{j'm} = \Psi_{j'}(n), j' = \overline{1, J'}, n = \overline{1, N}. \quad (2.13)$$

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, рассмотренные в п. 2.2: 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 [13], 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 [47]

$$\begin{aligned} x_1 &= \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \\ M &= x_1 + 2x_2 + 4x_3. \end{aligned} \quad (2.14)$$

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

$$x_{im} = \begin{cases} 1, \text{ если цифровое средство управления} \\ \text{логистическим процессом } i - \text{го объекта} \\ \text{включается в } m - \text{й кластер,} \\ 0, \text{ в противном случае, } i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}. \end{cases} \quad (2.15)$$

Для формализованной постановки на множествах альтернативных переменных (2.14), (2.15) построим оптимизационную модель, исходя из следующих предположений:

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

$$\sum_{m=1}^M x_{im} = 1, i = \overline{1, I}; \quad (2.16)$$

– для вариантов $n = \overline{1, N}, n \neq n_1, n \neq n_2$ зависимости (2.13) преобразуются в зависимости

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}), j' = \overline{1, J'}; \quad (2.17)$$

– на множестве $j' = \overline{1, J'}$ удастся выделить два основных противоречивых показателя $\Psi_{j'_1}$ и $\Psi_{j'_2}$, поиск компромисса между которыми с экспертами управляющего центра 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

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{j'}^0, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' = j'_2, \quad (2.18)$$

• либо вариативные

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{l_{j'}}^0, j = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, l_{j'} = \overline{1, L_{j'}}, \quad (2.19)$$

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

В случае вариативных граничных требований (2.19) добавляются альтернативные переменные

$$x_{1j'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, x_{2j'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, x_{3j'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, \quad (2.20)$$

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

$$\Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \quad (2.21)$$

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

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

– при фиксированных граничных требованиях

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

$$\Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \leq \Psi_{j'}^o, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \quad (2.22)$$

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

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

– при вариативных граничных требованиях

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

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

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

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

$$x_{1j'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, x_{2j'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, x_{3j'} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2. \quad (2.23)$$

Оптимизационные модели [57] отражают многовариантный характер выбора гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств при управлении

логистическим процессом в организационной системе. При разработке алгоритма принятия управленческого решения [27,29] на основе этих моделей следует учитывать многоальтернативность, бикритериальность и наличие ограничений.

Для определения значений показателей эффективности $\Psi_j, j = \overline{1, J'}$ в оптимизационных моделях (2.21) - (2.23) и верификационного моделирования используем имитационное моделирование системы массового обслуживания, функционирование которой осуществляется в соответствии с графом состояний цифрового управления логистическим процессом (рис. 1.8).

В этой модели наряду с имитацией обслуживания XML- документов при информационном обмене между цифровыми средствами будем имитировать варьирование кластерной структурой зависимости от значений альтернативных переменных (2.14), (2.15). При фиксированных значениях x_1, x_2, x_3 вычисляется количество кластеров M , что определяет количество параллельных каналов, по которым осуществляется информационный обмен XML-документами между цифровой платформы управляющего центра и главными цифровыми платформами кластеров (рис. 2.1, в) с интенсивностью входных пуассоновских потоков $\lambda_m, m = \overline{1, M}$. Фиксированные значения $x_{im}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}$, отвечающие условию (2.8), определяют количество компонентов логистического процесса, объединенных для управления в рамках m -го кластера, $I_m, m = \overline{1, M}$, то есть количество параллельных каналов информационного обмена XML-документами между главной цифровой платформой кластера и цифровыми платформами объектов O_{im} (рис. 2.1, в) с интенсивностью входных пуассоновских потоков $\lambda_{im}, i = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$.

С использованием рассмотренной выше имитационной модели вычисляются показатели эффективности информационного обмена $\Psi_1 \div \Psi_6$, приведенные в п. 2.2.

Выводы второй главы

1. С целью оптимизации цифрового управления логистическим процессом на фиксированном множестве структурных решений целесообразна интеграция адаптивной настройки с использованием экспертной информации параметров средневзвешенной свертки показателей эффективности последовательности перемещения материального потока между объектами организационной системы и имитационного моделирования многофазного процесса этого перемещения.

2. Поскольку выбор структурного решения по показателям материального потока логистического процесса на уровне цифрового управления трансформируется в информационный обмен между цифровыми платформами необходимо осуществить верификационное моделирование путем аналитических расчетов. Эти аналитические расчеты приемлемы для централизованной и децентрализованной структур по ряду показателей эффективности: скорость передачи информации, объем передаваемой информации, затраты на обработку одной единицы информационного обмена, отказоустойчивость, коэффициент готовности системы цифрового управления.

3. В ситуациях, когда преимущество отдается трехуровневой кластерной структуре цифрового управления, многовариантное моделирование требует формирования оптимизационных задач на множестве альтернативных переменных, характеризующих структурные решения. В зависимости от решения экспертов управляющего центра возможен ряд оптимизационных задач: бикритериальная, бикритериальная с фиксированными граничными условиями, бикритериальная с варьируемыми граничными условиями.

3 АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ВЫБОРЕ СТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

В п. 2 рассмотрены классы задач многовариантного моделирования с формированием структурных решений, основанном на централизованном, децентрализованном и кластерном цифровом управлении логистическим процессом в организационной системе. Формализованные постановки этих задач в виде оптимизационных моделей позволяют перейти к разработке алгоритмов [25] принятия решений при различных вариантах взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе.

Первый класс задач многовариантного моделирования ориентирован на множество фиксированных структурных решений цифрового управления логистическим процессом. Возможность получить информацию о значениях эффективности перемещения материального потока для фиксированного варианта на основе имитационного моделирования логистического процесса позволяет провести адаптивную алгоритмизацию поиска наилучшего варианта. Такой поиск осуществляется на основе интегральной функции, параметры которой настраиваются в ходе трехуровневого диалога с экспертом. На каждом уровне обеспечивается свой способ формализованного представления экспертной информации, который используется при построении алгоритмической схемы адаптивного поиска. Введение условия останова позволяет перейти к выбору окончательного варианта структурного решения.

В случае кластерного цифрового управления имеются предпосылки для разработки алгоритма [73] принятия решения на множестве варьируемых вариантов. Управление варьируемостью структурных решений достигается путем множеств альтернативных переменных и осуществляется путем адаптивного решения либо бикритериальной задачи, либо бикритериальной задачи с

ограничениями. Экспертное разделение множества показателей информационного обмена между цифровыми платформами на те, к которым предъявляются экстремальные и граничные требования, позволяет построить алгоритмические схемы адаптивного поиска наилучшего структурного решения в случае бикритериальной оптимизационной модели [9] и ее расширения путем введения фиксированных либо варьируемых ограничений. При этом на каждой итерации используется имитационное моделирование информационного обмена между цифровыми платформами.

3.1 Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления

Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом использует определенную информацию (2.1) по каждому n -му $n = \overline{1, N}$ варианту о значениях j -го показателя $j = \overline{1, J}$. Этой информации достаточно для расчета значений интегральной функции (2.4) n -го варианта структурного решения с априори заданными весовыми коэффициентами $\alpha_j, j = \overline{1, J}$.

Если оптимальный вариант соответствует максимальному значению интегральной функции, то выбор осуществляется по правилу

$$\max_{n = \overline{1, N}} \{F_n = \sum_{j=1}^n \alpha_j \widehat{\Psi}_j(n)\}. \quad (3.1)$$

Однако, априорный выбор экспертами значений весовых коэффициентов в большинстве случаев не приводит к точной формулировке глобальной цели оптимизации, что определяет необходимость активного накопления информации о значимости каждого j -го показателя при оптимальном выборе структуры цифрового управления. Эффективным способом активного накопления информации и параллельного обучения эксперта по ранжированию показателей является адаптивный (стохастический) подход. При этом подходе каждая последующая итерация взаимодействия с экспертом осуществляется с учетом

результатов предыдущей, а построение интегральной оценки (2.4) представляют асимптотическая цепь.

Развитие адаптивного подхода, изложенного в [7] предлагается осуществить за счет комбинации следующих механизмов:

- рандомизации и сглаживания;
- организации итерационной схемы коррекции параметров рандомизированного поиска на основе формализации экспертной информации;
- организации многоуровневого вопросно-ответного процесса диалога с экспертом;
- перехода от рандомизированного поиска к сглаженной интегральной функции (2.4) и получения окончательного решения.

Рандомизация исходной задачи (2.2) осуществляется за счет введения дискретной случайной переменной $\tilde{j}$, принимающей значение на нумерационном множестве $j = \overline{1, J}$ с вероятностями $P_j, j = \overline{1, J}, \sum_{j=1}^J P_j = 1$.

Для перехода к сглаженной задаче определим математическое ожидание при случайных значениях номера показателя с вероятностью P_j :

$$m_j\{\widehat{\Psi}_j(n)\} = \sum_{j=1}^J P_j \widehat{\Psi}_j(n). \quad (3.2)$$

В отличие от функции (2.2), где значение весовых коэффициентов задается экспертами априори, для функции (3.2) значения вероятностей $P_j, j = \overline{1, J}$ настраиваются по итерационной схеме с номерами итераций $k = 1, 2, \dots$

Итерационная схема представляет собой модифицированный двухуровневый адаптивный алгоритм [31]

$$P_j^{k+1} = \frac{P_j^k + \varepsilon^{k+1} \chi(A_{\Delta}^k)}{1 + \varepsilon^{k+1}}, \quad (3.3)$$

$$\varepsilon^{k+1} = \varepsilon^k \exp\left(\frac{\mu_{\Delta}^{k+1}}{k} \operatorname{sign}[A_{\Delta}^k A_{\Delta}^{k-1}]\right), \quad (3.4)$$

где $\chi(\cdot)$ – функция, характеризующая направление поискового движения при переходе от значений вероятности P_j^k к значениям на $(k + 1)$ -й итерации P_j^{k+1} ;

A_{Δ}, μ_{Δ} – экспертные оценки;

ε^{k+1} – величина шага на $(k + 1)$ -й итерации в направлении, определяемом функцией $\chi(A_3^k)$.

Числитель выражения (3.3) отражает поисковый процесс адаптивного алгоритма, знаменатель обеспечивает выполнение условия $\sum_{j=1}^J P_j^{k+1} = 1$. На втором уровне (3.4) регулируется величина шага движения с учетом экспертной информации на двух соседних итерациях и условия асимптотической сходимости адаптивного алгоритма при $k \rightarrow \infty$ с вероятностью почти наверное к оптимальным значениям $P_j^*, j = \overline{1, J}$, определяющим значения весовых коэффициентов $\alpha_j, j = \overline{1, J}$ в интегральной целевой функции (2.4). При этом распределение вероятностей привлечения критериев к поиску на первом шаге ($k = 1$) считается равномерным $P_j^1 = \frac{1}{J}, j = \overline{1, J}$.

Предлагается ввести три уровня вопросно-ответного процесса диалога с экспертом, позволяющий определить оценки A_3, μ_3 , которые используются в адаптивном алгоритме (3.3), (3.4) [8, 44].

На первом уровне на k -й итерации случайным образом устанавливается номер варианта итерации $n = \overline{1, N}$. С этой целью вводится случайная дискретная величина $\tilde{n} = \overline{1, N}$ с распределением

$$P_n, n = \overline{1, N}, \sum_{n=1}^N P_n = 1. \quad (3.5)$$

Генерация конкретного случайного числа осуществляется с использованием последовательности случайных чисел ξ , равномерно распределенных на интервале $(0,1)$ [75].

Пусть на k -й итерации случайная реализация величины $\tilde{n}$ принимает значение n_1 . Тогда в матрице (2.1) выбирается столбец n_1 , элементами которого являются значения критериев

$$\Psi_j n_1, j = \overline{1, J}. \quad (3.6)$$

Эксперту задается вопрос: «Какое из значений в множестве (3.6) удовлетворяет его в наименьшей степени?» Эксперт указывает номер j_1 . Его ответ формализуют следующим образом

$$A_{эj} = \begin{cases} 1, \text{если } j = j_1, \\ -1, \text{если } j \neq j_1, \end{cases} j = \overline{1, J}. \quad (3.7)$$

Тогда функция χ принимает значение: $\chi(A_э) = \begin{cases} 1, \text{если } A_э > 0; \\ 0, \text{если } A_э < 0 \end{cases}$.

Распределение случайного числа $\tilde{n} = \overline{1, N}$ на первой итерации принимается равномерным. Его коррекцию на последующих итерациях предлагается проводить в зависимости от текущего значения интегральной оценки (3.2) для n_1 -го столбца матрицы (2.1)

$$F_{n1}^k = \sum_{j=1}^J P_j^k \hat{\Psi}_{jn1}. \quad (3.8)$$

Итерационная схема определяет движение от значений вероятностей P_n^k к значениям на $(k + 1)$ -й итерации – P_n^{k+1} . Это движение зависит от того, является ли (3.8) максимальной величиной на множестве оценок

$$F_n^k = \sum_{j=1}^J P_j^k \hat{\Psi}_{jn} \quad \forall n = \overline{1, N}. \quad (3.9)$$

С этой целью вводится булева величина

$$B_{n1}^k = \begin{cases} 1, \text{если } F_{n1}^k \text{ является максимальным значением на множестве (3.9),} \\ 0, \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Коррекция значений вероятностей осуществляется следующим образом

$$P_{n1}^{k+1} = \frac{P_{n1}^k + \gamma B_{n1}^k}{1 + \gamma B_{n1}^k}, P_n^{k+1} = \frac{P_n^k}{1 + \gamma B_{n1}^k} \quad \forall n \neq n_1, \quad (3.10)$$

где $0 < \gamma < 1$ – величина шага движения, задаваемая экспертом.

В этом случае при максимальном значении (3.8), исходя из (3.10) величина P_n^{k+1} увеличивается, остальные P_n^{k+1} уменьшаются. Распределение становится неравномерным с выделением столбца n_1 . В противном случае на $(k + 1)$ -й итерации используется тоже распределение, что и на k -й итерации.

На втором уровне вопросно-ответного процесса эксперту задается вопрос: «В какой степени допустимо изменить значение Ψ_{j1n1} ?» Ответ формализуется с использованием следующих термов лингвистической переменной [49]:

$$T_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{увеличить} \\ \text{уменьшить} \end{array} \right\}, T_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{сильно} \\ \text{существенно} \\ \text{несколько} \\ \text{немного} \\ \text{мало} \end{array} \right\}.$$

На третьем уровне эксперту задается вопрос: «Какое значение Ψ_{j1n1} является желаемым?» Его ответ $\Psi_{j1n1}^{\mathcal{K}}$ формализуется вычислением величины

$$\Psi_{j1n1}^{\mathcal{O}} = \frac{\Psi_{j1n1}^{\mathcal{K}}}{\Psi_{j1n1}}$$

и определением значения μ_z функции принадлежности для используемой лингвистической переменной [49] при выбранных значениях термов T_1 и T_2 .

Рассмотрим, каким образом перейти от рандомизированного поиска к сглаженной интегральной функции (3.2). С этой целью экспертом задается малая величина $\delta > 0$ и проверяется условие на k -ой итерации

$$|P_j^k - P_j^{k-1}| \leq \delta \quad \forall j = \overline{1, J}. \quad (3.11)$$

Если условие (3.11) выполняется, то принимается, что $\alpha_j = P_j^k$ и задача выбора варианта межуровневой интеграции цифровых платформ управления логистическим процессом в организационной системе осуществляется путем выбора варианта с максимальным значением интегральной оценки по правилу (3.1)

$$F^{max} = \max_{n = \overline{1, N}} \left\{ \sum_{j=1}^J \alpha_j \hat{\Psi}_{jn} \right\}.$$

Структурная схема алгоритма принятия решения при оптимальном выборе структуры цифрового управления логистическим процессом приведена на рисунке 3.1.

