

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт математики, физики и информационных технологий  
(наименование института полностью)

Кафедра Прикладная математика и информатика  
(наименование)

09.04.03 Прикладная информатика  
(код и наименование направления подготовки)

Управление корпоративными информационными процессами  
(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка методов и моделей оптимизации действий в сфере складской логистики

Обучающийся

П.Н. Орлова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

канд. тех. наук, доцент, О.В. Аникина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Содержание

Содержание .....	2
Введение.....	4
1 Анализ общего состояния проблемы обеспечения оптимизации деятельности в сфере складской логистики .....	9
1.1 Основные понятия и определения сферы складской логистики.....	9
1.2 Анализ проблем оптимизации складских бизнес-процессов .....	16
1.3 Анализ современных систем управления складскими бизнес-процессами .....	21
2 Анализ основных бизнес-процессов на складе и формулирование требований к новому функциональному модулю .....	26
2.1 Анализ бизнес-процесса приёмки товаров с использованием рассматриваемых систем.....	26
2.2 Анализ бизнес-процесса размещения товаров с использованием рассматриваемых систем.....	28
2.3 Анализ бизнес-процесса перемещения товаров с использованием рассматриваемых систем.....	30
2.4 Анализ бизнес-процесса комплектации заказов с использованием рассматриваемых систем.....	32
2.5 Результаты анализа функциональности рассматриваемых систем и требования к новому модулю .....	35
3 Исследование основных принципов облачной архитектуры и проектирование модели программного решения, оптимизирующего бизнес-процессы складского производства.....	38
3.1 Облачные вычисления в сравнении с локальными .....	39
3.2 Основные принципы архитектуры облачных приложений.....	40
3.3 Основные модели обслуживания облачных вычислений.....	43
3.4 Проектирование модели программного решения.....	44
3.4.1 Описание компоненты «Исходная система и БД» .....	46

3.4.2 Описание компоненты «Облачный модуль» .....	46
3.4.3 Описание компоненты «Интеграционный модуль».....	53
3.5 Проектирование API программного решения.....	62
3.6 Выбор стратегии миграции данных в облачную среду.....	70
4 Реализация модели программного решения и анализ результатов её применения .....	73
4.1 Реализация компоненты «Облачный модуль» .....	75
4.2 Реализация компоненты «Интеграционный модуль» .....	78
4.3 Анализ результатов применения реализации спроектированной модели .....	80
4.3.1 Сравнение результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса приёма и размещения .....	81
4.3.2 Сравнение результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса сборки заказов .....	86
4.3.3 Сравнение результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса инвентаризации .....	90
Заключение .....	92
Список используемой литературы и используемых источников.....	94

## Введение

Склад – некоторое здание или группа зданий, выполняющих функции приёмки, размещения, хранения грузов, а также функции отбора и комплектации товаров в соответствии с поступающими заявками на отгрузку [24].

Согласно научной литературе, авторы [11, 21, 24] в своих работах выделяют основными логистическими процессами приёмку грузов, как качественную, так и количественную, размещение грузов в соответствующих товарам ячейках хранения, перемещение грузов между складскими ячейками хранения, а также отбор товаров и комплектация заказов. Существуют также и другие процессы, но наиболее существенными, из которых составляется эффективность работы складского предприятия в целом, принято считать, согласно научным работам в этой области именно эти бизнес-процессы.

WMS-системы, или системы управления складом, предназначены для управления, оптимизации и автоматизации складских бизнес-процессов. WMS-системы принято разделять на пять классов:

- системы низшего уровня, или учётные системы;
- «коробочные» системы;
- конфигурируемые системы;
- адаптируемые системы;
- системы, разрабатываемые на заказ.

Каждый класс систем включает в себя определённый набор реализаций складских бизнес-процессов и алгоритмов их оптимизации. Поскольку на больших предприятиях в силу размера денежного оборота и финансовой обеспеченности открыт широкий выбор систем управления складом, в представленной магистерской диссертации они не будут рассматриваться. В исследовании в рамках представленной магистерской диссертации будут участвовать проблемы, с которыми могут столкнуться предприятия малого и среднего бизнеса при выборе систем управления складом. Для этого типа

предприятий предпочтительней использовать системы низшего уровня или «коробочные» системы, поскольку остальные классы систем содержат в себе излишнюю функциональность или покупка лицензии и затраты на внедрение программного обеспечения оказываются неоправданными [15]. Однако функционал этих классов систем зачастую не способен удовлетворить требования бизнеса к оптимизации складских процессов.

Решению обобщённых задач оптимизации логистики и вопросам оптимизации WMS-систем посвящены работы таких авторов, как Ивановой О. И. [13], Самуйловой В. М. [33], Жикина А. В. [12] и Калачиковой В. С., Хамраевой Р. Б. [15]. Но актуальность темы состоит в том, что пока не существует системы, предоставляющей абсолютное оптимальное решение в оптимизации действий складской логистики, что было подтверждено анализом научной литературы. После внедрения WMS-систем проявляются чрезмерные простои работы складского помещения и дальнейшей чрезмерной его загруженностью в связи с недостаточно оптимальным проведением действий [10].

Из всего выше сказанного цель работы можно сформулировать следующим образом: разработать модель программного модуля для расширения функционала «коробочных» систем и систем управления складом низшего уровня для повышения эффективности исполнения бизнес-процессов на предприятиях малого и среднего бизнеса.

Объектом исследования магистерской диссертации в этом случае будут выступать «коробочные» WMS-системы и системы управления складом низшего уровня.

Предметом исследования магистерской диссертации будут методы и способы оптимизации складских бизнес-процессов.

Гипотезу в рамках представленной магистерской диссертации можно сформулировать следующим образом: применение спроектированной модели программного модуля в составе с текущей используемой на предприятии малого или среднего бизнеса «коробочной» системы или системы управления

низшего уровня способно повысить эффективность исполнения складских бизнес-процессов на предприятии за счёт уменьшения времени выполнения основных время-затратных бизнес-процессов.

Для достижения поставленной цели в рамках представленной магистерской диссертации необходимо выполнить следующие задачи:

- ознакомиться с существующей научной литературой и исследованиями по схожей теме;
- проанализировать общее состояние проблемы обеспечения оптимизации складских бизнес-процессов;
- проанализировать современные системы управления складским производством, используемые на предприятиях малого и среднего бизнеса, и выявить их недостатки;
- сформулировать требования, которые необходимо будет учесть при проектировании модели нового программного модуля;
- спроектировать модель программного решения, оптимизирующую основные бизнес-процессы в складском производстве, с применением современных архитектурных решений, применимых к текущей задаче;
- разработать один из вариантов реализации спроектированной модели, оптимизирующей основные бизнес-процессы на складском производстве;
- провести анализ возможности применения спроектированной модели и степени обеспечения эффективности исполнения бизнес-процессов на основании экспериментов, проведённых с использованием разработанного ранее варианта реализации модели.

В процессе исследования, проводимого в рамках представленной магистерской диссертации, использовались такие методы исследования, как теоретические при анализе научной литературы по рассматриваемой теме, выявлению проблемы исследования и проектированию модели программного модуля, эмпирические при реализации спроектированной модели и сборе результатов экспериментов и статистические при проверке возможности

применения спроектированной модели посредством проверки выдвинутых статистических гипотез.

Новизна исследования состоит в предложении новой модели, способной расширить функционал «коробочных» систем или систем управления складом низшего уровня, пользующихся спросом у предприятий малого и среднего бизнеса, и повысить эффективность управления складским производством за счёт уменьшения времени выполнения основных складских бизнес-процессов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности практического применения его результатов как на предприятиях малого и среднего бизнеса, а именно применения модели программного модуля, расширяющего функционал текущей используемой системы и повышающего эффективность исполнения бизнес-процессов, так и в дальнейших исследованиях по схожим темам.