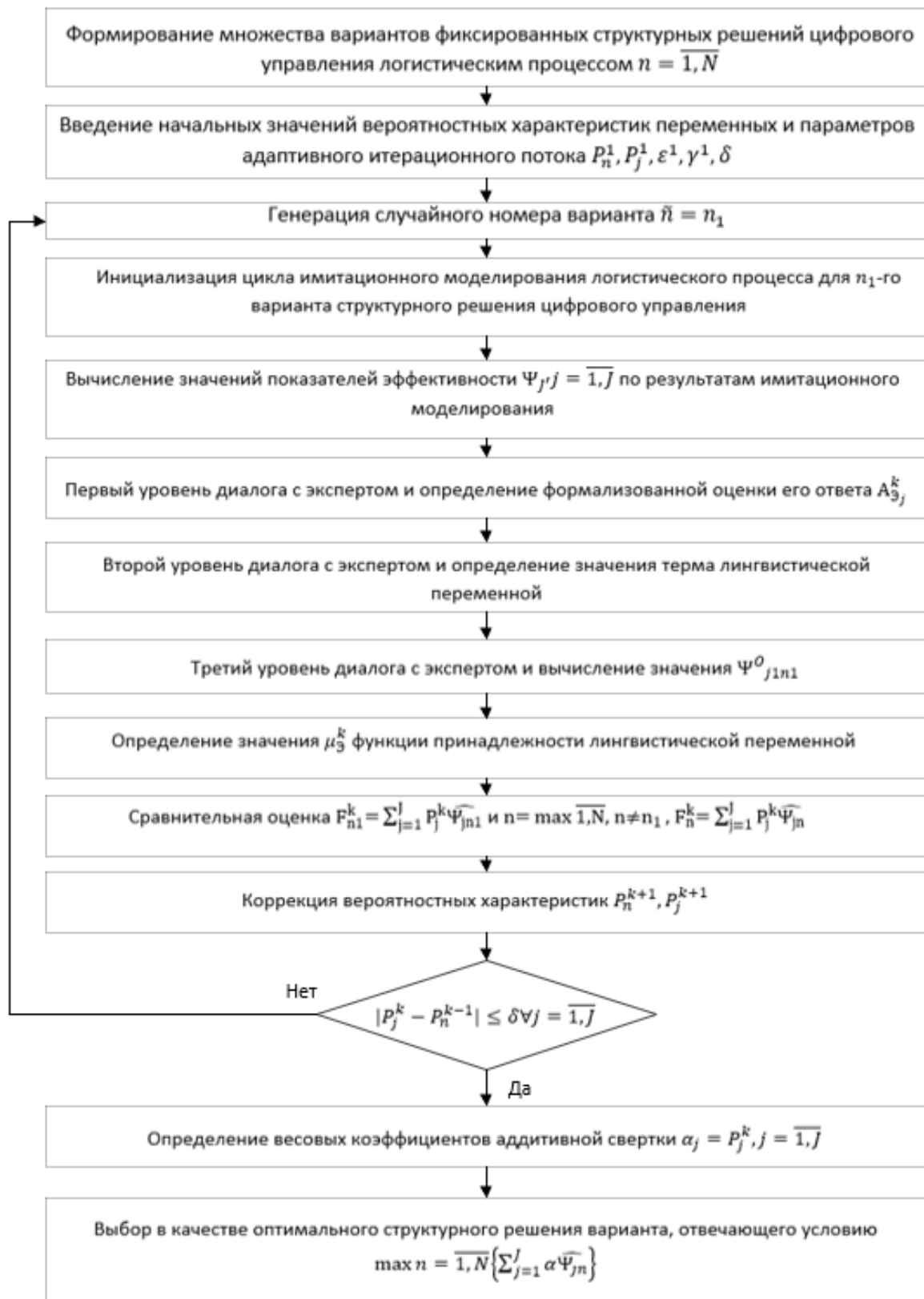


Рис. 3.1. Структурная схема алгоритма принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе

3.2 Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления с использованием бикритериальной оптимизационной модели

Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием бикритериальной оптимизационной модели (2.13) построим путем объединения следующих итерационных алгоритмических схем:

- вероятностного оценивания значений альтернативных переменных (2.6), (2.7) при оптимизации по критериям $\Psi_{j'_1}$ и $\Psi_{j'_2}$, вариации которых вычисляются на основе имитационного моделирования, рассмотренного в п. 2.3;
- вероятностного оценивания степени привлечения к поиску оптимального структурного решения критериев $\Psi_{j'_1}, \Psi_{j'_2}$;
- поиска множества доминирующих структурных решений аддитивной свертке Ψ критериев $\Psi_{j'_1}, \Psi_{j'_2}$;
- верификационного моделирования на множестве доминирующих вариантов и выбора окончательного структурного решения по совокупности показателей $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$.

В первой алгоритмической схеме осуществляется рандомизация альтернативных переменных (2.6), (2.7) в соответствии со следующими распределениями:

$$\begin{aligned}
 P_{x_1} &= P(x_1 = 1), q_{x_1} = P(x_1 = 0), P_{x_1} + q_{x_1} = 1; \\
 P_{x_2} &= P(x_2 = 1), q_{x_2} = P(x_2 = 0), P_{x_2} + q_{x_2} = 1; \\
 P_{x_3} &= P(x_3 = 1), q_{x_3} = P(x_3 = 0), P_{x_3} + q_{x_3} = 1; \\
 P_{x_{im}} &= P(x_{im} = 1), q_{x_{im}} = P(x_{im} = 0), P_{x_{im}} + q_{x_{im}} = 1, \\
 i_m &= \overline{1, I_m}.
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

Далее организуется итерационный процесс $k_1 = 1, 2, \dots$ поиска в пространстве вероятностных характеристик (3.12). Основой поиска является вычисление

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: $P_{x_1}^{k_1}, P_{x_2}^{k_1}, P_{x_3}^{k_1}, P_{x_{im}}^{k_1}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$. Расчет вариаций и определение на их основе вероятностных характеристик на $(k_1 + 1)$ -й итерации подробно рассмотрено в [49]. Вычисление вариаций проведем с использованием процесса имитационного моделирования, охарактеризованного в п. 2.3.

Для проведения имитационного моделирования используем две группы данных:

- связанных с образованием последовательно-параллельных каналов информационного обмена XML-документами между цифровыми платформами в рамках кластерной структуры (рис. 2.1, в) на основе вероятностных характеристик $P_{x_1}^{k_1}, P_{x_2}^{k_1}, P_{x_3}^{k_1}, P_{x_{im}}^{k_1}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$;

- характеризующих интенсивности информационного обмена XML-документами между цифровыми платформами.

Первая группа данных формируется в следующей последовательности:

- на основе значений вероятностей $P_{x_1}^{k_1}, P_{x_2}^{k_1}, P_{x_3}^{k_1}$ определяются значения альтернативных переменных

$$x_1 = \begin{cases} 1, \text{ если } P_{x_1}^{k_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases}$$

$$x_2 = \begin{cases} 1, \text{ если } P_{x_2}^{k_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases}$$

$$x_3 = \begin{cases} 1, \text{ если } P_{x_3}^{k_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

и число каналов информационного обмена между цифровой платформой управляющего центра и главными цифровыми платформами кластеров M по формуле (2.14);

– на основании значений вероятностей $P_{x_{im}}^{k_1}$ определяются значения альтернативных переменных

$$x_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{x_{im}}^{k_1} \leq \xi \\ 0, & \text{в противном случае, } i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}, \end{cases}$$

осуществляется последовательная коррекция значений x_{im}^{ck} в соответствии с условием (2.16)

$$\sum_{m=1}^m x_{1m} = 1, \dots, \sum_{m=1}^M x_{I_m} = 1,$$

где $i = \overline{1, I}$ и I – общее число объектов O_i , участвующих в логистическом процессе, в отличие от нумерационных множеств $i_m = \overline{1, I_m}$ объектов O_{im} , относящихся к m -му кластеру, и определяется по значениям x_{im}^{ck} : число каналов информационного обмена I_m между главной цифровой платформой и цифровыми платформами кластеров $I_m = \sum_{i=1}^I x_{im}^{ck}$, $m = \overline{1, M}$, номера объектов, включенных в m -й кластер, для которых $x_{im}^{ck} = 1$.

Во вторую группу включим следующие данные:

$\lambda_m, m = \overline{1, M}$ – интенсивность входного пуассоновского потока XML-документов, поступающих от цифровой платформы управляющего центра для обработки к цифровой платформе m -го кластера;

$\mu_{1m}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность выполнения подготовительного этапа к обслуживанию заявки в m -м канале при показательном законе распределения случайных значений времени подготовки к обслуживанию;

$\mu_{2m}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность обслуживания XML-документов в m -м канале;

$\lambda_m^{отк}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность отказов при выполнении операций цифрового управления логистическим процессом в m -м канале;

$\tau_m^{ож}, m = \overline{1, M}$ – среднее время ожидания восстановления информационного обмена XML-документами после отказа при выполнении операций цифрового управления в m -м канале;

$\tau_m^B, m = \overline{1, M}$ – среднее время восстановления цифрового управления в m -м канале;

$\lambda_{im}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность входного пуассоновского потока XML-документов, поступающих от цифровой платформы m -го кластера для обработки в цифровой платформе объекта O_{im} ;

$\mu_{1im}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность выполнения подготовительного этапа для обслуживания заявки в i_m -м канале;

$\mu_{2im}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность обслуживания XML-документов в i_m -м канале;

$\lambda_{im}^{\text{отк}}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – интенсивность отказов при выполнении операций цифрового управления логистическим процессом в i_m -м канале;

$\tau_{im}^{\text{ож}}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – среднее время ожидания восстановления информационного обмена после отказа в i_m -м канале;

$\tau_{im}^{\text{в}}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – среднее время восстановления цифрового управления в i_m -м канале;

t – текущее время имитационного моделирования информационного обмена;

T – заданное время имитационного моделирования;

$v = \overline{1, V}$ – нумерационное множество заявок, обслуженных за время имитационного моделирования T ;

$v_m = \overline{1, V_m}, m = \overline{1, M}$ – нумерационное множество заявок при обмене между управляющим центром и m -м кластером;

$v_{im} = \overline{1, V_{im}}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – нумерационное множество заявок при обмене между m -м кластером и i_m -м объектом;

$v_{1m} = \overline{1, V_{1m}}, m = \overline{1, M}$ – нумерационное множество отказов при выполнении операций цифрового управления в m -м канале;

$v_{2im} = \overline{1, V_{2im}}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}$ – нумерационное множество отказов при выполнении операций цифрового управления в i_m канале.

Для имитации информационного обмена между управляющим центром, m -м кластером и i_m -м объектом, участвующим в логистическом процессе, необходимы следующие преобразования временных характеристик обслуживаемых заявок в нормальном режиме:

- момент поступления v -й заявки для обслуживания в m -м канале

$$t_{vm} = t_{(v-1)m} + \widetilde{\eta}_m,$$

$$\widetilde{\eta}_m = -\frac{1}{\lambda_m} \ln \xi;$$

- момент освобождения m -го канала после выполнения подготовительного этапа к обслуживанию v -й заявки

$$t_{1vm}^{CB} = t_{vm} + \widetilde{\tau}_m, \widetilde{\tau}_{1m} = -\frac{1}{\mu_{1m}} \ln \xi;$$

- момент освобождения m -го канала после обслуживанию v -й заявки

$$t_{2vm}^{CB} = t_{1vm}^{CB} + \widetilde{\tau}_{2m}, \widetilde{\tau}_{2m} = -\frac{1}{\mu_{2m}} \ln \xi;$$

- момент поступления v -й заявки для обслуживания в i_m -м канале

$$t_{vim} = t_{2vm}^{CB};$$

- момент освобождения i_m -го канала после выполнения подготовительного этапа обслуживания v -й заявки

$$t_{1vim}^{CB} = t_{vim} + \widetilde{\tau}_{1im}, \widetilde{\tau}_{1im} = -\frac{1}{\mu_{1im}} \ln \xi;$$

- момент освобождения i_m -го канала после обслуживания v -й заявки

$$t_{2vim}^{CB} = t_{1vim}^{CB} + \widetilde{\tau}_{2im}, \widetilde{\tau}_{2im} = -\frac{1}{\mu_{2im}} \ln \xi.$$

В аварийном режиме:

- момент отказа при выполнении операций цифрового управления в m -м канале

$$t_{v1m} = t_{(v_1-1)m} + \widetilde{\eta}_m^{\text{ОТК}}, \widetilde{\eta}_m^{\text{ОТК}} = -\frac{1}{\lambda_m^{\text{ОТК}}} \ln \xi;$$

- момент отказа при выполнении операций цифрового управления в i_m -м канале

$$t_{v2im} = t_{(v_2-1)im} + \widetilde{\eta}_{im}^{\text{ОТК}}, \widetilde{\eta}_{im}^{\text{ОТК}} = -\frac{1}{\lambda_{im}^{\text{ОТК}}} \ln \xi;$$

- момент готовности m -го канала после отказа при обслуживании v -й заявки

$$t_{vm}^2 = t_{(v_1-1)m} + \widetilde{\tau}_m^{\text{ОЖ}} + \widetilde{\tau}_m^{\text{Б}},$$

$$\widetilde{\tau}_m^{\text{ОЖ}} = -\widetilde{\tau}_m^{\text{ОЖ}} \ln \xi, \widetilde{\tau}_m^{\text{Б}} = -\widetilde{\tau}_m^{\text{Б}} \ln \xi;$$

– момент повторного поступления v -й заявки для обслуживания в m -м канале

$$t_{vm} = t_{vm}^2 + \widetilde{\eta}_m, \widetilde{\eta}_m = -\frac{1}{\lambda_m} \ln \xi;$$

– момент готовности i_m -го канала после отказа в обслуживании v -й заявки

$$t_{vim}^\Gamma = t_{(v-1)im} + \widetilde{\tau}_{im}^{\text{ОЖ}} + \widetilde{\tau}_{im}^{\text{В}},$$

$$\widetilde{\tau}_{im}^{\text{ОЖ}} = -\overline{\tau}_{im}^{\text{ОЖ}} \ln \xi, \widetilde{\tau}_{im}^{\text{В}} = -\overline{\tau}_{im}^{\text{В}} \ln \xi;$$

– момент повторного поступления v -й заявки для обслуживания в i_m -м канале

$$t_{vim} = t_{vim}^\Gamma.$$

При имитационном моделировании в соответствии с графом состояний цифрового управления логистическим процессом (рис. 1.8) вводится ряд логических условий.

1. Соответствие заданному времени имитационного моделирования:

$$\text{если } \max_{m=1, M} i_m = \overline{1, I_m} t_{vim} < T, \quad \text{то имитационное моделирование}$$

продолжается;

– в противном случае имитационное моделирование завершают и подсчитывают число обслуженных заявок $v_{im} = V_{im}$.

2. Обеспечение последовательности информационного обмена при нормальном режиме функционирования в рамках кластерной структуры цифрового управления:

– если $t_{vm} \geq t_{(v-1)m}^{\text{CB}}$, то v -я заявка обслуживается без ожидания и определяется время простоя m -го канала

$$\Delta_{vm} = t_{vm} - t_{(v-1)m}^{\text{CB}};$$

– если $t_{vm} < t_{(v-1)m}^{\text{CB}}$, то v -я заявка ожидает обслуживания в m -м канале и определяется время ожидания

$$\tau_{vm}^{\text{ОЖ}} = t_{(v-1)m}^{\text{CB}} - t_{vm};$$

– если $t_{vim} \geq t_{2(v-1)im}^{CB}$, то v -я заявка обслуживается без ожидания и определяется время простоя i_m -го канала

$$\Delta_{vim} = t_{vim} - t_{2(v-1)im}^{CB};$$

– если $t_{vim} < t_{2(v-1)im}^{CB}$, то v -я заявка ожидает обслуживания в i_m -м канале и определяется время ожидания

$$\tau_{vim}^{OЖ} = t_{2(v-1)m}^{CB} - t_{vm}.$$

3. Учет отказов в обслуживании:

– если $t_{vm} > t_{v_1im}$, то обслуживание v -й заявки в m -м канале продлевается;

– если $t_{vim} > t_{v_2im}$, то обслуживание v -й заявки в i_m -м канале продлевается;

– если $t_{vm} < t_{vm}^{\Gamma}$, то v -я заявка ожидает обслуживания в m -м канале и определяется время ожидания восстановления после отказа

$$\tau_{vm}^{OЖ.ОТК} = t_{vm}^{\Gamma} - t_{vm};$$

– если $t_{vim} < t_{vim}^{\Gamma}$, то v -я заявка ожидает обслуживания в i_m -м канале и определяется время ожидания восстановления после отказа

$$\tau_{vim}^{OЖ.ОТК} = t_{vim}^{\Gamma} - t_{vim}.$$

По результатам имитационного моделирования с учетом первой группы данных, соответствующих вычислению вариаций показателей $\Psi_{j,j'} = \overline{1,j'}$, определяются следующие показатели информационного обмена:

Ψ_{1m} – скорость информационного обмена между цифровой платформой управляющего центра и главной цифровой платформой m -го кластера

$$\Psi_{1m} = \frac{1}{V_m} \sum_{v_m=1}^{V_m} \frac{1}{t_{vm} - t_{(v-1)m}};$$

Ψ_{2im} – скорость информационного обмена между главной цифровой платформой m -го кластера и i_m -м объектом организационной системы

$$\Psi_{2im} = \frac{1}{V_{im}} \sum_{v_{im}=1}^{V_{im}} \frac{1}{t_{vim} - t_{(v-1)im}};$$

Ψ_{3m} – объем передаваемой информации между цифровой платформой управляющего центра и главной цифровой платформой m -го кластера

$$\Psi_{3m} = \sigma_m V_m,$$

где σ_m – средний объем информации, соответствующий одной заявке v_m ;

Ψ_{4im} – объем передаваемой информации между главной цифровой платформой m -го кластера и i_m -м объектом организационной системы

$$\Psi_{4im} = \sigma_{im} V_{im},$$

где σ_{im} – средний объем информации, соответствующий одной заявке v_{im} ;

Ψ_5 – затраты на обработку одной единицы информационного обмена

$$\Psi_5 = \frac{\left\{ \sum_{m=1}^M \left[c_{vm} V_m + \sum_{v_m=1}^V c_{vm}^{\text{ож}} (\tau_{vm}^{\text{ож}} + \tau_{vm}^{\text{ож.отк}}) + c_m^{\text{пр}} \Delta_{vm} + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{i_m=1}^{I_m} c_{vim} V_{im} + \sum_{v_{im}=1}^V c_{vim}^{\text{ож}} (\tau_{vim}^{\text{ож}} + \tau_{vim}^{\text{ож.отк}}) + c_{im}^{\text{пр}} \Delta_{vim} \right] \right\}}{V},$$

где c_{vm} – средние затраты на обслуживание одной заявки v_m ,

c_{vim} – средние затраты на обслуживание одной заявки v_{im} ,

$c_{vm}^{\text{ож}}$ – средние затраты, связанные с ожиданием обслуживания одной заявки v_m , в единицу времени,

$c_{vim}^{\text{ож}}$ – средние затраты, связанные с ожиданием обслуживания одной заявки v_{im} , в единицу времени,

$c_m^{\text{пр}}$ – средние затраты, связанные с простоем m -го канала, в единицу времени,

$c_{im}^{\text{пр}}$ – средние затраты, связанные с простоем i_m -го канала, в единицу времени;

Ψ_{6m} – вероятность отказа при реализации информационного обмена между цифровой платформой управляющего центра и главной цифровой платформой m -го кластера

$$\Psi_{6m} = \frac{V_{1m}}{V},$$

Ψ_{7im} – вероятность отказа при реализации информационного обмена между главной цифровой платформой m -го кластера и i_m -м объектом

$$\Psi_{7im} = \frac{V_{2im}}{V},$$

Ψ_{8m} – коэффициент готовности к информационному обмену между цифровой платформой управляющего центра и главной цифровой платформой m -го кластера в нормальном режиме

$$\Psi_{8m} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_m}{\mu_{1m}} + \frac{\lambda_m}{\mu_{2m}}};$$

Ψ_{9im} – коэффициент готовности к информационному обмену между главной цифровой платформой m -го кластера и цифровой платформой i_m -го объекта в нормальном режиме

$$\Psi_{9im} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{im}}{\mu_{1im}} + \frac{\lambda_{im}}{\mu_{2im}}};$$

Ψ_{10m} – коэффициент готовности к информационному обмену между цифровой платформой управляющего центра и главной цифровой платформой m -го кластера в аварийном режиме

$$\Psi_{10m} = \frac{1}{1 + \lambda_m^{\text{отк}} \tau_m^{\text{ож}} + \lambda_m^{\text{отк}} \tau_m^{\text{в}}};$$

Ψ_{11im} – коэффициент готовности к информационному обмену между главной цифровой платформой m -го кластера и цифровой платформой i_m -го объекта в аварийном режиме

$$\Psi_{11im} = \frac{1}{1 + \lambda_{im}^{\text{отк}} \tau_{im}^{\text{ож}} + \lambda_{im}^{\text{отк}} \tau_{im}^{\text{в}}}.$$

Обращение на k -й итерации к рассмотренной выше процедуре имитационного моделирования позволяет определить вариации показателя $\Delta\Psi_{j'}^k$ в зависимости от первой группы данных для последующего вычисления вероятностных характеристик на $(k + 1)$ -й итерации

$$P_{x_1}^{k+1} = P_{x_1}^k + f(\Delta_{x_1} \Psi_{j'}^k), P_{x_2}^{k+1} = P_{x_2}^k + f(\Delta_{x_1} \Psi_{j'}^k),$$

$$P_{x_3}^{k+1} = P_{x_3}^k + f(\Delta_{x_3} \Psi_{j'}^k), P_{x_{im}}^{k+1} = P_{x_{im}}^k + f(\Delta_{x_{im}} \Psi_{j'}^k), i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}.$$

$$\text{При этом } P_{x_1}^1 = 0,5; P_{x_2}^1 = 0,5; P_{x_3}^1 = 0,5; P_{x_{im}}^1 = 0,5, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}.$$

В случае задачи бикритериальной оптимизации 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 $\Psi_{j'_1}, \Psi_{j'_2}$

$$P_{j'_1} = P(\tilde{j}'_1 = j'_1), P_{j'_2} = P(\tilde{j}'_2 = j'_2), P_{j'_1} + P_{j'_2} = 1$$

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. Каждой из этих частей присваивается номер $b = \overline{1, B}$, причем все части, лежащие выше точки с координатами $(0,5;0,5)$, пронумерованы положительными числами $1, 2, \dots, B$, а части лежащие ниже этой точки, отрицательными $-1, -2, \dots, -B$.

На основе значений вероятностей $P_{j'_1}^{k_2}, P_{j'_2}^{k_2}, P_{j'_1}^{k_2} + P_{j'_2}^{k_2} = 1$ [24] определяется номер критерия j'_1 или j'_2 и решается с использованием рандомизированной схемы задача оптимизации $\Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr$ или $\Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr$ с использованием $\Psi_{j'_1}^{k_2}, \Psi_{j'_2}^{k_2}$.

Эксперт дает визуальную оценку степени неравнозначности влияния критериев $\Psi_{j'_1}^{k_2}, \Psi_{j'_2}^{k_2}$ на поиск оптимального управленческого решения (равнозначное влияние принимается на первой итерации $P_{j'_1}^1 = 0,5; P_{j'_2}^1 = 0,5$). Если эксперт указывает точку с номером $b_1^{k_2}$, значения вероятностей корректируются для $(k_1 + 1)$ -й итерации

$$P_{j'_1}^{k_2+1} = \frac{P_{j'_1}^{k_2} + \beta^{k_2+1} \frac{b_1^{k_2}}{B}}{1 + \beta^{k_2+1} \frac{b_1^{k_2}}{B}}, P_{j'_2}^{k_2+1} = 1 - P_{j'_1}^{k_2+1},$$

где β – величина шага изменения значения вероятности

$$\beta^{k_2+1} = \beta^{k_2} \exp \left[\frac{1}{k_2} \text{sign}(b_1^{k_2-1} b_1^{k_2}) \right].$$

В случае положительного значения $b_1^{k_2} > 0$, вероятность значимости критерия $\Psi_{j'_1}$ увеличивается, а критерия $\Psi_{j'_2}$ уменьшается; при $b_1^{k_2} < 0$, вероятность значимости критерия $\Psi_{j'_1}$ уменьшается, а критерия $\Psi_{j'_2}$ увеличивается. Для

изменения величины шага учитываются визуальные оценки экспертов на двух соседних итерациях.

Если на K_2 -й итерации выполняются условия

$$\left| P_{j'_1}^{K_2} - P_{j'_1}^{K_2-1} \right| \leq \delta, \left| P_{j'_2}^{K_2} - P_{j'_2}^{K_2-1} \right| \leq \delta,$$

где $\delta > 0$ – малое число, то окончательное управленческое решение определяется на основе аддитивной свертки критериев оптимизации

$$F(x_1, x_2, x_3, x_{im}) = P_{j'_1}^{K_2} \widehat{\Psi}_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + P_{j'_2}^{K_2} \widehat{\Psi}_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im})$$

с использованием итерационного процесса $k_1 = 1, 2, \dots$.

Останов первого итерационного процесса осуществляется при $k_1 = K_1$, если выполняется одно из условий для каждой альтернативной переменной x :

$$P_x^{K_1} \geq 1 - \varepsilon' \text{ или} \quad (3.13)$$

$$P_x^{K_1} \leq \varepsilon''. \quad (3.14)$$

В случае выполнения условия (3.13) оптимальное решение $x^* = 1$, а условия (3.14) - $x^* = 0$. Определяются:

$$x_1^* = \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (3.13), (3.14) и } P_{x_1}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases}$$

$$x_2^* = \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (3.13), (3.14) и } P_{x_2}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases}$$

$$x_3^* = \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (3.13), (3.14) и } P_{x_3}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases}$$

$$x_{im}^* = \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (3.13), (3.14) и } P_{x_{im}}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае, } i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}. \end{cases}$$

Структурное решение, соответствующее $x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*$, включается в множество доминирующих вариантов вместе с вариантами n_1 и n_2 и осуществляется верификационное моделирование для принятия окончательного решения. Структурная схема алгоритма принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом приведена на рисунке 3.2.

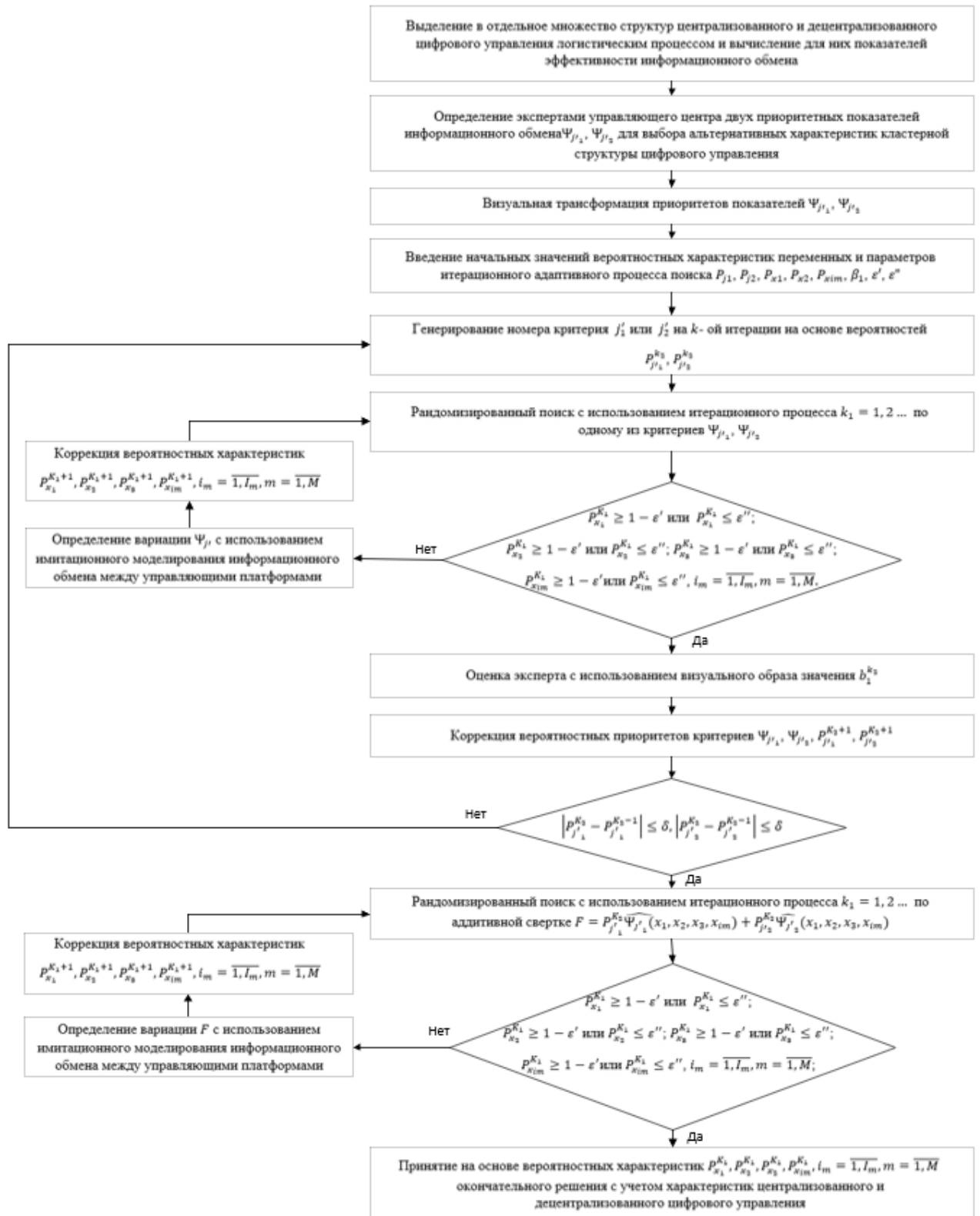


Рис.3.2. Структурная схема алгоритма принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифровой управления логистическим процессом в организационной системе с использованием бикритериальной оптимизационной модели

3.3 Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления с учетом граничных требований

В п. 2.3 показано, что кроме оптимального выбора структурного решения при трехуровневой системе цифровом управлении логистическим процессом [48, 55] на основе бикритериальной оптимизационной модели (2.13) следует учитывать ограничения на другие показатели информационного обмена в рамках оптимизационных моделей (2.14), (2.15).

Для учета граничных условий в соответствии с моделью (2.14) первый итерационный процесс $k_1 = 1, 2, \dots$ выполняется аналогично рассмотренному в п. 3.2, в случае модели (2.15) его необходимо расширить на альтернативные переменные x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} .

Отличие состоит в привлечении визуальной экспертной информации при определении начальных значений на первом шаге итерационного процесса $k_1 = 1, 2, \dots$ оптимизируемых переменных (2.12). С этой целью предъявим эксперту графические образы изменения Ψ_j^o в виде отрезков $[\Psi_j^{o\ min}, \Psi_j^{o\ max}]$, на которых нанесены точки со значениями показателей Ψ_{lj}^o и номером точки $l_j = \overline{2, L_j} = 1$ [26].

Свое мнение о желаемом уровне выполнения граничного условия (2.11) по показателю Ψ_j эксперт с предполагаемой им вероятностью P_j^3 указывает точкой на отрезке с номером l_j^3 .

Тогда начальные значения оптимизируемых переменных устанавливаются из соотношения

$$x_{1j}^1 + 2x_{2j}^1 + 4x_{3j}^1 = l_j^3, j = \overline{1, J}, j \neq j_1, j \neq j_2. \quad (3.15)$$

Но поскольку поиск осуществляется на множестве рандомизированных переменных $\widetilde{x}_{1j}, \widetilde{x}_{2j}, \widetilde{x}_{3j}$ с распределением [22]

$$P(\widetilde{x}_{1j} = 1) = Px_{1j}, P(\widetilde{x}_{1j} = 0) = qx_{1j} = 1 - Px_{1j};$$

$$P(\widetilde{x}_{2j} = 1) = Px_{2j}, P(\widetilde{x}_{2j} = 0) = qx_{2j} = 1 - Px_{2j};$$

$$P(\widetilde{x}_{3j} = 1) = Px_{3j}, P(\widetilde{x}_{3j} = 0) = qx_{3j} = 1 - Px_{3j},$$

то

$$\begin{aligned} Px_{1j}^1 &= \begin{cases} P_j^3, & \text{если в соответствии с (3.15) } x_{1j}^1 = 1, \\ 1 - P_j^3, & \text{если в соответствии с (3.15) } x_{1j}^1 = 0; \end{cases} \\ Px_{2j}^1 &= \begin{cases} P_j^3, & \text{если в соответствии с (3.15) } x_{2j}^1 = 1, \\ 1 - P_j^3, & \text{если в соответствии с (3.15) } x_{2j}^1 = 0; \end{cases} \\ Px_{3j}^1 &= \begin{cases} P_j^3, & \text{если в соответствии с (3.15) } x_{3j}^1 = 1, \\ 1 - P_j^3, & \text{если в соответствии с (3.15) } x_{3j}^1 = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Условие останова на K_1 -й итерации также формируется на основе визуальных оценок эксперта [78], который указывает на отрезке изменения вероятностей оптимизируемых переменных $[0,1]$ окрестность $\varepsilon' > 0$ точки «1», достаточную для принятия альтернативной переменной значения 1, и окрестность $\varepsilon'' > 0$ точки «0», достаточную для принятия альтернативной переменной значения 0.

При реализации второго итерационного процесса $k_2 = 1, 2, \dots$ на k_2 -й итерации с использованием первого итерационного процесса, решается одна из задач (8), (9), в которой критерий оптимизации вычисляется на основе

$$\Psi(x_1, x_2, x_3, x_{im}) = P_{j_1'}^{k_1} \Psi_{j_1'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + P_{j_2'}^{k_1} \Psi_{j_2'}(x_1, x_2, x_{im}) \rightarrow extr.$$

Для учета граничных требований в задачах (2.14), (2.15) организуем третий итерационный процесс $k_3 = 1, 2, \dots$

После реализации второго итерационного процесса эквивалентную оптимизируемую функцию задачи (2.14) запишем в следующем виде [46]

$$\begin{aligned} \Psi(x_1, x_2, x_3, x_{im}) &= P_{j_1'}^{K_2} \Psi_{j_1'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + \\ &+ P_{j_2'}^{K_2} \Psi_{j_2'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_1 \\ j \neq j_2}}^J y_j (\Psi_j^o - \Psi_j(x_1, x_2, x_3)), \end{aligned} \quad (3.17)$$

где $y_j \geq 0$ – штрафные коэффициенты.

Введем дискретную случайную величину $\tilde{j}$ с распределением

$$P_{j'} = P(\tilde{j} = j'), j' = \overline{0, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \sum_{\substack{j'=0 \\ j' \neq j'_1 \\ j' \neq j'_2}}^{J'} P_{j'} = 1.$$

Значение $j' = 0$ означает, что задача (2.14) решается без учета ограничений, $j' = 1$ – с учетом первого ограничения и т.д. Начальные условия поиска при $k_3 = 1$

$$P_{j'}^1 = \frac{1}{j'-1}, j' = \overline{0, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2. \quad (3.18)$$

В знаменателе (3.18) $(J' - 1)$, поскольку из всех J' показателей 2 не участвуют в определении граничных требований, а при решении задачи (3.17) вводится новая ситуация, когда ограничения не учитываются.

Пусть на k_3 -й итерации при значениях вероятностей $P_{j'} = P_{j'}^{k_3}$ генерируется случайное число $\widetilde{J}_1$, что соответствует виду оптимизируемой функции (3.17) при определенных значениях $y_{j'}^{k_3}$. С использованием первого итерационного процесса решается задача оптимизации по показателю $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$ и определяются:

$$x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*;$$

$$\Psi_{j'}^{k_3} = \Psi_{j'}(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*), j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2.$$

Для $(k_3 + 1)$ -й итерации корректируются значения

$$y_{j'}^{k_3+1} = \begin{cases} \max\{\delta, y_{j'}^k - \gamma(\Psi_{j'}^o - \Psi_{j'}^{k_3})\}, & \text{если } j' = j'_1, \\ y_{j'}^{k_3}, & \text{если } j' \neq j'_1, j' = \overline{1, J'}; j' \neq j'_1, j' \neq j'_2; \end{cases} \quad (3.19)$$

$$P_o^{k_3+1} = \frac{1}{1 + \sum_{\substack{j'=1 \\ j' \neq j'_1 \\ j' \neq j'_2}}^{J'} y_{j'}^{k_3}}, P_{j'}^{k_3+1} = \frac{y_{j'}^{k_3}}{1 + \sum_{\substack{j'=1 \\ j' \neq j'_1 \\ j' \neq j'_2}}^{J'} y_{j'}^{k_3}}, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \quad (3.20)$$

где пороговое значение $\delta > 0$, близкое к 0, и величина шага γ выбирается экспертом на первом шаге.