Исследование проводилось с 2020 по 2022 год и основными его этапами можно выделить следующие:

1 этап – формулирование темы исследования, изучение существующей научной литературы, определение проблемы, цели и задач исследования, формулирование гипотезы;

2 этап – анализ существующих систем управления складским производством, формулирование требований к новому модулю, выведенных на основании выявленных недостатков существующих систем, и которые необходимо было учесть при проектировании модели нового программного модуля;

3 этап – проектирование модели программного решения, оптимизирующего основные бизнес-процессы складского производства, с использованием современных архитектурных решений, в частности с применением идей облачной архитектуры и облачных вычислений;

4 этап – разработка одного из вариантов реализации спроектированной модели программного решения;

5 этап – анализ результатов применения разработанного варианта реализации спроектированной модели и формулирование выводов по проведённому исследованию.

На защиту выносятся:

1. Модель программного модуля, расширяющая функционал «коробочных» систем и систем управления складом низшего уровня и повышающая эффективность исполнения основных бизнес-процессов на предприятиях малого и среднего бизнеса за счёт уменьшения времени их исполнения;

2. Результаты апробации и оценки эффективности реализации спроектированной модели.

Объём и структура диссертации: диссертационное исследование состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы и источников. Работа изложена на 99 страницах, содержит 24 рисунка и 9 таблиц.

# **1 Анализ общего состояния проблемы обеспечения оптимизации деятельности в сфере складской логистики**

## **1.1 Основные понятия и определения сферы складской логистики**

В общем смысле складом принято называть некоторое помещение или группу помещений, строений, оснащённое техникой и всем необходимым для выполнения функций приёмки, размещения, хранения поступающих на него товаров или материальных ценностей, и функций отбора и комплектования заказов с отпусков всех необходимых товаров на следующие звенья логистической цепочки процессов [11, 21, 24]. Это могут быть как конечные потребители, так и следующие инстанции обработки какого-либо материала в конечный продукт.

Операции, проводимые на складе принято разделять на две группы – складские и экспедиционные.

Складские операции – это операции по обработке товаров. Эта группа операций также разделяется на две подгруппы – основные и дополнительные. К основным принято относить следующие операции:

- приёмка товаров, включающая в себя выгрузку товаров с транспортных средств, качественную и количественную проверку привезённого товара, сортировку товаров с проверкой количества свободных мест;

- хранение товаров, включающее действия по укладке и размещению товаров на складской площади с соблюдением правил хранения товаров в соответствии с их видом и типом;

- отпуск товаров, включающая комплектацию заказов, отбор соответствующих товаров, перемещение товаров внутри склада и их погрузку на транспортные средства.

К дополнительным операциям относятся все сопроводительные операции, проводимые с товаром в процессе выполнения основных операций. К ним относится упаковывание и распаковывание тар, фасовка и т.д.

Экспедиционные операции – операции по приёму и выдаче товаров транспортным компаниям, занимающимся перевозкой грузов, для доставки товаров в следующие звенья логистической цепочки.

Все действия, выполняемые на складе одинаковы вне зависимости от типа и назначения складского помещения [11]. В основные функции склада входит:

а) размещение на складских площадях и временное хранение материальных ценностей или товаров с соблюдением необходимых условий хранения;

б) преобразование материальных потоков:

1) входного – приём товаров и материальных ценностей от различных поставщиков;

2) выходного – отправка товаров и материальных ценностей конечным потребителям или в следующие звенья логистической цепочки;

3) внутреннего – перемещение товаров и материальных ценностей внутри складского предприятия или организации.

Преобразование происходит посредством расформирования одних партий с формированием и комплектацией новых грузовых единиц.

Выполнение всех основных операций, или, другими словами, бизнес-процессов, протекающих на складе, подчиняется определённым правилам и алгоритмам, подбираемых в зависимости от типа, размеров складских помещений и вида хранимого товара. Неправильный выбор оптимизационных алгоритмов на складе может привести к значительным временным и денежным затратам [21].

Непосредственно действия складской логистики направлены на управление запасами и организацию своевременной доставки товаров или материалов. К основным задачам складской логистики можно отнести:

- планирование расположения, количества новых и анализ эффективности использования имеющихся складских помещений;
- разработка логистических процессов, выполняемых внутри склада, и их оптимизация;
- выбор технического оснащения всей складской системы.

Основными функциями складской логистики является:

- хранение товаров или материалов, начиная с момента их поступления на склад, и, заканчивая моментом передачи их конечному потребителю или производителю с соблюдением условий хранения и временных промежутков хранения в соответствии с видом хранимых материальных ценностей;

– формирование больших партий товаров или материалов, состоящих из более мелких, с осуществлением доставки грузов нескольким разным заказчикам одновременно, вне зависимости от объёмов каждой из поставок.

Данный процесс имеет название унитизация;

- предоставление логистических услуг, таких как сортировка, маркировка, фасовка и комплектование;
- корректирование ассортимента в зависимости от клиентского спроса с целью поддержания уровня востребованности хранящегося на складе товара для достижения большей эффективности выполнения клиентских заказов.

Авторы Александрова Л. Ю. и Мунши А. Ю. [1] в своей работе определили складскую логистику как довольно сложную систему, внутри которой выполняются функции преобразования материальных потоков и своевременного выполнения заказов. Логистические процессы на складе также являются довольно сложными процессами, поскольку включают в себя действия по снабжению запасами, по контролю за поставками, по разгрузке и

приёмке грузов. Также в этот процесс включена внутри складская транспортировка товаров, контроль за их хранением, комплектацией и дальнейшую транспортировку. В своей работе они также представили в общем виде складские логистические операции, изображённые на рисунке 1 в формате схемы.



Рисунок 1 – Общая схема складских логистических операций

Как видим из рисунка, все процессы на складе начинаются с операции приёмки товаров или материалов, которая включает в себя действия по разгрузке, проверке количества и качества товаров или материалов, оформления соответствующей документации о приходе товаров и материалов и по подтверждению их приёма на склад. Далее начинается операция хранения. При переводе товаров или материалов в зону хранения должно быть предусмотрено их рациональное размещение и должны быть обеспечены все условия правильного их хранения. При поступлении заказа на товары или материалы на склад, вступает в работу следующая операция – комиссионирование, которая заключается в действиях по подготовке заказа, распаковке и отбору товара, комплектации клиентского заказа и подготовке

соответствующей документации. Заключительной частью процесса складской логистики считается операция по отгрузке товаров или материалов. Данная операция состоит из действий по упаковке товаров или материалов, подготовке соответствующей документации и передаче подготовленного груза к транспортировке. [14, 33, 34]

Как показал анализ научных работ, в складской логистике возникает достаточно большое количество проблем. Вопросам организации действий в её сфере посвящены работы Щербакова В. В., Дыбской В. В., Соколова Р. Г. и многих других, но в их работах уделено недостаточное внимание проблемам оптимизации действий складской логистики, вследствие чего данный вопрос остаётся актуальным.

Сам процесс оптимизации действий складской логистики заключается в создании системы управления товарными потоками, которая позволила бы согласовать действия посредством создания цепочек операций, происходящих на определённом складском предприятии. Авторы Приклад И. С., Самуйлов В. М. и Волгин В. В. в своих научных работах [9, 32, 33] особенно выделяют среди процессов оптимизации действий складской логистики метод однозначной идентификации расположения грузов на складе, который достигается путём применения адресного хранения. За счёт использования этого метода происходит значительное снижение времени, затрачиваемого на поиск хранимой единицы на складе для её дальнейшего перемещения внутри склада или комплектации заказа.

Внедрение современных технологий и инновационных решений призвано обеспечить большую эффективность функционирования складских предприятий за счёт автоматизации операций, проводимых на складе. С этой целью были созданы WMS-системы – системы управления складом, подразумевающие применение технологий автоматической идентификации хранимых на складе товаров и материалов с целью обеспечения описанного выше их адресного хранения, а также удалённого управления персоналом. За счёт применения такого рода систем значительно снижается влияние

человеческого фактора на процессы, протекающие внутри склада, и, как следствие, повышается скорость обработки всех операций [3, 26].