В случае оптимизационной модели (2.15) эквивалентная оптимизируемая функция имеет вид [46]:

$$\begin{aligned} \Psi(x_1, x_2, x_3, x_{im}, x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}) &= P_{j'_1}^{K_2} \Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + \\ &+ P_{j'_2}^{K_2} \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + \\ &+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_1 \\ j \neq j_2}}^J y_j \left[\left(\Psi_j^o(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}) - \Psi_j(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \right) \right]. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Тогда третий итерационный процесс необходимо совместить с первым итерационным процессом отдельно по группе переменных x_1, x_2, x_3, x_{im} и другой группе – x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} .

После определения на K_1 -й итерации соответственно $x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*$ и $x_{1j}^*, x_{2j}^*, x_{3j}^*$ для оптимизируемой функции (3.21) вычисляем значения на k_3 -й итерации:

$$\Psi_j^{k_3} = \Psi_j(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*), j = \overline{1, J}, j \neq j_1, j \neq j_2;$$

$$\Psi_j^{ok_3} = \Psi_j^o(x_{1j}^*, x_{2j}^*, x_{3j}^*), j = \overline{1, J}, j \neq j_1, j \neq j_2.$$

Начальные условия рандомизированного поиска по переменным x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} соответствуют (3.16), а по дискретной случайной переменной $\tilde{j}$ – (3.18). Коррекция значений штрафных коэффициентов осуществляется следующим образом

$$y_j^{k_3+1} = \begin{cases} \max\{\delta, y_j^k - \gamma(\Psi_j^{ok_3} - \Psi_j^{k_3})\}, & \text{если } j = j_1, \\ y_j^{k_3}, & \text{если } j \neq j_1, j = \overline{1, J}; j \neq j_1, j \neq j_2, \end{cases}$$

а распределения $\tilde{j}$ аналогично (3.20).

Условие останова третьего итерационного процесса K_3 -й итерации

$$|y_{j'}^{K_3} - y_{j'}^{K_3-1}| \leq \delta, \forall j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2. \quad (3.22)$$

После выполнения (3.22) решается либо задача (3.17) при $y_j = y_j^{K_3}$ с получением значений $x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*$, либо задача (3.21) при $y_j = y_j^{K_3}$ с получением значений $x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_{im}^*, x_{j1}^*, x_{j2}^*, x_{j3}^*$.

Указанные значения оптимизируемых переменных принимаются в качестве окончательных управленческих решений для формирования структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Если значения показателей этого варианта кластерной структуры $\Psi_{j'}^*$, устраивают эксперта больше, чем значения показателей $\Psi_{j'm1}, \Psi_{j'm2}$, полученных на основе верификационного моделирования (см. п. 2.2).

Структурная схема алгоритма принятия решения при оптимальном выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом с учетом граничных требований приведена на рис. 3.3.

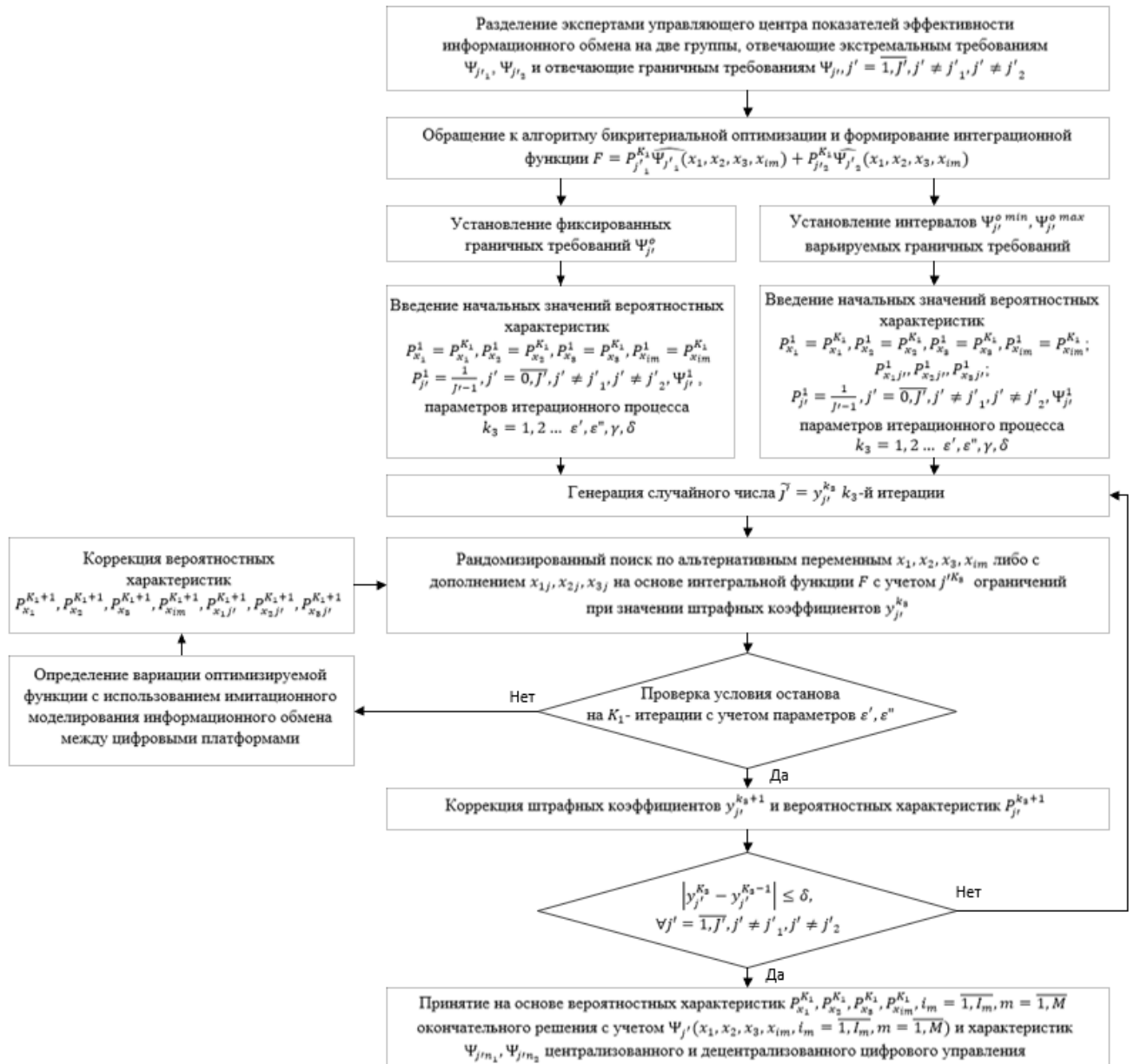


Рис.3.3. Структурная схема алгоритма принятия решения при оптимальном выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе с учетом граничных требований

Выводы третьей главы

1. Алгоритм принятия решения при оптимальном выборе на множестве фиксированных вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом целесообразно построить на основе итерационного процесса адаптивного поиска параметров аддитивной свертки показателей эффективности перемещения материального потока в режиме трехуровневого диалога с экспертом. По результатам вопросно-ответного диалога определяются формализованные оценки для настройки вероятностей привлечения показателей к выбору решения.

2. Алгоритмизация принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом дает эффективный результат при использовании бикритериальной оптимизационной модели, приоритетные показатели для формирования которой предлагают эксперты управляющего центра. Введение альтернативных переменных, характеризующих кластерную структуру, позволяет перейти к построению двух взаимосвязанных итерационных процессов адаптивного поиска: вероятностных характеристик этих переменных с вычислением значений показателей по результатам имитационного моделирования информационного обмена между цифровыми платформами и вероятностей привлечения критериев к поиску на основе визуальных оценок эксперта.

3. Если эксперты управляющего центра определяют экстремальные и граничные требования к показателям эффективности, приемлемым является введение в алгоритмическую схему принятия решения на основе бикритериальной оптимизационной модели третьей итерационной схемы адаптивного учета ограничений: при фиксированных и варьируемых граничных требованиях. Для принятия решения показатели эффективности цифровизированного логистического процесса, использующего кластерную структуру, сравниваются с соответствующими показателями централизованного и децентрализованного цифрового управления, и эксперт выбирает лучший, по его мнению, вариант.

4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МНОГОВАРИАНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Применение разработанных в п. 2.3 моделей и алгоритмов многовариантной оптимизации структурных решений в практике цифрового управления логистическим процессом в организационной системе требует прежде всего соответствующих программных средств. Эти программные средства должны обеспечить реализацию алгоритмических схем с использованием, во-первых, исходных данных для имитационного моделирования преобразования материальных и информационных потоков, а во-вторых, оценок экспертов управляющего центра организационной системы. Эффективным подходом к построению программного обеспечения в этом случае является применение модульного принципа.

Выбранное с использованием программных средств структурное решение следует трансформировать в соответствующие компоненты информационного обмена XML-документами между цифровыми платформами управляющего центра класса ERP и объектами организационной системы, участвующими в цифровизированном логистическом процессе. Именно этот уровень определяет возможность практической реализации цифрового управления и позволяет организовать мониторинг характеристик преобразования материальных и информационных потоков и показателей эффективности преобразования в рамках принятой структуры цифрового управления.

Возможность мониторинга реальной эксплуатации цифровизированного логистического процесса и использование разработанных программных средств для его модельной оптимизации позволяет экспертам управляющего центра организационной системы принять решение о необходимости модернизации системы цифрового управления на основе модельного структурного решения [16].

Принятие решения основано на сравнении реальной результативности эксплуатируемой системы цифрового управления и результативности системы в соответствии с модельной оптимизацией

4.1 Формирование программных средств оптимального выбора структурных решений

Программные средства оптимального выбора структурных решений разработаны на основе оптимизационных моделей, рассмотренных в п. 2, и алгоритмов принятия решений, предложенных в п. 3. Они обеспечивают процесс поиска оптимального решения на основе исходной информации о структуре взаимодействия цифровой платформы управляющего центра и цифровых платформ объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе, оценок экспертов управляющего центра значимости и уровня показателей эффективности $\Psi_{j,j} = \overline{1,J}, \Psi_{j,j'} = \overline{1,J'}$, характеристиках материальных потоков и потоков информационного обмена для проведения циклов имитационного моделирования.

Для дальнейшего применения в практике оптимизации цифрового управления логистическим процессом организационной системы разработан программный комплекс:

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 [10,12,14]. Все программные средства построены по модульному принципу.

Модуль 1 включает следующие модули:

- введения нумерационного множества с описанием фиксированных структур взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и объектов организационной системы $n = \overline{1, N}$ (M11);
- введения начальных значений вероятностных характеристик переменных и параметров адаптивного итерационного процесса (M12);
- определения значения случайного дискретного числа $\tilde{n} = \overline{1, N}$ на k -й итерации n_1 (M13);
- введения исходных данных n_1 -го варианта структуры цифрового управления, необходимых для организации имитационного моделирования (M14);
- имитационного моделирования логистического процесса с вычислением показателей эффективности Ψ_{jn_1} (M15);
- предъявления значений Ψ_{jn_1} эксперту управляющего центра (M16);
- оценки экспертом номера показателя j_1 с наименее удовлетворенным значением на множестве Ψ_{jn_1} (M17);
- количественной формализации оценки эксперта (M18);
- предъявления эксперту градаций лингвистической переменной и определения им термов, характеризующих степень изменения j_1 -го показателя (M19);
- указания экспертом желаемого значения j_1 -го показателя и вычисление нормированной оценки (M1,10);
- определения на основе M19, M1,10 значения функции принадлежности лингвистической переменной (M1.11);

- сравнительной оценки значения аддитивной свертки n_1 -го варианта и максимального ее значения на множестве вариантов $n \neq n_1$ при вероятностных характеристиках k -й итерации и ее формализации (M1,12);
- коррекции значения распределения вероятностей $P_n, n = \overline{1, N}$ на $(k + 1)$ -й итерации на основе оценки M1,12 (M1,13);
- коррекции значений распределения вероятностей $P_j, j = \overline{1, J}$ на $(k + 1)$ -й итерации на основе оценок M18, M1,11 (M1,14);
- проверки условия останова (M1,15);
- перехода на $(k + 1)$ -й итерации к модулю M13 в случае невыполнения условия останова (M1,16);
- перехода к определению весовых коэффициентов аддитивной свертки показателей эффективности в случае выполнения условия (M1,17);
- выбора в качестве оптимальной структуры цифрового управления с максимальным значением аддитивной свертки (M1,18).

Модуль 2 включает следующие модули:

- указания экспертами управляющего центра номеров j'_1, j'_2 двух ключевых показателей эффективности информационного обмена при кластерной структуре цифрового управления логистическим процессом (M21);
- визуализации соотношения значимости критериев $\Psi_{j'_1}, \Psi_{j'_2}$ при организации итерационного процесса адаптивного поиска оптимальных значений альтернативных переменных, характеризующих вариации кластерной структуры цифрового управления (M22);
- введения начальных значений вероятностных характеристик переменных и параметров итерационного процесса (M23);
- определения значения случайного числа $\tilde{j} = \overline{j'_1, j'_2}$ (M24);
- инициализации первого итерационного процесса адаптивного поиска по переменным $x_1, x_2, x_3, x_{i_m}, i_m = \overline{1, I_m}$ на основе выбранного в M24 критерия (M25);

- проверки условия останова первого итерационного процесса (M26);
- перехода в случае невыполнения условия останова к определению вариаций выбранного критерия с использованием имитационного моделирования информационного обмена между цифровыми платформами (M27);
- коррекции вероятностных характеристик альтернативных переменных на $(k + 1)$ -й итерации (M28);
- перехода в случае выполнения условия останова к проверке условия останова второго итерационного процесса (M29);
- перехода в случае выполнения условия останова к поиску по альтернативным переменным на основе аддитивной свертки критериев $\Psi_{j'1}, \Psi_{j'2}$ (M2,10);
- обращения к модулям M26-28 (M2,11);
- перехода в случае невыполнения условия останова к предъявлению в рамках второго итерационного процесса значения $b_1^{k_2}$ (M2,12);
- коррекции вероятностных приоритетов критериев $\Psi_{j'1}, \Psi_{j'2}$ (2,13);
- принятия экспертами управляющего центра на основе оптимального решения по аддитивной свертке критериев и характеристик $\Psi_{j'',j'} = \overline{1,J'}$ централизованного и децентрализованного управления окончательного структурного решения для цифровизированного логистического процесса (M2,14).

Модуль 3 включает следующие модули:

- разделение экспертами управляющего центра показателей эффективности информационного обмена между цифровыми платформами $j' = \overline{1,J'}$ на две группы: отвечающие экстремальным требованиям $\Psi_{j'1}, \Psi_{j'2}$ и отвечающие граничным требованиям $\Psi_{j'',j'} = \overline{1,J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2$ (M31);
- обращениям к модулям M22-M2,13 программы 2 (M32);
- принятие экспертного решения по объединению результатов модуля M2,10 и фиксированных граничных требований к показателям $\Psi_{j'',j'} = \overline{1,J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2$ (M33);

- введения начальных значений вероятностных характеристик альтернативных переменных номеров ситуаций привлечения ограничений к поиску и параметров третьего итерационного процесса (М34);
- определения значения случайного числа $j' = \overline{0, J' - 1}$, определяющего номера ситуаций привлечения ограничений к поиску (М35);
- определения значений штрафных коэффициентов на k_3 -й итерации (М36);
- инициализации первого итерационного процесса адаптивного поиска по альтернативным переменным на основе оптимизируемой функции, включающей объединение аддитивной свертки и штрафных функций (М37);
- обращения к модулям М26-М28 (М38);
- перехода в случае выполнения условия останова первого итерационного процесса к коррекции штрафных коэффициентов и номеров ситуаций привлечения ограничений на $(k_3 + 1)$ -й итерации (М39);
- проверки условия останова третьего итерационного процесса (М3,10);
- перехода в случае невыполнения условия останова к М35 (М3,11);
- перехода в случае выполнения условия останова к принятию экспертами управляющего центра окончательного решения на основе сравнения показателей информационного обмена и структур централизованного и децентрализованного цифрового управления логистическим процессом (М3,12);
- установления экспертами интервалов $\Psi_j^{\text{о макс}}, \Psi_{j'}^{\text{о мин}}$ варьируемых граничных требований и их дискретизации $l_j = \overline{1, L_j}$ (М3,13);
- введения начальных значений вероятностных характеристик альтернативных переменных, представляющих номер интервала в двоичном исчислении (М3,14);
- обращения к модулям М35-М3,12 с включением новых альтернативных переменных $x_{1j'}, x_{2j'}, x_{3j'}$ в первый итерационный процесс адаптивного поиска (М3,15).

4.2 Трансформация структурных решений в реализацию обмена XML-документами между цифровыми платформами ERP и WMS в практике управления логистическим процессом организационной системы

Рассмотрим систему цифрового управления логистическим процессом, в которой XML обмен ERP-WMS осуществляется в соответствии с оптимальным структурным решением по следующим документам: отгрузки продукции, товаров результатов деятельности объектов организационной системы и их перемещения.

На данном этапе эксплуатации цифровизированного логистического процесса в организационной системе компании «Балтика» используется структура взаимодействия цифровой платформы управляющего центра класса ERP и объектов, участвующих в отгрузке и перемещении результатов деятельности, класса WMS, которая приведена на рисунке 1.2.

Перейдем к характеристике обмена данными в этой системе.

Основной этап логистического процесса— это отгрузка. Документы на отгрузку (заказы) обрабатываются как в ERP системе, так и в WMS. Обработка документов данного типа выполняться в следующем порядке:

1. Накладная на отгрузку результатов деятельности объектов организационной системы потребителям результатов деятельности организационной системы вводится в ERP. В процессе ввода указываются все характеристики документа, заполняются его строки с учетом сроков годности продукции. Выполняется распределение строк накладной по аналитическим партиям ERP. На этом этапе никаких изменений, связанных с согласованной работой систем ERP и WMS не требуется.

2. Накладная на отгрузку проводится в ERP-Монолит по цепочке состояний вплоть до состояния «Отгрузка разрешена». ERP информирует систему WMS о появлении нового документа, для которого может осуществляться планирование отгрузки с помощью генерации соответствующего информационного события (вызов GetEvent).

3. В момент восприятия этого события система WMS запрашивает у ERP развернутую информацию о документе и его позициях и начинает планирование отгрузки по документу.

4. По завершении выписки, на статусе «транспортные реквизиты заданы» документы передаются в WMS для выполнения непосредственно отгрузки. ERP информирует систему WMS о готовности к обработке документа со стороны WMS с помощью генерации события (вызов GetEvent).

5. В момент восприятия этого события система WMS запрашивает у ERP текущую информацию о документе и его позициях и атрибутах партий и может выполнять его обработку.

6. При обработке документа для отгрузки со стороны WMS должна выполняться блокировка документа (вызов процедуры StartDocProcessing).

7. Последовательная обработка строк документа. При этом для каждой строки документа выполняется блок вызовов:

- обработка строки документа (вызов ChangeDocPosition);
- распределение по партиям строки документа (вызов AddCargoInfo);
- завершение обработки строки документа (вызов EndChangeDocPosition).

8. Если в момент окончания погрузки (все задания на стороне WMS выполнены) в системе ERP не появилось новых событий по изменению данного документа, система WMS передает обратно в ERP информацию об окончании обработки документа с помощью вызова EndDocProcessing с указанием корректного значения даты в параметре @MoveDate.

9. После выполнения этих действий продукция считается ушедшей со склада. В ERP выполняются необходимые логические проверки и в случае допустимости, для накладной автоматически фиксируется состояния «Товар отгружен со склада».

Для накладных на отгрузку не допускается изменение фактически отгружаемого количества по инициативе WMS. Такое изменение может быть внесено только в ERP.

При невозможности отгрузить указанное в документе количество, отгрузка на складе должна быть отменена со стороны WMS вызовом EndDocProcessing с указанием в параметрах вызова значения @MoveDate = NULL. WMS может блокировать документ вызовом StartDocProcessing и разблокировать его вызовом EndDocProcessing с указанием @MoveDate = NULL произвольное число раз. В момент, когда документ заблокирован, с ним не могут быть выполнены никакие действия со стороны ERP.

В случае если на складе принято решение о том, что для перемещения результатов деятельности может быть загружено большее количество, или вместо одной (например, недоступной) номенклатурной будет отгружена другая – отгрузка на стороне WMS должна быть приостановлена. Информация о необходимых изменениях должна быть сообщена в службу выписки, необходимые изменения должны быть сначала внесены в систему ERP. После получения события об изменении документа WMS может продолжить обработку накладной.

Для контроля процесса обмена XML пакетами и удобного представления информации было разработано специальное рабочее место в рамках системы ERP. В данном рабочем месте представлены все обмены со всеми распределенными системами по всем документам – отгрузка, приход и т.д. На рисунке 4.1 представлен интерфейс рабочего места.

Протокол операций WMS								
Дата начала								
Дата окончания								
С номерами по шаблону								
Код документа								
Тип документа								
WMS								
Код документа	Тип документа	Проведен по складу	Номер документа	Дата выписки	WMS: первая операция	WMS: последняя операция	Блокировки	
108234120	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:12	30.05.2018 7:30:17	1	
108241920	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:12	30.05.2018 0:26:31	1	
108234390	Приход продукции из производства	29.05.2018		29.05.2018	30.05.2018 0:00:12	30.05.2018 2:00:32	1	
108242030	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:13	30.05.2018 6:48:41	1	
188407645	Отгрузка продукции с КПК	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:14	30.05.2018 4:05:22	1	
108240750	Приход продукции из производства	29.05.2018		29.05.2018	30.05.2018 0:00:15	30.05.2018 0:16:40	1	
108240740	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:15	30.05.2018 0:13:48	1	
108242040	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:16	30.05.2018 21:45:06	0	
108243500	Приход продукции из производства	29.05.2018		29.05.2018	30.05.2018 0:00:18	30.05.2018 0:10:34	1	
108242050	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:19	30.05.2018 4:37:50	1	
108242060	Приход продукции из производства	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:00:22	30.05.2018 21:45:10	0	
188297415	Отгрузка продукции с КПК	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:01:52	30.05.2018 0:09:51	1	
188297475	Отгрузка продукции с КПК	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:01:54	30.05.2018 0:02:40	1	
188297535	Отгрузка продукции с КПК	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:01:55	30.05.2018 0:02:52	1	
188297745	Отгрузка продукции с КПК	30.05.2018		30.05.2018	30.05.2018 0:01:57	30.05.2018 0:03:01	1	

Рис. 4.1. Интерфейс рабочего места

Подробная информация о ходе выполнения обмена данными по каждому документу между ERP и WMS доступна по нажатию правой клавишей мыши и выбора контекстной команды «Показать по операциям». По нажатию откроется новое окно с подробным описанием всех действий (этапов) обмена по выбранному документу.

На рисунке 4.2 отображены все этапы успешного XML обмена командами и данными между ERP и WMS.

Показать по операциям						
Действие	Ok	Время начала	Время окончания	Пользователь	Станция	
DescribeDoc	✓	29.05.2018 14:59:06	29.05.2018 14:59:06	xlce	SPBSRVSQLV01	
DescribeDoc	✓	29.05.2018 19:46:07	29.05.2018 19:46:07	xlce	SPBSRVSQLV01	
StartDocProcessing	✓	30.05.2018 0:04:25	30.05.2018 0:04:25	xlce	SPBSRVSQLV01	
StartLoadingVehicle	✓	30.05.2018 0:04:46	30.05.2018 0:04:46	xlce	SPBSRVSQLV01	
ChangeDocPosition	✓	30.05.2018 0:04:47	30.05.2018 0:04:47	xlce	SPBSRVSQLV01	
AddCargoInfo	✓	30.05.2018 0:04:47	30.05.2018 0:04:47	xlce	SPBSRVSQLV01	
AddCargoInfo	✓	30.05.2018 0:04:47	30.05.2018 0:04:47	xlce	SPBSRVSQLV01	
EndChangeDocPosition	✓	30.05.2018 0:04:47	30.05.2018 0:04:47	xlce	SPBSRVSQLV01	
ChangeDocPosition	✓	30.05.2018 0:04:48	30.05.2018 0:04:48	xlce	SPBSRVSQLV01	
AddCargoInfo	✓	30.05.2018 0:04:48	30.05.2018 0:04:48	xlce	SPBSRVSQLV01	
EndChangeDocPosition	✓	30.05.2018 0:04:48	30.05.2018 0:04:48	xlce	SPBSRVSQLV01	
EndDocProcessing :FixMove	✓	30.05.2018 0:04:49	30.05.2018 0:04:50	xlce	SPBSRVSQLV01	

Рис. 4.2. Этапы XML обмена

По документу все действия были выполнены успешно. Каждое действие представляет из себя этап обмена. А именно:

- **DescribeDoc** – на этом этапе документ появился в ERP и началась передача данных в WMS;
- **StartDocProcessing** – на этом этапе начинается отгрузка документа из WMS и передача информации в ERP;
- **ChangeDocPosition** – на этом этапе началась передача информации из WMS в ERP по всем партиям документа отгрузки;
- **AddCargoInfo** – на этом этапе были переданы все атрибуты партии строки документа. Этап выполняется для каждой строки документа отдельно;
- **EndChangeDocPosition** – этап завершения передачи информации об отгруженных партиях из WMS в ERP;
- **EndDocProcessing** – этап завершения и отгрузки документа в ERP.

Если в интерфейсе, представленном на рисунке 4.2, навести курсор мыши на действие **AddCargoInfo**, то будет представлена вся детальная информация об атрибутах партии строки документа.

Тоже самое относится и к остальным действиям. При наведении курсора мыши будет отображен список обрабатываемых параметров этапа.

4.3 Оценка результативности применения разработанных средств в практике цифрового управления логистическим процессом

Для оценки результативности применения разработанных средств в практике цифрового управления логистическим процессом и их внедрения в организационной системе предлагается следующая последовательность этапов:

1. Мониторинг реальной эксплуатации цифровизированного логистического процесса с фиксированной структурой для определения:

характеристик многофазной системы массового обслуживания, отражающей преобразование материальных потоков, (см. п. 2.1)

$$\begin{aligned}
i &= \overline{1, I}, i_r = \overline{1, I_r}, r = \overline{1, R}; \\
\lambda_r, r &= \overline{1, R}, \lambda_{i_r}, i_r = \overline{1, I_r}, r = \overline{1, R}, \\
\mu_{i_r}, i_r &= \overline{1, I_r}, r = \overline{1, R};
\end{aligned} \tag{4.1}$$

характеристик системы массового обслуживания, отражающей информационный обмен между цифровыми платформами, (см. п. 3.1):

$$\begin{aligned}
i &= \overline{1, I}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}; \\
\lambda_m, \mu_{1m}, \mu_{2m}, \lambda_m^{\text{отк}}, \tau_m^{\text{ож}}, \tau_m^{\text{в}}, m &= \overline{1, M}; \\
\lambda_{i_m}, \mu_{1i_m}, \mu_{2i_m}, \lambda_{i_m}^{\text{отк}}, \tau_{i_m}^{\text{ож}}, \tau_{i_m}^{\text{в}}, i_m &= \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}.
\end{aligned} \tag{4.2}$$

2. Модельная оптимизация цифрового управления логистическим процессом с использованием режима имитационного моделирования:

- на основе модуля 1 и данных (4.1), полученных на предыдущем этапе;
- на основе модуля 2 и данных (4.2), полученных на предыдущем этапе;
- на основе совместного использования модулей 1, 2 и данных (4.2).

3. Принятие решения экспертами управляющего центра организационной системы о характере модернизации эксплуатируемой системы цифрового управления логистическим процессом.

С этой целью по результатам мониторинга определяются показатели эффективности цифровизированного логистического процесса

$$\Psi_j^p, j = \overline{1, J}; \Psi_{j'}^p, j' = \overline{1, J'}. \tag{4.3}$$

Значения показателей (4.3) сравниваются со значениями показателей вариантов структуры цифрового управления, полученных на этапе модельной оптимизации на основе модуля 1

$$\Psi_j^{1m}, j = \overline{1, J}; \tag{4.4}$$

на основе модуля 2

$$\Psi_{j'}^{1m}, j' = \overline{1, J'}; \tag{4.5}$$

на основе совместного использования модулей 1, 2

$$\Psi_{j'}^{2m}, j' = \overline{1, J'}. \tag{4.6}$$

Если при сравнении (4.3) с (4.4)-(4.6) окажется, что эти значения устраивают экспертов управляющего центра, продолжается использование эксплуатируемой системы цифрового управления, в противном случае применяется решение о модернизации системы по приоритетному варианту (4.4)-(4.6) с учетом объема капитальных вложений при модернизации.

Структурная схема принятия управленческого решения по результатам применения программных средств оптимизации в практике цифрового управления логистическим процессом в организационной системе приведена на рисунке 4.3.

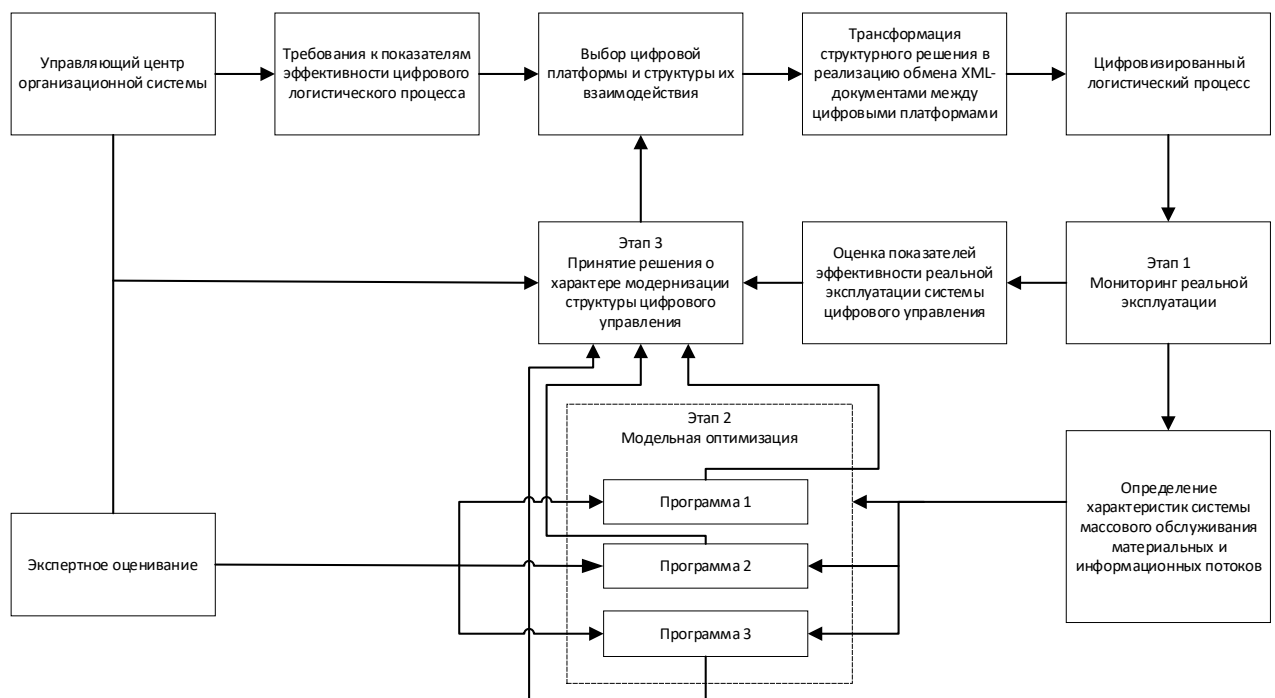


Рис.4.3. Структурная схема принятия управленческого решения по результатам применения программных средств оптимизации в практике цифрового управления логистическим процессом в организационной системе

Учитывая особенности цифрового управления логистическим процессом в организационной системе, представленные в пункте 1.1, рассмотрим логистический процесс в рамках организационной системы компании «Балтика», используемый в операционной деятельности компании. Для формализации описания логистического процесса необходимо выделить: управляющий центр –

ERP систему, в которой ведется вся нормативно-справочная информация и документы обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение); 9 локальных WMS, которые соответствуют филиалам компании. Информационный поток представляет собой передачу нормативно-справочной информации. Материальный поток представлен передачей документов обработки между ERP и WMS, а также к потребителю, что отражает перемещение результатов деятельности компании.

Обмен информационными и материальными потоками в реальной эксплуатации в рамках цифровизированного логистического процесса осуществляется между управляющим центром ERP и каждой локальной WMS.

В соответствии со структурной схемой цифровизированного логистического процесса в организационной системе, представленной на рисунке 1.2. данный способ цифрового управления является децентрализованным, который в общем виде представлен на рисунке 2.1, б.

В этом случае логистический процесс предлагается отобразить в виде схемы, представленной на рисунке 4.4.