Использование WMS-систем на складском предприятии позволяет автоматизировать следующие процессы:

- ведение нормативно-справочной базы хранения номенклатуры товаров или материалов, их метрик и статусов;
- адресацию и идентификацию мест хранения товаров и материалов на складе, обычно применяются такие понятия, как паллет, контейнер, ячейка или зона;
- ведение номенклатуры товаров и материалов, однозначно их идентифицирующей, а также хранение их описаний;
- ведение учёта запасов, а именно размещение товаров и материалов внутри склада согласно поставленным целям;
- ведение приёмки и отгрузки товаров и материалов посредством обработки заказов, их редактирования и проведения процесса резервирования согласно расположению на складе;
- формирование отчётов о складской деятельности с возможностью последующей их печати.

Однако стоит отметить, что на сегодняшний день ещё не существует системы полностью способной заменить абсолютно все действия человека в процессе выполнения процессов складской логистики – участие человека пока всё так же необходимо, но в меньшем объёме по сравнению с ведением складского хозяйства без внедрения систем автоматизации [30].

В работе Фомкиной Е. С. были сформулированы следующие цели внедрения WMS-систем:

- поддержание активного режима управления складом;
- получение точной информации о местонахождении того или иного товара или материала на складе;

- увеличение скорости формирования заказов, комплектации товаров в заказ;
- автоматический контроль за сроком реализации товаров или материалов в случае его ограниченности;
- оптимизация использования складских площадей;
- повышение эффективности проведения процессов по обработке хранящихся на складе товаров или материалов.

Однако внедрение на складском предприятии WMS-системы не способствует снижению затрат на содержание складских помещений и на логистические процессы в целом. Внедрение системы позволяет повысить производительность склада без дополнительных затрат на его содержание, а следовательно, увеличить окупаемость содержания самого склада, повысив эффективность выполнения складских процессов [38]. И чем лучше данная система будет спроектирована, чем лучше будет проведён процесс оптимизации действий внутри склада, тем короче будет срок окупаемости данной системы, за счёт высокой эффективности данной системы. [10, 32]

В настоящее время существует несколько подходов к оптимизации процессов складской логистики, встраиваемых в WMS-системы. Один из них заключается в оптимизации цепочек поставок в целом с использованием мульти-подходного метода. Этот метод в свою очередь включает в себя аналитический и имитационный методы моделирования. Аналитический метод в данном случае применяется для моделирования цепочки поставок в целом, без представления общей картины бизнес-процессов, используется в основном для достижения быстрых результатов, но достаточно неточных в связи с учётом всех допущений и обобщений. Имитационный метод моделирования в данном случае берёт во внимание все детали каждого бизнес-процесса всех элементов цепочки поставок, изображая внутреннее представление каждого процесса и действия. Недостатком этого метода считается тот факт, что для достижения достаточной точности результатов, требуется смоделировать достаточно громоздкую модель, перенасыщенную

детальями. Поэтому, чтобы скомпенсировать недостатки каждого из методов моделирования – используют мульти-подходный метод [16].

Другой подход заключается в оптимизации процесса распределения товаров и материалов в складском помещении, и непосредственно для класса задач складской логистики решается задача оптимального размещения товаров и материалов в хранилище таким образом, чтобы сумма «свободных мест» в нём была минимальна [9, 10]. В данном случае решается задача минимизации с максимальным размером хранилища в качестве ограничения.

Также решению обобщённых задач оптимизации логистики и вопросам оптимизации WMS-систем посвящены работы Иванова О. И. [13] и Самуйлова В. М. [33] соответственно. Однако анализ источников показал, что пока не существует системы, предоставляющей абсолютное оптимальное решение в оптимизации действий складской логистики. После внедрения WMS-систем проявляются чрезмерные простои работы складского помещения и дальнейшей чрезмерной его загруженностью в связи с недостаточно оптимальным проведением действий [10].

## **1.2 Анализ проблем оптимизации складских бизнес-процессов**

Согласно анализу научной литературы в сфере организации бизнес-процессов на складе [8, 11, 24], авторы научных работ выделяют такие основные складские логистические процессы, как:

- количественная и качественная приёмка товаров или материальных ценностей;
- внутри складское перемещение товаров в целях оптимизации других складских процессов;
- размещение принятых товаров или материальных ценностей;
- хранение товаров или материальных ценностей;
- отбор товаров для заказов;
- комплектация заказов;

- отгрузка товаров, укомплектованных в заказы со склада.

Из всех представленных выше операций, авторы научных работ Щербаков В. В., Мерзляк А. В., Коскур-Оглы Е. О. и Видовский Л. А. [8, 42] отмечают процесс размещения принятых товаров наиболее значимым, поскольку неправильная методика выполнения действий по этому процессу может привести к значительным временным затратам на складском предприятии и даже к его простое.

Поскольку алгоритмы, используемые в коммерческих системах для размещения товаров закрыты в целях соблюдения коммерческой тайны, при выделении основных правил, по которым производится автоматическое размещение товаров применялся анализ открытых источников [40]-[47]. Согласно результатам этого анализа были выделены следующие основные правила распределения:

- размещение в свободные ячейки – размещение товара производится в любую свободную ячейку;
- размещение в фиксированные ячейки – размещение товара производится строго в выделенные для хранения этого товара ячейки;
- размещение по методу, основанному на правиле оборачиваемости номенклатуры, в соответствии с ABC-классификацией. Производится ABC-анализ товаров в целях закрепления определённой складской зоны под каждую выделенную группу товаров;
- размещение товаров к схожему или идентичному товару в уже занятые ячейки с контролем совместимости товаров по серии, сроку реализации и номеру партии;
- размещение товаров к любому товару в уже занятые ячейки в целях экономии места на складе по принципу выбора первой подходящей ячейки.

Согласно анализу научной литературы по складской логистике [21] наиболее часто можно встретить комбинацию использования метода ABC-анализа в сочетании с методом XYZ-анализа, что позволяет произвести классификацию по приносимому от товара доходу и по динамике запросов

этого товара на складе и получить на выходе 9 групп хранимых на складе номенклатур. Согласно полученным результатам, номенклатурам, попавшим в группы AX, AY и AZ требуется уделить особое внимание и разработать особые варианты управления, а к номенклатурам, попавшим в группу CX, CY и CZ допускается применить упрощённые методы планирования. В соответствии с этими результатами, номенклатуры групп AX, AY, AZ размещаются как можно ближе к местам отгрузки, в силу их высокого спроса и с целью сокращения времени, затрачиваемого на перемещение по складу, номенклатуры групп CX, CY, CZ размещаются в наиболее удалённые зоны склада, номенклатуры из остальных групп размещаются в средней удалённости от мест отгрузки.

Помимо больших затрат, вызванных неправильным размещением товаров, существует ещё критерии, несоблюдение которых приводит к большим временным затратам на складах. Анализ статистических данных складских предприятий [3, 8, 2, 15, 24] показал следующие результаты:

- около 52% от всего времени работы малого или среднего складского предприятия тратится на перемещения между местами отбора товара;
- в среднем, 20% уходит на вынужденный простой, вызванный ожиданием освобождения зоны комплектации одним комплектовщиком для другого;
- 18% занимает работа с документацией;
- 10% занимает отгрузка товаров из зон отборки.