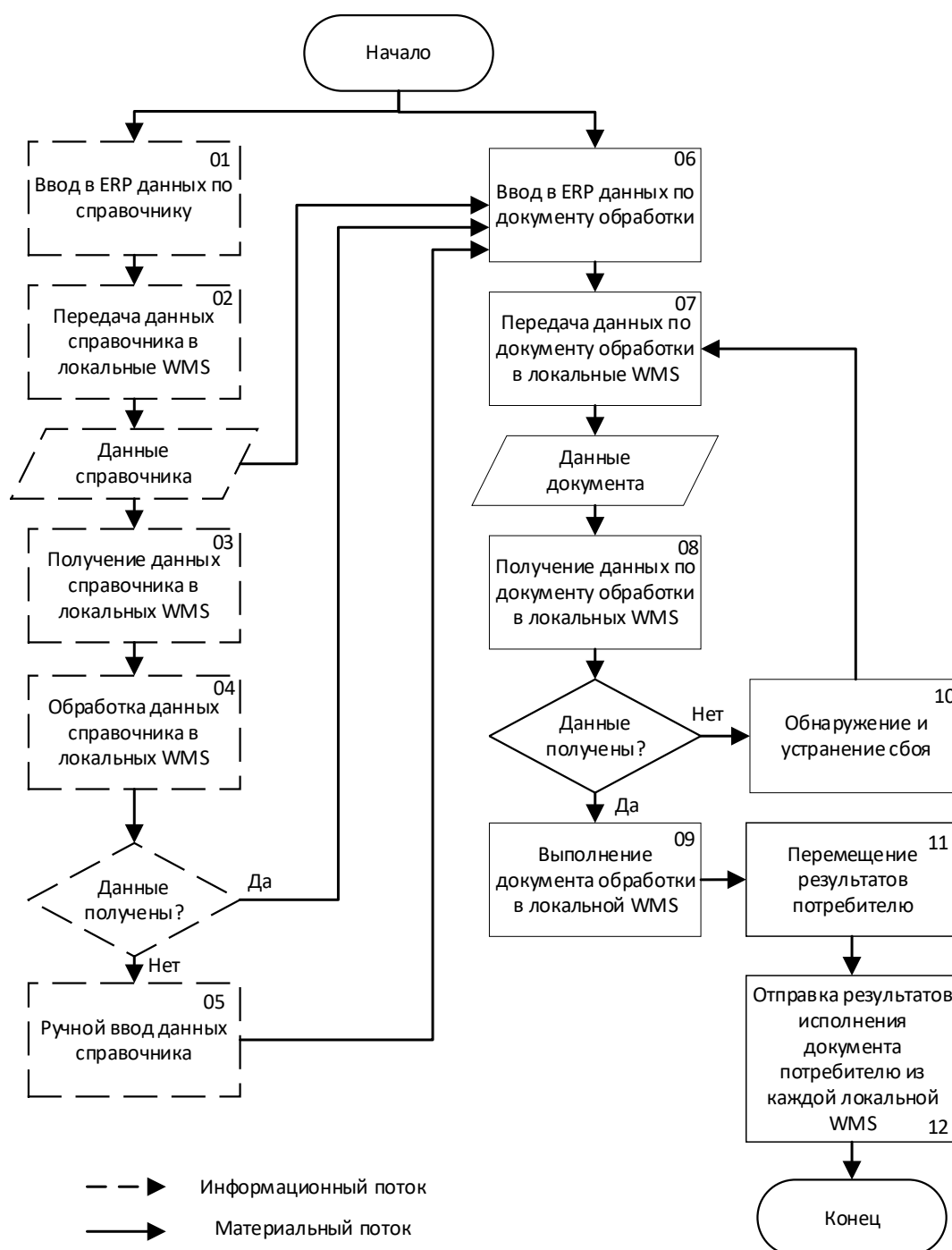


Рис. 4.4. Схема децентрализованного цифрового управления ООО «Пивоваренной компании «Балтика»

Описание логистического процесса для децентрализованного управления приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Описание шагов логистического процесса при децентрализованном управлении

№	Название шага	Описание шага
01	Ввод в ERP данных по справочнику	В ERP системе вводятся данные по нормативно-справочной информации для последующей передачи данных во все локальные WMS системы в отдельности
02	Передача данных справочника в локальные WMS	Процесс передачи исходных данных по нормативно-справочной информации из ERP во все локальные WMS в отдельности
03	Получение данных справочника в локальных WMS	Процесс получения исходных данных по нормативно-справочной информации из ERP во всех локальных WMS в отдельности
04	Обработка данных справочника в локальных WMS	Проверка получения исходных данных администраторами локальных WMS, обработка нормативно-справочной информации путем добавления аналитик, требуемых для корректной работы WMS в отдельности
05	Ручной ввод данных справочника	Ручной ввод администраторами локальных WMS нормативно-справочной информации в случае сбоя передачи данных
06	Ввод в ERP данных по документу обработки	В ERP системе вводятся документы для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) на основе ранее переданных и обработанных данных по нормативно-справочной информации. Если нормативно-справочная информация не была успешно обработана, то ввод документов, содержащим эту информацию, невозможен
07	Передача данных по документу обработки в локальные WMS	Процесс передачи данных по документам для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) из ERP в локальные WMS
08	Получение данных по документу обработки в локальных WMS	Процесс получения данных по документам для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) в локальных WMS
09	Выполнение документа обработки в локальной WMS	Процесс исполнения требований по документу обработки в рамках логистического процесса
10	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между ERP и локальными WMS по документам обработки
11	Перемещение результатов потребителю	Фактическое исполнение полученного документа обработки материального потока (приемка, отгрузка, перемещение)
12	Отправка результатов исполнения документа потребителю из каждой локальной WMS	Передача данных по исполнению документа обработки в рамках материального потока

Для централизованной структуры цифрового управления логистическим процессом в соответствии со схемой 2.1, а, вводится 1 главная WMS – WMS система, с которой осуществляет обмен нормативно-справочной информацией управляющий центр, в которой происходит обработка и обогащение данных нормативно-справочной информации со стороны администратора для нужд всех оставшихся 8 локальных WMS по филиалам компании, в которые передаются обработанные данные из главной WMS с нормативно-справочной информацией. При этом, обмен в рамках материального потока по исполнению документов обработки логистического процесса осуществляется в каждой локальной WMS, но только главная WMS отправляет результаты исполнения потребителям по обработке материального потока.

В этом случае логистический процесс предлагается отобразить в виде схемы, представленной на рисунке 4.5.

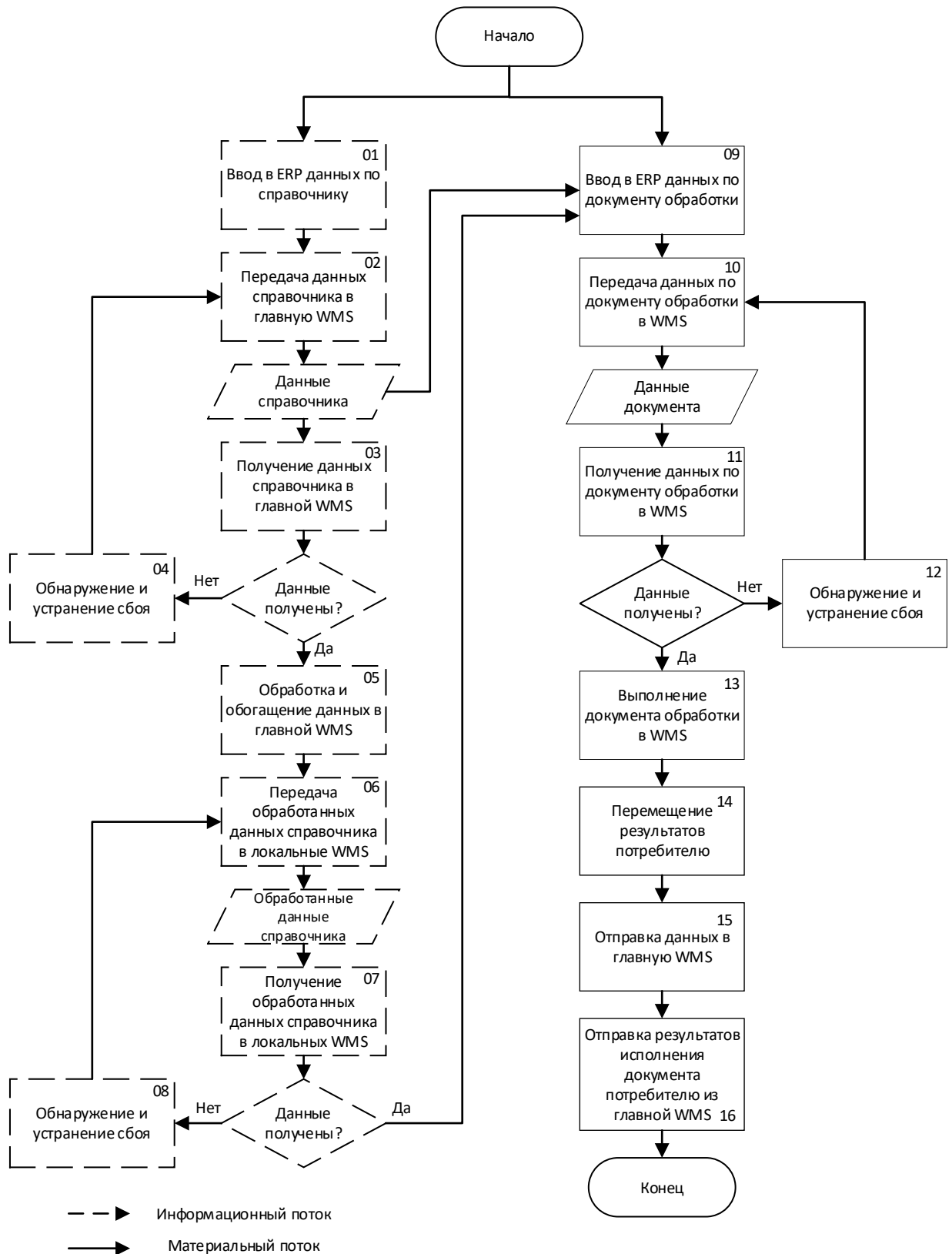


Рис. 4.5. Схема централизованного цифрового управления ООО «Пивоваренной компании «Балтика»

Описание логистического процесса для централизованного управления приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Описание шагов логистического процесса при централизованном управлении

№	Название шага	Описание шага
01	Ввод в ERP данных по справочнику	В ERP системе вводятся данные по нормативно-справочной информации для последующей передачи данных во все WMS системы
02	Передача данных справочника в главную WMS	Процесс передачи исходных данных по нормативно-справочной информации из ERP в главную WMS в соответствии с централизованной схемой обмена
03	Получение данных справочника в главной WMS	Процесс получения исходных данных по нормативно-справочной информации из ERP в главной WMS в соответствии с централизованной схемой обмена
04	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между ERP и главной WMS на узле G1, рассмотренном в разделе 2.2 при централизованной схеме обмена данными
05	Обработка и обогащение данных в главной WMS	После успешного получения исходных данных администратор главной WMS обрабатывает нормативно-справочную информацию путем добавления аналитик, требуемых для корректной работы всех локальных WMS
06	Передача обработанных данных справочника в локальные WMS	Процесс передачи обработанных данных по нормативно-справочной информации из главной WMS в локальные WMS в соответствии с централизованной схемой обмена
07	Получение обработанных данных справочника в локальных WMS	Процесс получения обработанных данных по нормативно-справочной информации из главной WMS во всех локальных WMS в соответствии с централизованной схемой обмена
08	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между главной WMS и локальными WMS на узле G2, рассмотренном в разделе 2.2 при централизованной схеме обмена данными
09	Ввод в ERP данных по документу обработки	В ERP системе вводятся документы для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) на основе ранее переданных и обработанных данных по нормативно-справочной информации. Если нормативно-справочная информация не была успешно обработана, то ввод документов, содержащим эту информацию, невозможен
10	Передача данных по документу обработки в WMS	Процесс передачи данных по документам для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) из ERP в локальные WMS

№	Название шага	Описание шага
11	Получение данных по документу обработки в WMS	Процесс получения данных по документам для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) в локальных WMS
12	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между ERP и локальными WMS
13	Выполнение документа обработки в WMS	Процесс исполнения требований по документу для обработки в рамках логистического процесса
14	Перемещение результатов потребителю	Фактическое исполнение полученного документа обработки материального потока (приемка, отгрузка, перемещение)
15	Отправка данных в главную WMS	Отправка результатов исполнения документа обработки по материальному потоку из локальных WMS в главную WMS
16	Отправка результатов исполнения документа потребителю из главной WMS	Передача данных по исполнению документа обработки в рамках материального потока централизованно из главной WMS

Для кластерной структурой цифрового управления логистическим процессом в соответствии со схемой 2.1, в, по отношению к текущей эксплуатации вводится 1 главная WMS – WMS система, с которой осуществляет обмен нормативно-справочной информацией управляющий центр, в которой происходит обработка и обогащение данных нормативно-справочной информации со стороны администратора для нужд всех кластеров и 4 кластера логически сформированных по филиалам. Каждый кластер включает в себя две локальные WMS по филиалам компании. Кластер представляет собой виртуальную среду для объединения цифрового управления включенными в него локальными WMS. При этом, обмен в рамках материального потока по исполнению документов обработки логистического процесса осуществляется в каждой кластере с отправкой результатов исполнения потребителям.

Кластер сформированы на основе территориального признака филиалов:

- Кластер МЦ – филиалы региона Москва-Центр по объектам O_1, O_2 ;
- Кластер УП – филиалы региона Урал-Поволжье по объектам O_3, O_4 ;
- Кластер ДВ – филиалы региона Дальний-Восток по объектам O_5, O_6 ;
- Кластер СЗ – филиалы региона Северо-Запад O_7, O_8 .

В этом случае логистический процесс предлагается отобразить в виде схемы, представленной на рисунке 4.6.

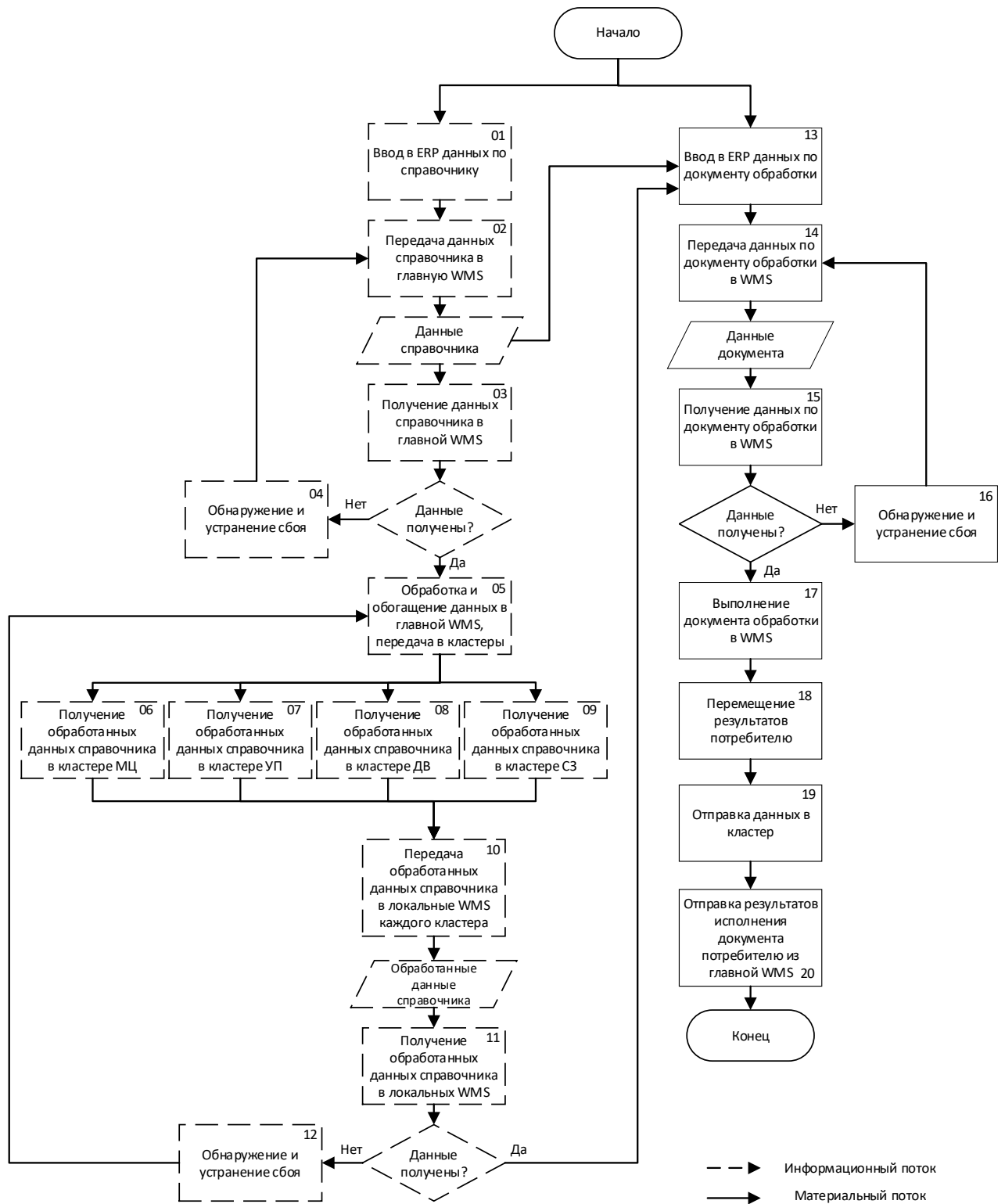


Рис. 4.6. Схема кластерного цифрового управления ООО «Пивоваренной компании «Балтика»

Описание логистического процесса для кластерного управления приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Описание шагов логистического процесса при кластерном управлении

№	Название шага	Описание шага
01	Ввод в ERP данных по справочнику	В ERP системе вводятся данные по нормативно-справочной информации для последующей передачи данных во все WMS системы
02	Передача данных справочника в главную WMS	Процесс передачи исходных данных по нормативно-справочной информации из ERP в главную WMS в соответствии с централизованной схемой обмена
03	Получение данных справочника в главной WMS	Процесс получения исходных данных по нормативно-справочной информации из ERP в главной WMS в соответствии с централизованной схемой обмена
04	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между ERP и главной WMS при кластерной схеме обмена данными
05	Обработка и обогащение данных в главной WMS, передача в кластеры	После успешного получения исходных данных администратор главной WMS обрабатывает нормативно-справочную информацию путем добавления аналитик, требуемых для корректной работы всех локальных WMS, и осуществляет передачу обработанных данных в логически сгруппированные кластеры
06	Получение обработанных данных справочника в кластере МЦ	Процесс получения данных в кластере и подготовка для дальнейшей передачи в локальные WMS кластера МЦ
07	Получение обработанных данных справочника в кластере УП	Процесс получения данных в кластере и подготовка для дальнейшей передачи в локальные WMS кластера УП
08	Получение обработанных данных справочника в кластере ДВ	Процесс получения данных в кластере и подготовка для дальнейшей передачи в локальные WMS кластера ДВ
09	Получение обработанных данных справочника в кластере СЗ	Процесс получения данных в кластере и подготовка для дальнейшей передачи в локальные WMS кластера СЗ
10	Передача обработанных данных справочника в локальные WMS каждого кластера	Процесс передачи обработанных данных по нормативно-справочной информации из кластера в локальные WMS