Как видим из результатов анализа статистических данных, наиболее время-затратными являются операции по перемещению товаров между местами отбора и вынужденные простои, которые являются составной частью операции комплектации товаров в заказы. При этом в данном процессе ведущую роль занимает то, какой принцип отбора товаров используется на складе. Анализ существующих WMS-систем [40, 43]-[54] позволяет выделить основные принципы отбора товаров:

– метод FIFO (First In, First Out) – согласно этому методу товар отбирается по принципу «первый пришёл, первый вышел», и производится отборка по дате поступления товара на склад;

– метод LIFO (Last In, First Out) – согласно этому методу товар отбирается по принципу «последний пришёл, первый вышел», и в отгрузку попадёт тот товар, приход которого на склад был оформлен позже всего;

– метод FEFO (First Expired, First Out) – согласно этому методу отбор товаров производится в соответствии с их сроком реализации, и чем он меньше, тем быстрее товар попадёт в отгрузку;

– метод LEFO (Last Expired, First Out) – согласно этому методу отбор товаров производится также в соответствии с их сроком реализации, но товар с наибольшим сроком попадёт раньше других;

– отбор из фиксированных ячеек товаров в наличии – производится отбор из зафиксированных за определённым товаром ячеек, и если они пусты, то отбор завершается;

– отбор из фиксированных ячеек товаров, приход которых только ожидается или планируется – производится отбор из зафиксированных за определённым товаром ячеек, и если они пусты, то отбор не завершается, а переходит в состояние ожидания, поскольку предполагается пополнение этих ячеек в соответствии с планируемыми приходами;

– отбор товаров в соответствии с требуемым количеством – производится отбор товаров из ячеек, количество товара в которых наиболее близко к требуемому к отгрузке;

– метод максимизации свободного места на складе – производится отбор товаров из ячеек, содержащих минимальное количество требуемого к отгрузке товара, тем самым освобождая максимальное количество складских мест в процессе отгрузки товаров;

– метод минимизации перемещений – производится отбор товаров из ячеек, содержащих максимальное количество требуемого к отгрузке товара, тем самым сокращая количество перемещений по складу к грузовым ячейкам.

Выбор того или иного принципа или алгоритма отбора товаров для отгрузки, заложенного в операцию комплектации, напрямую зависит от типа складского помещения и вида хранимых товаров.

Также корректный выбор стратегии комплектации товаров на конкретном складском предприятии способен ускорить процесс комплектации в целом [8, 12, 48]. Рассмотрим наиболее широко используемые в настоящее время стратегии комплектации в существующих WMS-системах.

Дискретная комплектация (*discrete picking*) – процесс комплектации заказов, происходящий непрерывно, от начала и до конца, одним работником, ответственным за комплектацию. Комплектовщик не переходит к комплектованию следующего заказа, пока не закончит предыдущий. Достоинства данной стратегии в её простой реализации, в детальном подходе к комплектации (комплектовщик занимается только одним заказом и не отвлекается на другие). Недостатком стратегии являются большие временные затраты, поскольку комплектация имеет однопоточную структуру, что при больших объёмах заказов может стать критичным.

Комплектация партиями (*batch picking*) – одновременная комплектация нескольких заказов. Заказы формируются в группы по принципу схожести товаров. Тем самым сокращается количество перемещений комплектовщиков по складу, но увеличивается время сортировки товаров при комплектации заказов. Достоинством этой стратегии является сокращение временных затрат, недостатком – увеличение затрат на распределение товаров по заказам и низкая точность отбора, поскольку в комплектации одной партии заказов участвует несколько комплектовщиков.

Зоновая комплектация (*zone picking*) – стратегия комплектации, основанная на зонном разделении складского пространства и закреплении конкретной зоны за конкретным ответственным лицом или комплектовщиком.

Наполнение заказа происходит постепенно при перемещении из одной зоны в другую. Достоинства стратегии – упорядоченность комплектации заказов, чёткое разграничение зон ответственности, увеличение скорости отбора товаров, сокращение времени, затрачиваемого на перемещение по складской площади. Недостатки – вынужденный простой зон с мало востребованным товаром.

Волновая комплектация (wave picking) – стратегия комплектации, схожая с комплектацией по партиям, но в этом случае основным отличием является разбиение процесса комплектации заказов по отдельным «волнам», по отдельным характеристикам товаров. Достоинством являются ускорение процесса комплектации, избавление от простоев и сокращение временных затрат. Недостатки – товары на складе должны быть сгруппированы в соответствии с характеристиками, используемыми при комплектации.

На основании всего вышеизложенного, наиболее «узким» местом в реализации складских бизнес-процессов, являются такие процессы, как размещение принятых товаров, перемещение товаров внутри складских площадей между ячейками хранения и комплектация заказов.

### **1.3 Анализ современных систем управления складскими бизнес-процессами**

Современные WMS-системы заняли отдельную нишу на рынке программных продуктов и по набору функциональных возможностей их принято разделять на пять классов [3, 15, 21, 43]-[52]. Рассмотрим подробнее каждый из этих классов.

Системы так называемого низшего уровня – это системы, в которых документ играет более важную роль, а не сам процесс. Системы этого класса не выполняют оптимизацию складских процессов и управление персоналом, все процессы в этих системах проходят в виде документов, которые открываются, проводятся и закрываются. Эти системы выступают неким

промежуточным звеном между системами управления складами и учётными системами, поэтому они зачастую не предназначены для работы в режиме реального времени и не поддерживают использование радиоприёмников [18]. В качестве примера таких систем можно привести системы «1С 7.7: Торговля и склад» [43] и «1С 8: Управление торговлей».

«Коробочные» системы – системы с чётко определённым набором функций, слабо поддающимся настройке под то или иное складское предприятие, но в отличие от систем низшего уровня, уже позиционируются как полноценные системы управления складскими процессами. Системы этого типа уже оперируют не документами, а полноценными процессами, способны генерировать задачи складскому персоналу и в их состав внедрены некоторые оптимизационные алгоритмы процессов. Однако жёстко установленная последовательность выполнения процессов делает их тяжело адаптируемыми под различные складские предприятия. В качестве примера систем этого типа можно привести модули ERP-систем, заточенные под управление складскими процессами, как например, модуль системы «Ахарт», или же полноценные «коробочные» системы, такие как «EXceed 1000» и «RadioBeacon WMS» [46, 51].

Адаптируемые системы – системы, способные изменять бизнес-логику процессов без необходимости их программирования и изменения исходного кода программного продукта, что избавляет пользователей этого типа систем менять свои процессы на складе для возможности пользоваться данным типом систем. Системы этого типа как правило состоят из центрального модуля, отвечающего за реализацию и оптимизацию основного функционала системы, и дополнительных модулей, ответственных за реализацию специфичных для склада бизнес-процессов. В качестве примера такого типа систем можно привести системы «Solvo.WMS», «HighJump», «MARC Global» и другие [47, 54].

Конфигурируемые системы – все бизнес-процессы, реализованные в системах этого типа, основаны на «лучших практиках» ведения складских

операций. В системах этого типа представлено несколько вариантов ведения того или иного складского процесса, и если он совпадает с тем видом процесса, что действительно используется на складском предприятии, то использование этого типа систем будет достаточным для этого предприятия. Возможность формирования правил и ввод входных параметров обработки товаров позволяют значительно адаптировать и оптимизировать процессы системы под требования заказчика без изменения исходного кода программного продукта. Однако даже те варианты процессов, что заложены в системы этого типа, в некоторых случаях не способны удовлетворить особенности бизнес-процессов некоторых предприятий. В качестве примера систем этого класса можно привести системы «EXceed WMS 4000» и «Manhattan WMS» [45, 50].

Заказные системы – системы управления складскими процессами, которые создаются под заказ для отдельного складского предприятия или складского комплекса, который имеет сложную иерархию процессов. Главной целью таких систем является учесть все специфичные особенности предприятия или конкретной компании. Основными поставщиками этих систем выступают компании «RedPrairie» [52] и «Manhattan Associates».

В настоящее время всё большую популярность на промышленных предприятиях набирает использование ERP-систем, позволяющих автоматизировать промышленные процессы, а встроенный в неё складской модуль позволяет автоматизировать деятельность производственного класса.

ERP-система (Enterprise Resource Planning) – информационная система планирования ресурсов предприятия, применяемое на производстве в целях управления его бизнес-процессами, финансами, цепочками поставок, документацией и кадрами, объединяя всю деятельность предприятия в единое информационное пространство. При этом встроенный складской модуль ERP-системы позволяет обеспечить интеграцию бизнес-процессов склада с другими процессами, протекающими на предприятии. [18] Однако такие модули зачастую выполняют только учётные функции без применения оптимизации и автоматизации складских процессов, приближаясь к классу

низшего уровня систем управления складом. Эти модули решают такие основные задачи как:

- приёмка и регистрация;
- хранение;
- комплектация.

При этом в таких системах зачастую применяется ручной ввод информации, отсутствует возможность модификации складских бизнес-процессов, отсутствует оптимизация этих бизнес-процессов и в распоряжении пользователей достаточно узкий набор функциональных возможностей.

Таким образом, описанные недостатки не позволяют использовать складские модули ERP-систем на складских предприятиях без усовершенствования функциональных возможностей всей системы.

Стоимость лицензии и внедрения той или иной системы напрямую зависит от класса, к которому она относится и, соответственно, от функциональных возможностей, которые она способна выполнять, и от степени возможности адаптироваться и конфигурироваться под нужды конкретного производства. В результате анализа открытых источников [43]-[52] были выделены приблизительные диапазоны цен на лицензию программного продукта и затрат на его внедрение в зависимости от принадлежности системы тому или иному классу. Для наглядности данные были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Диапазоны цен на лицензию программного продукта и затрат на его внедрение в зависимости от класса системы

	Системы низшего уровня	«Коробочные» системы	Конфигурируемые системы	Адаптируемые системы	Заказные системы
Стоимость лицензии, тыс. \$	от 5 до 15	от 20 до 25	от 30 до 45	от 50 до 80	от 100 до 250
Стоимость внедрения, тыс. \$	от 20 до 35	от 40 до 180	от 100 до 250	от 200 до 400	от 300 до 500

Однако не во всех «коробочных» системах встроены модули, позволяющие оптимизировать такие важные и время-затратные при неправильной настройке процессы, как приёмка товаров, размещение товаров, подбор товаров для отгрузки, комплектация заказов, управление запасами, управление персоналом и другие. Гибкий функционал, способный учесть все нужды предприятия в этих процессах зачастую представлен в системах класса конфигурируемых, адаптируемых и заказных, но приобретение такого программного продукта на малых и средних складских предприятиях зачастую представляется достаточно затратным и не оправдывает расходы на его внедрение.

#### Выводы к разделу 1

Был проведён анализ научной литературы по теме исследования, в результате которого был выявлен тот факт, что проблемам оптимизации складских бизнес-процессов уделяется недостаточное внимание, и выявлено отсутствие системы, предоставляющей абсолютное оптимальное решение в оптимизации действий складской логистики. Были выделены наиболее значимые складские бизнес-процессы, неправильная реализация которых приводит к значительным временным затратам. Также был проведён анализ существующих систем управления складскими бизнес-процессами, рассмотрена их классификация в соответствии с набором функциональных возможностей, и были выделены те классы, что получили наибольшее применение на предприятиях малого и среднего бизнеса.

Далее перейдём к анализу основных бизнес-процессов на складе, формулированию недостатков систем, используемых на предприятиях малого и среднего бизнеса, и формулированию соответствующих требований, которые необходимо будет учесть при проектировании модели нового программного модуля, целью которого будет выступать

## **2 Анализ основных бизнес-процессов на складе и формулирование требований к новому функциональному модулю**

Перед тем как приступить к проектированию модели некоторого программного решения, реализация которого позволила бы расширить и оптимизировать функционал систем низшего уровня и «коробочных» систем, используемых на предприятиях малого и среднего бизнеса, необходимо провести анализ основных бизнес-процессов, проводимых на складе с использованием этих классов систем и выявить их недостатки, чтобы учесть их при проектировании нового модуля.

### **2.1 Анализ бизнес-процесса приёмки товаров с использованием рассматриваемых систем**

Приёмка товаров на склад – это процесс, начинающийся с момента прибытия транспорта с грузом к месту отгрузки товара на складе [24, 42]. В результате выполнения процесса сотрудник, ответственный за приёмку товаров, проверяет грузы по количеству и качеству и оформляет соответствующие документы приёма. Если товар не отвечает установленным качествам или количество принимаемого товара не соответствует документам приёма, то ответственное за приёмку лицо вносит исправления в соответствующие документы. Если проверка на качество и количество проходит успешно, то происходит заполнение паллеты принимаемым на склад товаров, её идентификация и внесение информации в систему. Далее паллета передаётся для размещения на склад. Если все товары приняты, и все документы оформлены, то сотрудник переводит эти документы в электронную форму и также заносит в систему. Иначе процедура повторяется до тех пор, пока весь товар не будет принят.

Весь бизнес-процесс приёмки товаров на склад можно представить в виде EPC-диаграммы [29], представленной на рисунке 2.