№	Название шага	Описание шага
11	Получение обработанных данных справочника в локальных WMS	Процесс получения обработанных данных по нормативно-справочной информации из кластеров во всех локальных WMS
12	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между главной WMS, кластерами и локальными WMS. В случае сбоя обращение происходит к главной WMS, а не к кластеру
13	Ввод в ERP данных по документу обработки	В ERP системе вводятся документы для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) на основе ранее переданных и обработанных данных по нормативно-справочной информации. Если нормативно-справочная информация не была успешно обработана, то ввод документов, содержащим эту информацию, невозможен
14	Передача данных по документу обработки в WMS	Процесс передачи данных по документам для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) из ERP в локальные WMS
15	Получение данных по документу обработки в WMS	Процесс получения данных по документам для обработки в рамках логистического процесса (прием, отгрузка, перемещение) в локальных WMS
16	Обнаружение и устранение сбоя	Процесс обнаружения и устранения сбоя, в случае отказа обмена данными между ERP и локальными WMS
17	Выполнение документа обработки в WMS	Процесс исполнения требований по документу для обработки в рамках логистического процесса
18	Перемещение результатов потребителю	Фактическое исполнение полученного документа обработки материального потока (приемка, отгрузка, перемещение)
19	Отправка данных в кластер	Отправка результатов исполнения документа обработки по материальному потоку из локальных WMS в кластеры
21	Отправка результатов исполнения документа потребителю из кластера WMS	Передача данных по исполнению документа обработки в рамках материального потока централизованно из кластера

Для оценки результативности выполнен мониторинг реальной эксплуатации системы с децентрализованным управлением. Определены:

1. Характеристики многофазной системы массового обслуживания, отражающей преобразование материальных потоков:

- $i = \overline{1,9}$ – количество локальных WMS при децентрализованном управлении;

- $i_r = \overline{1,9}$ – нумерационное множество объектов $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6, O_7, O_8, O_9$, соответствующее филиалам компании;

- $r = \overline{1,9}$ – количество цифровизированных компонентов логистического процесса, т.к. управление материальными потоками децентрализовано для всех 9 локальных WMS, и компонентом является связка ERP-WMS, из чего можно сделать вывод, что интенсивность пуассоновского входного потока заявок будет равна интенсивности потока заявок на выходе объекта O_{i_r} , т.е. $\lambda_r = \lambda_{i_r}$, что представляет собой перемещение документов обработки в рамках материального потока;

- с учетом среднемесячного распределения потока заявок получены следующие значения по каждому объекту:

$$\lambda_1 = \frac{1}{387} \approx 0,0026;$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{421} \approx 0,0024;$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{344} \approx 0,0029;$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{315} \approx 0,0032;$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{360} \approx 0,0028;$$

$$\lambda_6 = \frac{1}{298} \approx 0,0034;$$

$$\lambda_7 = \frac{1}{262} \approx 0,0038;$$

$$\lambda_8 = \frac{1}{288} \approx 0,0035;$$

$$\lambda_9 = \frac{1}{273} \approx 0,0037;$$

- интенсивность обслуживания заявок получена для каждого объекта при показательном законе распределения времени обслуживания $t_{ir} = 24$ часа.

$$\mu_1 = \frac{387}{24} \approx 16;$$

$$\mu_2 = \frac{421}{24} \approx 18;$$

$$\mu_3 = \frac{344}{24} \approx 14;$$

$$\mu_4 = \frac{315}{24} \approx 13;$$

$$\mu_5 = \frac{360}{24} \approx 15;$$

$$\mu_6 = \frac{298}{24} \approx 12;$$

$$\mu_7 = \frac{262}{24} \approx 11;$$

$$\mu_8 = \frac{288}{24} \approx 12;$$

$$\mu_9 = \frac{273}{24} \approx 11;$$

2. Характеристики системы массового обслуживания, отражающей информационный обмен между цифровыми платформами:

- $i = \overline{1,9}$ – количество локальных WMS при децентрализованном управлении;
- $i_m = \overline{1,9}$ – нумерационное множество объектов $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6, O_7, O_8, O_9$, соответствующее филиалам компании;
- $m = \overline{1,9}$ – количество кластеров, т.к. управление информационными потоками децентрализовано для всех 9 локальных WMS, и кластером выступает связка ERP-WMS, из чего можно сделать вывод, что интенсивность входного пуассоновского потока XML-документов, поступающих от цифровой платформы управляющего центра для обработки к цифровой платформе m -го кластера будет равна интенсивности входного пуассоновского потока XML-документов, поступающих от цифровой платформы m -го кластера для обработки в цифровой платформе объекта O_{im} , т.е. $\lambda_m = \lambda_{im}$, что представляет собой информационный обмен;
- $\lambda_m = \lambda_{im} = \frac{1}{328} = 0,0031$ – интенсивность потока XML-документов для всех объектов с учетом среднемесячного распределения, т.к. при децентрализованном управлении каждый XML-документ передается из ERP в локальные WMS;

- $\mu_{1m} = \mu_{1im} = 0,0028$ – интенсивность выполнения подготовительного этапа к обслуживанию заявки для всех объектов, т.к. при децентрализованном управлении каждый XML-документ передается из ERP во все локальные WMS;
- $\mu_{2m} = \mu_{2im} = \frac{328}{24} \approx 14$ – интенсивность обслуживания XML-документов будет одинакова для всех объектов, т.к. при децентрализованном управлении каждый XML-документ передается из ERP во все локальные WMS;
- значения интенсивности отказов при выполнении операций цифрового управления логистическим процессом $\lambda_m^{\text{отк}}$, среднего времени ожидания восстановления информационного обмена XML-документами после отказа при выполнении операций цифрового управления $\overline{\tau_m^{\text{ож}}}$, среднего времени восстановления цифрового управления $\overline{\tau_m^{\text{в}}}$ в каждом канале на промежутке в 24 часа при децентрализованном управлении представлены в таблице 4.4:

Таблица 4.4. Значения характеристик системы массового обслуживания, отражающей информационный обмен.

Канал	$\lambda_m^{\text{отк}} = \lambda_{im}^{\text{отк}}$	$\overline{\tau_m^{\text{ож}}} = \overline{\tau_{im}^{\text{ож}}}$	$\overline{\tau_m^{\text{в}}} = \overline{\tau_{im}^{\text{в}}}$
$m = 1$	0,083	0,42	0,33
$m = 2$	0,083	0,4	0,32
$m = 3$	0,042	0,38	0,3
$m = 4$	0,083	0,45	0,37
$m = 5$	0,083	0,47	0,38
$m = 6$	0,042	0,48	0,4
$m = 7$	0,042	0,43	0,35
$m = 8$	0,042	0,32	0,23
$m = 9$	0,042	0,4	0,32

Сравнение результатов модельной оптимизации цифрового управления логистическим процессом в ООО «Пивоваренной компании «Балтика» с

использованием режима имитационного моделирования выполняется по ключевым показателям эффективности Ψ_j для материального потока и $\Psi_{j'}$ для информационного. Для текущей реализации децентрализованной схемы управления определены следующие значения:

- $\Psi_{1'} = 142$ мс – скорость передачи при информационном обмене;
- $\Psi_{2'} = 114$ кб – объем передаваемой информации;
- $\Psi_{3'} = 10$ единиц – затраты на обработку одной единицы информационного обмена;
- $\Psi_{4'} = 97,26$ % – отказоустойчивость информационного обмена;
- $\Psi_1 = 220$ мс – скорость обмена документов обработки;
- $\Psi_2 = 231$ кб – объем документов обработки;
- $\Psi_3 = 15$ единиц – затраты на один документ обработки;
- $\Psi_4 = 97,21$ % – отказоустойчивость материального потока по документам обработки.

Рассматривая вариант для кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом, приведенной на рисунке 4.6 при $M = 4$ определим альтернативные переменные x_{im} (2.15):

$$x_{1_1} = 1; x_{2_1} = 1; x_{3_2} = 1; x_{4_2} = 1; x_{5_3} = 1; x_{6_3} = 1; x_{7_4} = 1; x_{8_4} = 1.$$

Для формализованной постановки задачи экспертами управляющего центра:

1. выделены два противоречивых показателя:
 - $\Psi_{1'}$ – скорость передачи при информационном обмене, детально рассмотренная для децентрализованного (2.5) и централизованного (2.6) обмена;
 - $\Psi_{2'}$ – объем передаваемой информации, детально рассмотренный для децентрализованного (2.7) и централизованного (2.8) обмена;
2. заданы фиксированные граничные требования:
 - $\Psi_{3'} \leq 10$ для затрат на обработку одной единицы информационного обмена;
 - $\Psi_{4'} \geq 97$ для отказоустойчивости информационного обмена;

В соответствии с оптимизационной моделью (2.22) и требованиями экспертов управляющего центра имеем следующую задачу оптимизации выбора гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств при управлении логистическим процессом в организационной системе:

$$\begin{aligned}
 \Psi_1(x_{1_1}, x_{2_1}, x_{3_2}, x_{4_2}, x_{5_3}, x_{6_3}, x_{7_4}, x_{8_4}) &\rightarrow \max, \\
 \Psi_2(x_{1_1}, x_{2_1}, x_{3_2}, x_{4_2}, x_{5_3}, x_{6_3}, x_{7_4}, x_{8_4}) &\rightarrow \min, \\
 \Psi_{3'} &\leq 9, \\
 \Psi_{4'} &\geq 99, \\
 \sum_{m=1}^4 x_{im} &= 1, i = \overline{1,8}, \\
 x_{im} &= \begin{cases} 1, & i = \overline{1,8}, m = \overline{1,4}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Для решения оптимизационной задачи (4.7) используется разработанный программный комплекс. Результаты решения представляют собой значения ключевых показателей эффективности, которые сравниваются с показателями мониторинга $\Psi_j^p, j = \overline{1,4}; \Psi_{j'}^p, j' = \overline{1,4}$ в рамках 3 этапа.

В таблице 4.5 представлены текущие значения схемы децентрализованного управления и расчетные значения показателей для централизованной и для кластерной схемы управления логистическим процессом.

Таблица 4.5. Значения показателей эффективности.

Показатель	Текущее	Централизованное	Кластерное
$\Psi_{1'}$	142	64	110
$\Psi_{2'}$	114	114	114
$\Psi_{3'}$	10	10	10
$\Psi_{4'}$	97,26	98,91	97,34
Ψ_1	220	99	152
Ψ_2	231	231	231
Ψ_3	15	15	15
Ψ_4	97,21	98,73	97,32

При принятии решения о необходимости модернизации системы или продолжении эксплуатации текущего решения эксперты управляющего центра оценивают как полученные результаты применения программных средств оптимизации, так и рассмотренные схемы взаимодействия в целом с учетом объема капитальных вложений и сокращения сопровождающих издержек. Так, например, при рассмотрении централизованного или кластерного варианта цифрового управления значительно сокращаются общие трудозатраты, даже с учетом того, что показатели Ψ_4 и Ψ_4 на обработку единицы остаются неизменными, за счет общего сокращения количества операций децентрализованного управления. При этом, дополнительно учитывается объем информационного обмена Ψ_2 , с управляющим центром ERP, который уменьшается за счет перераспределения объемов на объекты логистической системы.

Таким образом, по рассмотренным вариантам цифрового управления логистическим процессом в организационной системе ООО «Пивоваренной компании «Балтика» по ключевым показателям как информационного обмена $\Psi_1 \div \Psi_4$, так и материального потока $\Psi_1 \div \Psi_4$ экспертами управляющего центра было принято решение о модернизации текущей реализации с переходом на централизованную схему управления, т.к. именно она по результатам применения программных средств оптимизации и экспертной информации в краткосрочной перспективе предоставляет вариант наибольшего повышение эффективности работы организации.

Выводы четвертой главы

1. С целью практического применения разработанных моделей и алгоритмов оптимизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе целесообразно с использованием модульного принципа разработать программные средства, обеспечивающие оптимизацию выбора фиксированного варианта структуры цифрового управления, бикритериальную оптимизацию в случае варьiruемой кластерной структуры без учета и с учетом граничных требований. При этом в итерационную схему адаптивного поиска интегрируются исходные данные для проведения имитационного моделирования преобразования материальных и информационных потоков.

2. Возможность перехода к эксплуатации оптимального структурного решения достигается его трансформацией в компоненты информационного обмена XML-документами между цифровыми платформами управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в цифровизированном логистическом процессе.

3. Для принятия экспертами управляющего центра в практике функционирования организационной системы решения о необходимости модернизации эксплуатируемого цифровизированного логистического процесса приемлемой является последовательность действий в рамках трех этапов: мониторинга его реальной эксплуатации; модельной оптимизации с использованием результатов мониторинга; сравнения результативности по данным мониторинга и модельной эксплуатации. В рамках схемы (рис. 4.3) принятия управленческого решения обеспечивается полноценное использование разработанных средств многовариантного моделирования и оптимизации во взаимодействии с экспертами управляющего центра организационной системы и обратной связью на основе данных мониторинга цифровизированного логистического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивность цифровизации бизнес-процессов в организационных системах выдвигает инновационные проблемы в повышении эффективности управления ими. Эти проблемы в полной мере касаются и цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Одной из научных задач теоретического и прикладного плана является оптимизация принятия решений при выборе структуры взаимодействия цифровых средств управляющего центра и объектов организационной системы, участвующих в логистическом процессе. Принятие определенного структурного решения требует развития методов многовариантного выбора с ориентацией на необходимость учета показателей эффективности, характеризующих как перемещение материальных потоков, так и информационный обмен между цифровыми платформами.

Решению охарактеризованной научной задачи в области управления в организационных системах способствует разработанный в диссертации комплекс моделей, алгоритмов и программных средств. Он направлен на принятие решений при различных ситуациях многовариантного моделирования и оптимизации, определенных рядом условий управляющего центра:

- фиксация определенных вариантов структуры взаимодействия цифровых средств при реализации цифровизированного логистического процесса;
- варьирование связями между цифровыми платформами в случае трехуровневой кластерной структуры;
- ориентация на компромиссное решение с учетом формализации всех показателей эффективности в критериальной форме либо выделение ключевых показателей и обеспечение сочетания экстремальных и граничных требований.

Исходя из приведенных характеристик научной задачи оптимизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе 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 вопросно-ответного диалога 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, значений 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 ООО «Пивоваренная компания «Балтика» на 9 территориально распределенных организационных объектах под управлением локальной WMS и централизованной ERP.

Предлагаемый подход позволяет в случае модернизации эксплуатируемой системы цифрового управления прогнозировать улучшение следующих показателей:

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.

Предлагаемый вариант модернизации цифрового управления логистическим процессом в организационной системе с частичной централизацией информационного обмена позволил повысить общую эффективность использования логистических систем благодаря вышеприведенным показателям, что в результате выражается не только в качественном представлении, но и экономии административных и материальных ресурсов в среднесрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация складского учета: современный подход к управлению бизнесом. Бизнес-библиотека [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bizeducation.ru/library/log/wrhs/6/auto.htm/>
2. Аникин, Б. А. Коммерческая логистика / Б. А. Аникин, А. П. Тяпухин. – М.: Проспект, 2015. – 432 с.
3. Афанасенко, И.Д. Цифровая логистика. / И.Д. Афанасенко, В.В. Борисова. – Санкт-Петербург: Питер, 2019. – 272 с.
4. Батищев, Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Батищев, Д.И. Оптимизация в САПР / Д.И. Батищев, Я.Е. Львович, В.Н. Фролов. – М.: Высшая школа, 1977. – 416 с.
6. Батищев, Д.И. Принятие оптимальных решений в экономических задачах / Д.И. Батищев. – Горький: Изд-во ГГУ, 1982 – 108 с.
7. Белецкая, С.Ю. Алгоритмизация слабоформализованных задач оптимального выбора на основе адаптивного подхода / С.Ю. Белецкая; Науч. ред. Я.Е. Львович. – Воронеж: ВГТУ, 2003. – 148 с.
8. Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1977. – 263 с.
9. 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. – С. 46-49.
10. Борзова, А.С. Бикритериальная оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха, А.П. Преображенский //

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022612768.

11. 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.

12. Борзова, А.С. 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 // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022612770.

13. 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.

14. Борзова, А.С. Оптимизация выбора фиксированного варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха, А.П. Преображенский // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022612767.

15. 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.

16. 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). Сборник научных статей по материалам XVIII Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2021. – С. 51-55.

17. Бурков, В.Н. Как управлять проектами / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1997. – 188 с.

18. Бурков, В.Н. Механизмы управления в сетевых структурах / В.Н. Бурков, Н.А. Кузнецов, Д.А. Новиков // Автоматика и Телемеханика. – 2002. – №12. – С. 96-115.

19. Бурков, В.Н. Механизмы функционирования организационных систем / В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1991. – 383 с.

20. Бурков, В.Н. Модель согласования интересов в задаче управления проектами / В.Н. Бурков, С.А. Баркалов // Математическое моделирование информационных и технологических систем. – Воронеж, Воронеж. гос. технол. акад. – 2003. – №6. – С. 58-60.

21. Бурков, В.Н. Основы математической теории активных систем / В.Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 225 с.

22. Вазан М. Стохастическая аппроксимация: Пер. с англ / М. Вазан. – М.: Мир, 1972. – 296 с.

23. Вайл П. Цифровая трансформация бизнеса / П. Вайл, С. Ворнер. – М.: Альпино Паблишер, 2010. – 257 с.

24. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 564 с.

25. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных. Новая версия / Н. Вирт, – М.: ДМК Пресс, 2010. – 340 с.

26. Вольский, В.И. Голосование в малых группах / В.И. Вольский, З.М. Лезина. – М.: Наука, 1991. – 191 с.

27. Гапоненко, Т.В. Управленческие решения / Т.В. Гапоненко. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 284 с.