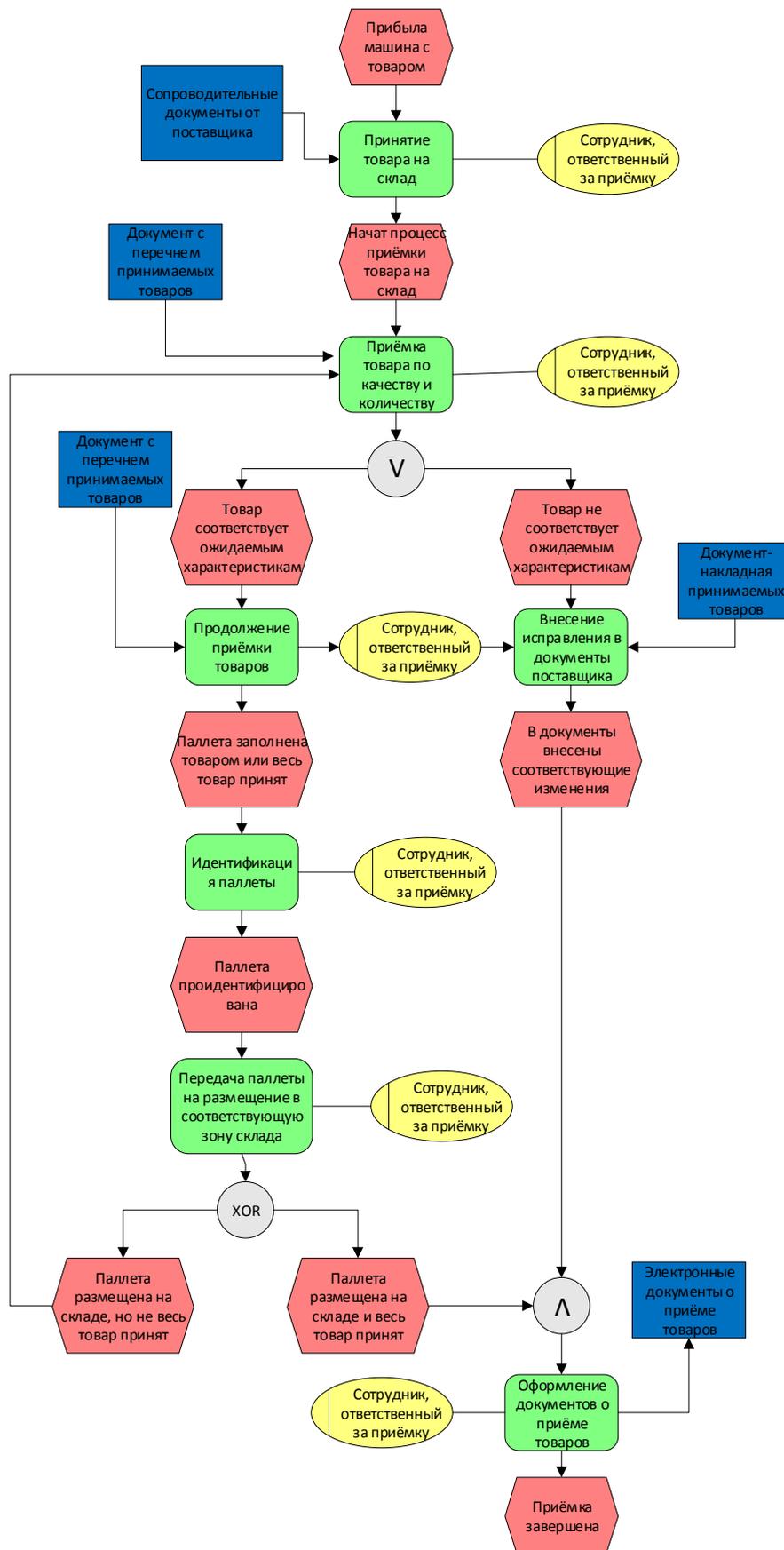


Рисунок 2 – EPC-диаграмма процесса приёмки с применением рассматриваемых систем

В представленном бизнес-процессе приёмки товаров на склад с использованием систем управления складскими процессами рассматриваемого класса, можно выделить такой главный недостаток, как отсутствие процесса маркировки паллет, который может быть представлен распечатыванием наклеек со штрих-кодами, и занесение информации о паллете в систему за счёт номера штрих-кода, которым была промаркирована паллета. Соответственно, в разрабатываемом модуле должна быть реализована данная технология.

## **2.2 Анализ бизнес-процесса размещения товаров с использованием рассматриваемых систем**

Размещение товаров – это бизнес-процесс, следующий за приёмкой товаров. Все принятые товары должны быть размещены на складе в ячейки хранения в соответствии с типом и видом принятого товара [24, 42].

Сотрудник, ответственный за размещение товаров определяет вид товара в паллете, поступившей на размещение, и в соответствии с занесённым в систему зонным разбиением складских площадей по виду товаров [12], определяет зону склада, в которую необходимо отправить паллету с принятым товаром. Ответственное лицо находит свободные ячейки хранения в этой зоне и размещает в них принятые товары. В случае, если предназначенная для данного типа товара зона склада полностью заполнена, то сотрудник, ответственный за размещение, определяет зоны со схожими обеспечиваемыми условиями хранения и размещает принятые товары к другому виду товара, сопровождая процесс оформлением документа об изменении места хранения данной партии товаров. Этот документ заносится в систему и процесс размещения считается закрытым.

Весь бизнес-процесс размещения товаров на складе можно представить в виде EPC-диаграммы [29], представленной на рисунке 3.



Рисунок 3 – EPC-диаграмма процесса размещения товаров с применением рассматриваемых систем

В качестве недостатка представленного бизнес-процесса размещения товаров на складе с использованием систем рассматриваемого класса можно выделить отсутствие или недостаточная оптимальность выбора места хранения принятого товара на складе. Данный недостаток может быть решён путём внедрения в разрабатываемый модуль идеи адресного хранения товаров

на складе. При реализации этой идеи сотрудник, ответственный за размещение товаров, будет способен получать по маркировке паллеты, по штрих-коду, оптимальное место расположения товара, вычисленное по одному из оптимизационных алгоритмов.

### **2.3 Анализ бизнес-процесса перемещения товаров с использованием рассматриваемых систем**

В процессе работы складского предприятия, в процессе выполнения складских бизнес-процессов, может возникнуть необходимость в перемещении паллет товаров из одной зоны склада в другую, например, перемещение из зоны принятия товара в зону размещения, или из зоны хранения в зону комплектации заказов и их отгрузки [24, 42]. Но в перемещениях такого типа однозначно определена конечная точка перемещения товара, и проблемы в этом случае могут возникнуть только при неэффективной организации логистики обслуживающей техники на складе. Наиболее значимое влияние на эффективность работы складского помещения может оказать бизнес-процесс перемещения товаров внутри зоны хранения или между зонами хранения в целях оптимизации процессов размещения или отбора товаров для поступающих заказов. Этот процесс может протекать в совокупности с процессом инвентаризации и быть полезным в случае размещения товара в не предназначенную для него зону из-за отсутствия свободных ячеек хранения в определённой зоне. Последовательность действий процесса перемещения товаров можно описать следующим образом: после наступления необходимости в перемещении паллеты с товарами, сотрудник, ответственный за перемещение, определяет вид хранимого в паллете товара и осуществляет поиск доступного места в зоне, выданной системой и предназначенной для хранения этого вида товара. Если свободного места не найдено, то перемещение не осуществляется. Если новое место

хранения было найдено, то ответственное лицо осуществляет перемещение паллеты с фиксированием этой информации в системе.

Весь бизнес-процесс перемещения паллет с товарами можно представить в виде EPC-диаграммы [29], представленной на рисунке 4.

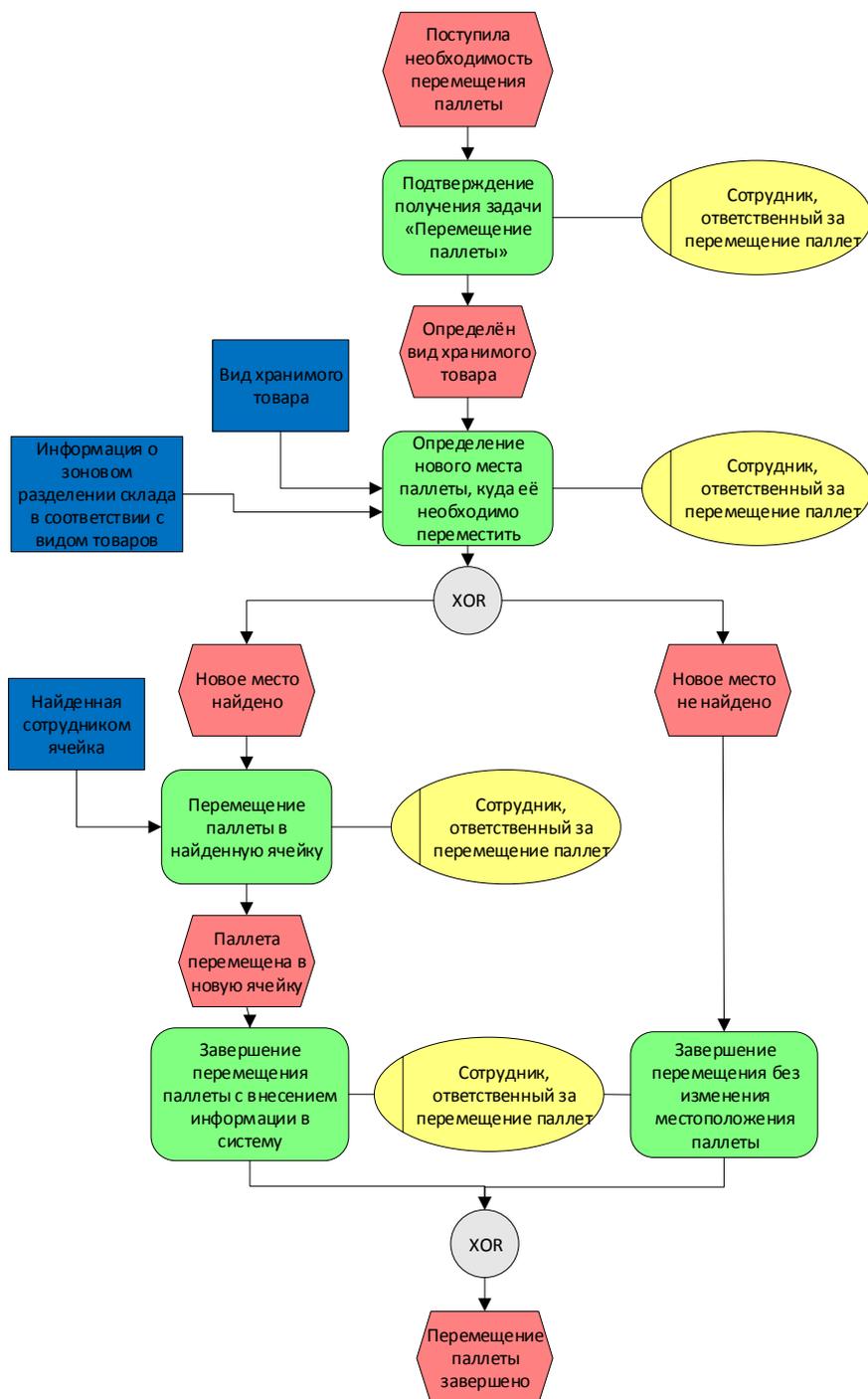


Рисунок 4 – EPC-диаграмма процесса перемещения товаров с применением рассматриваемых систем

В качестве недостатка представленного бизнес-процесса перемещения паллет с товарами на складе можно выделить тот факт, что определение оптимального расположения паллеты производится только на основании выделенной для хранимого товара зоны, выдаваемой системой. При внедрении технологии маркировки паллет штрих-кодами, в этом процессе можно использовать возможности технологии тем, что оптимальное местоположение товара может быть вычислено системой с применением одного из оптимизационных алгоритмов на основании штрих-кода перемещаемого товара. Этот недостаток также может быть устранён путём реализации в разрабатываемом модуле технологии адресного хранения товара, при котором в системе в режиме реального времени находится вся актуальная информация и состоянии всех ячеек хранения. При реализации этой технологии сотрудник, ответственный за перемещение, будет осуществлять перемещение паллет в вычисленные ячейки, что может уменьшить человеческий фактор перемещения товаров внутри складских площадей.

#### **2.4 Анализ бизнес-процесса комплектации заказов с использованием рассматриваемых систем**

Процесс комплектации заказов является ключевым и наиболее трудоёмким на большинстве складских предприятий, и от него зачастую зависит уровень логистического обслуживания в целом, так как от того, насколько быстро выполняются заказы и насколько точно собираются заказы, без допущения количественных и качественных ошибок, зависят другие логистические операции [12, 24]. При проектировании нового модуля не будет рассматриваться система комплектации товар-к-человеку, поскольку применение такой системы требует полной автоматизации на складе, обеспечение которой на предприятиях малого и среднего бизнеса не является целесообразным. Будет рассматриваться система человек-к-товару, при

которой сотрудник, ответственный за комплектацию, отбирает товары и комплектует заказы вручную или при помощи WMS-системы.

В целом, бизнес-процесс комплектации заказов при использовании систем рассматриваемого класса, можно описать так: сотрудник, ответственный за комплектацию принимает заказ в исполнение, берёт перечень товаров к комплектации и производит поиск товара, используя информацию, выдаваемую системой, при поиске нужного товара в предназначенной для него зоне хранения на складе. При этом, если сотрудник находит товар в нужном для заказа количестве, он перемещает товар к месту отгрузки. Если товар не был найден в отведённой для него зоне хранения, то он производит поиск среди документов информации о размещении этого товара в другой зоне. После того, как товар будет найден, он будет также перемещён к месту отгрузки. Далее, если весь товар отобран, и заказ скомплектован, ответственное лицо оформляет документы на отпуск товаров со склада, заносит их в систему, и задача комплектации может считаться завершённой.

Весь бизнес-процесс перемещения комплектации заказов можно представить в виде EPC-диаграммы [29], представленной на рисунке 5.

В качестве недостатка представленного бизнес-процесса комплектации заказов на складе можно выделить то, что процесс поиска и отбора необходимого к отгрузке и комплектации товара сотрудником, ответственным за комплектацию, происходит на основании информации о предназначенном месте размещения определённого вида товара, и в случае его отсутствия там, сотруднику необходимо произвести поиск среди документов информации о том, куда был размещён необходимый товар. Этот недостаток также может быть устранён путём реализации в разрабатываемом модуле технологии адресного хранения товаров.

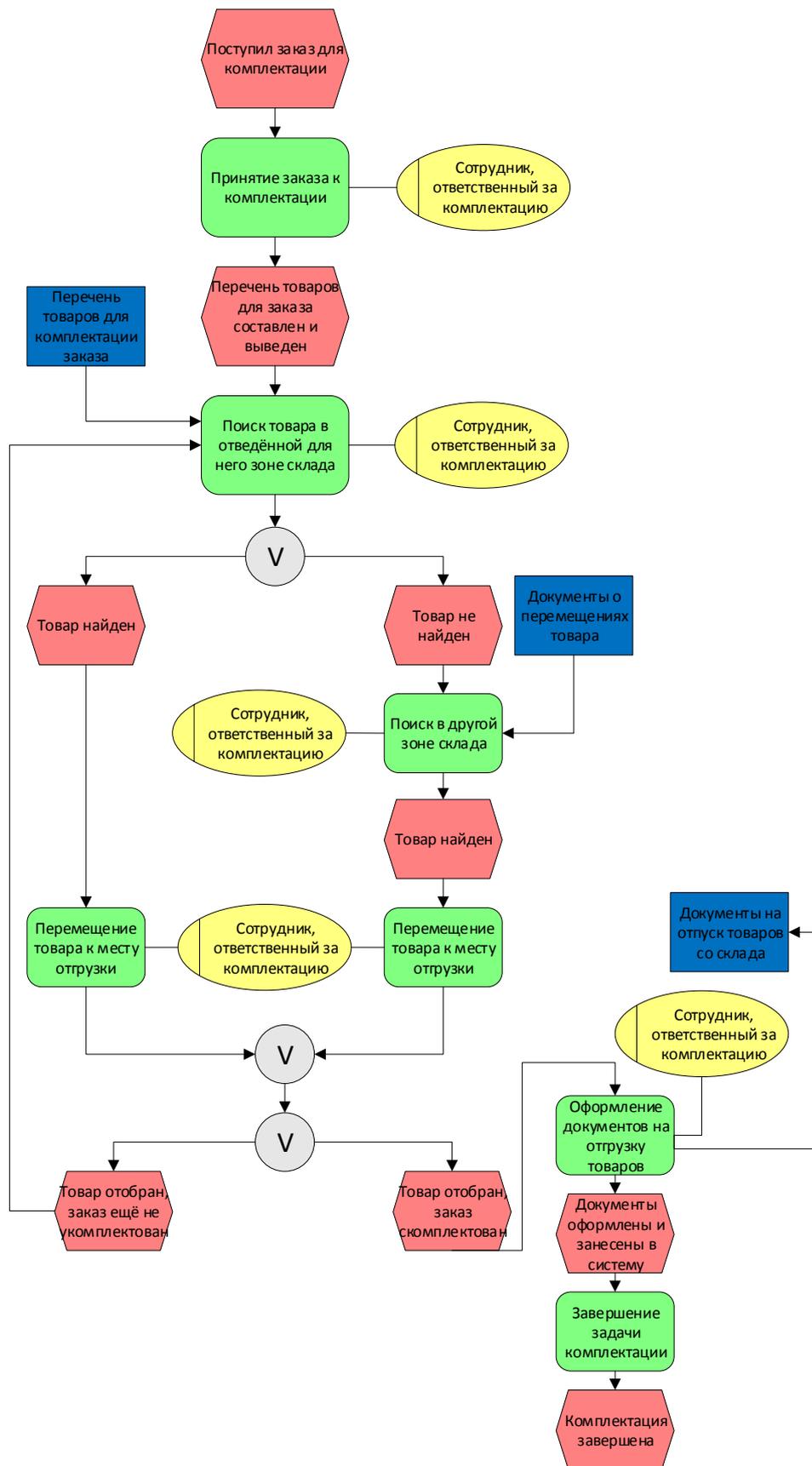


Рисунок 5 – EPC-диаграмма процесса комплектации заказа с применением рассматриваемых систем

При необходимости комплектации заказа, ответственный за этот процесс сотрудник, будет располагать адресами ячеек, выданными системой, в которых хранятся необходимые к отгрузке товары, и в его задачах будет только отбор необходимого количества товара для комплектации заказа.