28. Гелисханов, И.З. Цифровые платформы в практике: сущность, модели, тенденции развития / И.З. Гелисханов, Т.Н. Юдина, А.В. Бабкина // Научно-технические ведомости СПбГПУ: Экономические науки. – 2018. – №6. – С. 22-26.
29. Голубков, Е.П. Технология принятия управленческих решений / Е.П. Голубков. – М.: Дело и сервис, 2005. – 543 с.
30. Грекул, В.И. Проектирование информационных систем / В.И. Грекул, Г.Н. Денищенко, Н.Л. Коровкина. – М.:Интернет-университет информационных технологий, 2015. – 304 с.
31. Гретченко, А.И. Цифровая платформа – новая бизнес-модель в экономике / А.И. Гретченко, И.В. Горохова // Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2019. – №1(103). – с. 62-72.
32. Дыбская, В.В. Логистика для практиков. Эффективные решения в складировании и грузопереработке / В.В. Дыбская. – М.: ВИНТИ РАН, 2002. – 264 с.
33. Еловой, И.А., Лебедева И.А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: (теория, методология, организация) / И.А. Еловой, И.А. Лебедева, – Минск: Право и экономика, 2011. – 460 с.
34. Залманова, М.Е. Производственно-коммерческая логистика: Учеб. пособие по курсу «Логистика» / М.Е. Залманова, О.А. Новиков, А.И. Семененко, – М.: СГТУ-Саратов, 2009. – 74 с.
35. Ильина, Т.А. Цифровизация логистических процессов российских предприятий на основе внедрения технологии RFID / Т.А. Ильина, Д.Н. Кирина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2020. – №4. – С. 36-45.
36. Информационные системы и технологии / Под ред. Тельнова Ю.Ф. – М.: Юнити, 2017. – 544 с.
37. Каплан, Р.С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р.С. Каплан, Д.П. Нортон. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 304 с.

38. Каталевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учеб. пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Ю. Каталевский. – М.: ИД «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.
39. Козырев, А.Н. Цифровая экономика и цифровизация в исторической ретроспективе // Цифровая экономика. – 2008. № 1 (1). – с. 5-19.
40. Корбут, А.А. Дискретное программирование / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
41. Кофанов, Ю.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности радиоэлектронных средств / Ю.Н. Кофанов. – М.: Радио и связь, 1991. – 360 с.
42. Кочегурова, Е. А. Теория и методы оптимизации: учеб. пособие для вузов / Е. А. Кочегурова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 157 с.
43. Куликов, В.И. Оценка централизации/децентрализации управления предприятием. / В.И. Куликов, – М.: Российское предпринимательство, 2012. – 62 с.
44. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 284 с.
45. Логунова, И.В. Модель логистической системы предприятия в условиях цифровой экономики / И.В. Логунова, Д.В. Трощенко // Эконом инфо. – 2019. – Т16, N2-3. – С. 81-86.
46. Львович, И.Я. Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения: монография. / И.Я. Львович, Я.Е. Львович, В.Н. Фролов. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2016. – 444 с.
47. Львович, Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Я.Е. Львович. – Воронеж: Издательский дом «Кварта», 2006. – 428 с.
48. 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). Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Москва, 2021. – С. 76-88.

49. Львович, Я.Е. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде: монография / Я.Е. Львович, И.Я. Львович. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2010. – 140 с.

50. Масленников, В.В. Формирование системы цифрового управления организацией / В.В. Масленников, В.В. Ляндау, И.А. Калинина // Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2019. – №6. – С. 116-123.

51. Мишин, В.М. Исследование систем управления: Учеб. для вузов по специальности «Менеджмент организации» / В.М. Мишин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 527 с.

52. Монолит Инфо [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.monolit.com/>

53. Мрочковский, Н.С. Основные тенденции цифровой трансформации бизнеса / Н.С. Мрочковский, Ю.В. Ляндау, И.С. Пушкин, Е.А. Кривоногов // Экономика и предпринимательство. – 2019. – N4 (105). – с.89-91.

54. Муртазина, Э.И. Logistics and Supply Chain Management / Э.И. Муртазина, Э. З. Фахрутдинова. – М.: КНИТУ, 2013. – 168 с.

55. 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. Труды Международной молодежной научной школы. – Воронеж, 2021. – С. 24-27.

56. Муха, В.В. Интеллектуализация принятия решений при переходе к цифровому управлению логистическим процессом в организационной системе / В.В. Муха // Интеллектуальные информационные системы. Труды Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2022. – С. 49-52.

57. Муха, В.В. Оптимизационное моделирование выбора структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе / В.В. Муха // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах. Труды Международной молодежной научной школы. – Воронеж, 2021. – С. 61-65.
58. 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.
59. Муха, В.В. Оценка эффективности частичной централизации обмена данными в распределенной WMS / В.В. Муха, Я.Е. Львович // Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж, – 2020. – С. 163-165.
60. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/nad/4-5.html>
61. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор. – М.: Мир, 1975. – 500 с.
62. Новиков, Д.А. Модели функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А. Новиков. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 155 с.
63. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
64. Новосельцев, В.И. Системный анализ: современные концепции / В.И. Новосельцев. – Воронеж: Издательский дом «Кварта», 2003. – 360 с.
65. Оптимизация цифрового управления в организационных системах. Коллективная монография / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, О.Н. Чопоров [и др.]; под общей редакцией Я.Е. Львовича. – Воронеж: ИПЦ «Научна книга», 2021. – 191 с.
66. Подвальный, С.Л. Интеллектуальные системы моделирования: принципы разработки / С. Л. Подвальный, Т. М. Леденева // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – Т.51. – № 1. – С. 4-10.

67. Подвальный, С.Л. Проблемы разработки интеллектуальных систем многоальтернативного моделирования / С.Л. Подвальный, Т.М. Леденева, А.Д. Поваляев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – №9. – С. 19-23.
68. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
69. 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. Труды V Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Симферополь – Алушта, 2022. – С. 74-79.
70. Роджерс Д. Цифровая трансформация: практическое пособие / Д. Роджерс. – М.: Издательская группа «Точка», 2017. – 329 с.
71. Рыков, А.С. Методы системного анализа: Оптимизация / А.С. Рыков. – М.: Экономика, 1999. – 608 с.
72. Сердюкова, Л.О. Формирование инновационной транспортно-логистической системы на цифровой платформе / Л.О. Сердюкова, Р.Р. Баширадзе, А.В. Пахомов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2020. – N2. – С. 64-78.
73. Скиен С. Алгоритмы. Руководство по разработке, 2-е издание / С. Скиен, – М.: БХВ-Петербург, 2011. – 311 с.
74. Снапелев, Ю.М. Моделирование и управление в сложных системах / Ю.М. Снапелев, В.А. Старосельский. – М.: Сов. радио, 1974. – 264 с.
75. Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло / И.М. Соболев. – М.: Наука, 1973. – 312 с.

76. Сравнительный анализ функциональных возможностей WMS и ERP [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.quantum-int.com/ru/bibliotek/87-biblioteka/208-erp-wms-sravnenie>
77. Толковый словарь по информационному обществу и новой экономике. [Электронный ресурс] – М. 2007. – Режим доступа: https://information_society.academic.ru/
78. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
79. Федоров, Л. С. Общий курс логистики: учеб. пособие / Л. С. Федоров, М. В. Кравченко. – М.: Кнорус, 2010. – 224 с.
80. Филинов, Е.Н. История автоматизированных систем управления предприятиями. / Е.Н. Филинов, – М.: Финансы, 2012. – 110 с.
81. Фирсов, А.Н. Использование Байесовских сетей для оценки надежности асинхронных распределенных систем, устойчивых к произвольным отказам / А.Н. Фирсов // Прикладная информатика. – 2013. – №6 – С. 102 – 110.
82. Формирование цифровой экономики в промышленности: новые вызовы / под ред. А.В. Бабкина, – СПб: Издательство Политехнического университета, 2018. – 660 с.
83. Царев, Р.Ю. Модель анализа надежности распределенных вычислительных систем. / Р.Ю. Царев, А.Н. Пупков // Вестник СибГАУ. – 2013. – №1 – С. 81 – 87.
84. Цвиркун, А.Д. Структура сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М.: Сов. радио, 1975. – 200 с.
85. Шеер, А.В. Моделирование бизнес-процессов / А.В. Шеер. – М.: Весть-МетаТехнология, 2010. – 224 с.
86. Шеффер Э. Индустрия Х.О. Преимущества цифровых технологий для производства / Э. Шеффер: пер. с англ. – М.: Издательская группа «Точка», 2019. – 320 с.
87. Эдди С. XML. Справочник / С. Эдди. – М.: Питер, 2010. – 385 с.

88. Эддоус М. Методы принятия решений: Пер. с англ. / М. Эддоус, Р. Стэнсфилд. – М.: Аудит, 1997. – 590 с.
89. Юдин, Д.Б. Экстремальные модели в экономике / Д.Б. Юдин, А.Д. Юдин. – М.: Экономика, 1979. – 288 с.
90. Amit S. Digital Supply Networks: Transform Your Supply Chain and Gain Competitive Advantage with Disruptive Technology and Reimagined Processes / S. Amit, R. Calderon, T. Wuest. – McGraw-Hill Education, 2020. – 321 p.
91. Borzova, A.S. Optimization of digital management process in organizational system with multivariate modeling technologies / A.S. Borzova, Ya.E. Lvovich, V.V. Muha, A.P. Preobrazhenskiy // III International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems». – 2022.
92. Christopher M. Logistics and supply chain management / M. Christopher. – М.: Dorset, Financial Times Press, 2011. – 288 с.
93. Donald J.B. Logistical Management. The Integrated Supply Chain Process / J.B. Donald. – McGraw Hill, 2017. – 640 p.
94. Edward F. World-Class Warehousing and Material Handling 1st Edition / F. Edward. – McGraw-Hill Education, 2001. – 256 p.
95. Eichfelder G. Adaptive scalarization methods in multiobjective optimization / G. Eichfelder. – Springer, 2008. – 241 p.
96. Götz G. Wehberg. Digital Supply Chains: Key Facilitator to Industry 4.0 and New Business Models, Leveraging S/4 HANA and Beyond 3 rd Edition / Wehberg G. Götz. – Routledge, 2021. – 199 p.
97. Hugos M. Essentials of Supply Chain Management / M. Hugos, J. Wiley. – Hoboken, New Jersey, 2011. – 332 p.
98. 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 Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2019. – С. 480-483.

99. Obal Filip. Warehouse & Logistics Software Directory, WMS / Filip Obal. – Industrial Data & Information, 2002. – 224 с.
100. Robert C. International Logistics Management / C. Robert. – Authorhouse, 2016. – 412 p.
101. Rushton Alan. The Handbook of Logistics and Distribution Management / Alan Rushton, Phil Croucher. – Kogan Page, 2006. – 720 с.
102. Software for your logistics [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.warehouse-logistics.com/en/home.html>
103. Solvo [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.solvo.ru/>
104. Warehousing and Inventory Management [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dlca.logcluster.org/display/LOG/Warehousing+and+Inventory+Management>

ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВА О РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Оптимизация выбора фиксированного варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022612767

**Оптимизация выбора фиксированного варианта
структуры цифрового управления логистическим
процессом в организационной системе**

Правообладатель: *Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (RU)*

Авторы: *Борзова Анжела Сергеевна (RU), Львович Яков Евсеевич (RU), Муха Владимир Владимирович (RU), Преображенский Андрей Петрович (RU)*

Заявка № **2022611623**
Дата поступления **09 февраля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **28 февраля 2022 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ПОДПИСЬ РУКОВОДИТЕЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Подпись: Ю.С. Зубов

Ю.С. Зубов

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Бикритериальная оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2022612768

**Бикритериальная оптимизация выбора варианта
структуры цифрового управления логистическим
процессом в организационной системе**

Правообладатель: *Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (RU)*

Авторы: *Борзова Анжела Сергеевна (RU), Львович Яков Евсеевич (RU), Муха Владимир Владимирович (RU), Преображенский Андрей Петрович (RU)*

Заявка № **2022611597**
Дата поступления **09 февраля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **28 февраля 2022 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Подпись: Ю.С. Зубов
Ю.С. Зубов

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Оптимизация выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе с учетом экстремальных и граничных требований»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022612770

**Оптимизация выбора варианта структуры цифрового
управления логистическим процессом в
организационной системе с учетом экстремальных и
граничных требований**

Правообладатель: *Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (RU)*

Авторы: *Борзова Анжела Сергеевна (RU), Львович Яков Евсеевич (RU), Муха Владимир Владимирович (RU), Преображенский Андрей Петрович (RU)*

Заявка № **2022611602**

Дата поступления **09 февраля 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **28 февраля 2022 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Ю.С. Зубов**

Внесено в Единый государственный реестр программ для ЭВМ
Сведения об объектах интеллектуальной собственности
внесены в Единый государственный реестр программ для ЭВМ
Дата вступления в силу: 28.02.2022

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Акт внедрения результатов диссертационного исследования в учебный процесс ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора по учебной работе
ФГБОУ ВО «ВГТУ»

А.И. Колосов

2022 г.

АКТ

**внедрения результатов кандидатской диссертации в учебный процесс
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»**

Тема диссертации: «Оптимизация цифрового управления логистическим процессом в организационной системе на основе многовариантного моделирования структурных решений»

Автор: Муха Владимир Владимирович

Научный руководитель: Львович Яков Евсеевич

Выполненной в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» на кафедре систем автоматизированного проектирования и информационных систем в рамках основного научного направления «Интеллектуальные информационные системы» по г/б (х/д) НИР 16.19 AAAA-A16-116031710013-4

В период с 01.09.2021 г. по н.в. внедрены в учебный процесс кафедры по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии» на основании решения кафедры САПРИС от «31» августа 2021 г., протокол № 1.

1. Вид результатов, внедренных в учебный процесс: совокупность знаний и представлений по теме диссертационного исследования.

2. Область применения: 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.

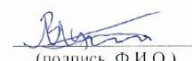
3. Форма внедрения: описание разработанных в диссертационном исследовании методов и алгоритмов оптимизации процесса цифрового управления логистическими процессами в организационных системах, комплекса разработанных моделей; материалы лекционных и лабораторных курсов.

4. Эффект от внедрения: повышение качества образования: применение новых технологий в области моделирования и оптимизации организационных систем, а также методик, позволяющих повысить эффективность управления логистическими процессами в рамках организационных системах.

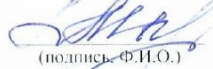
Научный руководитель диссертанта

 Львович Я.Е.
(подпись, Ф.И.О.)
« 05 » 05 2022 г.

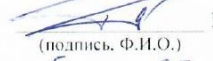
Диссертант

 Муха В.В.
(подпись, Ф.И.О.)
« 05 » 05 2022 г.

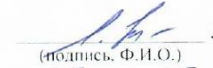
Начальник УМУ ФГБОУ ВО «ВГТУ»

 Мышовская Л.П.
(подпись, Ф.И.О.)
« 6 » мая 2022 г.

Декан ФИТКБ

 Гусев П.О.
(подпись, Ф.И.О.)
« 5 » 05 2022 г.

Зав. кафедрой САПРИС

 Львович Я.Е.
(подпись, Ф.И.О.)
« 05 » 05 2022 г.

Акт внедрения результатов диссертационного исследования в производственную деятельность ООО «Пивоваренная компания «Балтика»

СОГЛАСОВАНО

И.о. первого проректора проректора
по науке
ФГБОУ ВО ВГТУ

«16» _____ И.И. Дроздов



УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела складской логистики дивизиона Москва-Центр
ООО «Пивоваренная компания «Балтика»

«15» _____ А.Н. Вахромеев
2022 г.



А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы
в производство

Мы, представители ООО «ПК «Балтика»

(наименование предприятия)

настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы

Муха Владимира Владимировича «Оптимизация цифрового управления

(Ф.И.О.)

(наименование работы)

логистическим процессом в организационной системе на основе многовариантного моделирования структурных решений», выполненной в Воронежском государственном техническом университете, в рамках основного научного направления «Интеллектуальные информационные системы» по г/б (х/д) НИР 16.19. АААА-А16-116031710013-4

(№ темы, № госрегистрации)

в период с 14.03.2022 по н.в. внедрены в информационную систему управления складом

(цех, отдел и т. д., дата внедрения)

1. Вид внедрения результатов методика, технологии

(комплекс, машина, система, прибор, инструмент, технология,

методика, зарегистрированные программы для ЭВМ, базы данных, и т.д.)

2. Область и форма внедрения производственный логистический процесс

(производственный процесс – серийное, уникальное или единичное

производство; проектные разработки; научные исследования и т.п.)

3. Технический уровень НИР свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022612767 от 28.02.2022, № 2022612768 от 28.02.2022, № 2022612770 от 28.02.2022, результаты разработки отмечены дипломами научных конкурсов

(поданы заявки на объекты промышленной собственности, получены положительные решения, патенты России, дипломы, медали и др. их № и дата)

4. Публикации по материалам НИР по результатам диссертационного исследования опубликовано 16 печатных работ, 4 из которых в журналах перечня ВАК РФ; 1 публикация в издании, индексируемом в базе данных Scopus, имеется 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

(количество, где опубликованы)

5. Эффект от внедрения (ожидаемый, фактический)

а) улучшение экономических и хозяйственных показателей работы организации, выраженный в повышении общей эффективности функционирования системы управления складами; повышение надежности цифрового обмена данными в распределенной информационной системе ERP-WMS; сокращение трудозатрат на администрирование информационного обмена данными.

(улучшение условий труда, оздоровление окружающей среды и др.)

От Воронежского государственного
технического университета:

Управление науки и инноваций

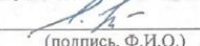
 Сергеев А.В.
(подпись, Ф.И.О.)

« 16 » 03 2022 г.

От ООО «Пивоваренная компа-
ния «Балтика»:

 (подпись, Ф.И.О.)
« 15 » 03 2022 г.

Руководитель темы

 Львович Я.Е.
(подпись, Ф.И.О.)

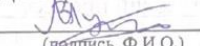
« 15 » 03 2022 г.

Научный руководитель диссертанта

 Львович Я.Е.
(подпись, Ф.И.О.)

« 15 » 03 2022 г.

Диссертант

 Муха В.В.
(подпись, Ф.И.О.)

« 15 » 03 2022 г.