## **2.5 Результаты анализа функциональности рассматриваемых систем и требования к новому модулю**

По результатам анализа наиболее значимых бизнес-процессов приёмки, размещения, перемещения товаров и комплектации заказов, протекающих на складе с использованием «коробочных» систем или систем управления складом низшего уровня, на основании выделенных недостатков, можно сформулировать требования к новому разрабатываемому модулю.

В качестве наиболее важной рекомендации стоит отметить необходимость организации на предприятии процесса маркировки принимаемых паллет с товарами при приёмке товаров на склад. Этот процесс называют ещё идентификацией паллет. Рассмотрим несколько существующих подходов к идентификации паллет с товарами на складах [27, 31, 48].

Индивидуальное кодирование – самый лёгкий и простой в реализации метод идентификации, подразумевающий собой присвоение каждой паллете индивидуального кода, путём распечатки и приклеивания на неё наклейки с этим кодом. Кодирование может быть либо «смысловым», в котором каждая часть  $n$ -значного кода несёт в себе информацию о поставщике, о товарной группе и прочее, либо «несмысловым», при котором каждая паллета идентифицируется уникальным числом.

Штриховое кодирование – этот способ в случае, если на принимаемых товарах уже имеются штрих-коды, может значительно ускорить процесс приёмки товаров. Процесс идентификации в этом случае сводится к сканированию штрих-кодов и внесению соответствующей считанной информации в систему. В этом случае распечатка наклеек со

сгенерированными штрих-кодами потребуются только в том случае, если на принимаемых товарах отсутствуют штрих-коды, но в настоящее время эта тенденция сводится к минимуму. Однако внедрение этого типа кодирования влечёт за собой затраты на приобретение терминалов сбора данных, если они ещё не приобретены на складском производстве.

Радиочастотная идентификация, или по-другому RFID – самая недавно появившаяся технология идентификации и мало используемая на российских складах, суть которой заключается в занесении всей необходимой информации о товарах в паллете в так называемую метку, которая при необходимости передаётся на компьютер через антенну. Главным недостатком данной технологии идентификации считается высокая стоимость приобретения и внедрения на складе.

На основании приведённой выше информации о существующих технологиях идентификации товаров на складе, и анализу литературы штрих-кодовая идентификация является наиболее широко используемой на предприятиях малого и среднего бизнеса в силу удобства и минимизации затрат на её реализацию.

При анализе бизнес-процесса размещения товаров был выделен недостаток в оптимизации выбора места и ячеек хранения товаров. В настоящее время большинство ERP-систем и WMS-систем реализуют либо алгоритмы ABC или XYZ-анализа при вычислении оптимального расположения товара. Однако, насколько показал анализ научных источников [15, 21], наиболее эффективным методом вычисления оптимального размещения товаров является объединение методов ABC-анализа и XYZ-анализа. В пункте 1.1 был описан принцип работы этих методов.

На основании всего вышеизложенного, в разрабатываемом модуле было принято решение реализовать описанное объединение алгоритмов анализа, которое будет применяться как в процессе размещения товаров на складе, так и в процессе перемещения товаров при вычислении нового оптимального их расположения. Также в проектируемом модуле должны быть реализованы все

принципы «адресного хранения», то есть каждой хранимой на складе единице должен быть присвоен уникальный номер, по которому его можно однозначно идентифицировать. Это может быть достигнуто применением штрих-кодовой идентификации.

#### Выводы к разделу 2

Был проведён анализ основных бизнес-процессов, проводимых на складе с использованием «коробочных» систем и систем низшего уровня и выявлены недостатки исполнения каждого из них. На основании выявленных недостатков были выдвинуты требования, которые необходимо будет учесть при проектировании нового модуля, поскольку их реализация может обеспечить компенсацию выявленных недостатков.

Разрабатываемый модуль должен отвечать идеям адресного хранения товаров, а именно, поддерживать штрих-кодовую идентификацию товаров, реализацию объединения алгоритмов ABC и XYZ-анализа, который будет применяться при вычислении оптимального размещения товаров при приёмке и при перемещении товаров между ячейками хранения согласно однозначному соответствию между каждым прошедшим процедуру идентификации грузом и адресом ячейки хранения.

### **3 Исследование основных принципов облачной архитектуры и проектирование модели программного решения, оптимизирующего бизнес-процессы складского производства**

В настоящее время всё большую популярность и распространённость приобретают облачные технологии ввиду их доступности, гибкости, скорости и ряду других преимуществ. Они выступают благоприятной площадкой для разработки и внедрения клиентских сервисов для любых форм бизнеса.

Переход на облачные технологии позволяет бизнесу:

- снизить финансовые расходы на IT-оборудование, поскольку появляется возможность не заботиться о покупке дополнительного мощного оборудования, высокопроизводительных серверов, о постройке собственных дата-центров;

- весь спектр работ по поддержке этих сервисов, виртуализации и распределением виртуальных сервисов, развёртыванию инфраструктуры перекладывается на плечи провайдера данных сервисов, то есть отпадает необходимость нанимать квалифицированные кадры;

- появляется возможность аутсорсинга, при котором предоставляется возможность передать провайдеру администрирование баз данных, серверов и платформ, избавляясь от необходимости нанимать экспертов узкой специализации [6, 36].

Также в связи с тем, что предоставление облачных ресурсов происходит в стиле «по требованию», бизнес платит только за то, что использует, иными словами, за те мощности, которые необходимы на данный момент, что позволяет ему очень гибко управлять своими расходами в соответствии с текущими потребностями [36].

Вместе с распространением высокоскоростного Интернета в мире эксперты прогнозируют рост рынка облачных услуг с увеличением доли облачных технологий как в использовании облачных средств в различных формах бизнеса, так и в информационных системах с гибридной

архитектурой. В долгосрочной перспективе востребованность использования облаков будет поддерживаться развитием сферы машинного обучения, поскольку использование облачных вычислений в этой сфере наиболее оправданно [6].

Разберёмся с понятием облачных вычислений и определим их преимущества.

### **3.1 Облачные вычисления в сравнении с локальными**

Облачные вычисления представляют собой «модель, основной целью создания которой было удобное и повсеместное обеспечение доступа по требованию клиента к информации, находящейся в сети, которая с минимальными издержками может быстро предоставляться пользователю» [37]. Если использовать эту модель рационально в работе с данными, находящимися в облачной среде, то это может способствовать получению пользы вне зависимости от типа предприятия или бизнеса. Основными преимуществами облачных вычислений являются:

– масштабируемость – поскольку согласно принципам данной модели, выделение ресурсов и их освобождение происходит по мере необходимости для каждого отдельного клиента, то это обеспечивает эластичность облака;

– экономический эффект – бизнесу нет необходимости приобретать дорогостоящее оборудование и программное обеспечение, тем самым происходит экономия расходов не только на техническую составляющую, но также сокращаются траты на аренду помещений для хранения оборудования, на электроэнергию, потребляемую оборудованием, и его техническое обслуживание;

– резервное копирование – в случае использования облачных вычислений производится на облачной платформе, обеспечивая значительно большую скорость восстановления в сравнении с локальной технологией копирования и восстановления. Также при хранении данных в облачных

сервисах, их копии автоматически распределяются по нескольким серверам, что увеличивает шансы восстановления данных в случае необходимости;

- доступность информации – облачные сервисы доступны из любой точки мира и круглосуточно;

- быстрота развёртывания – с использованием облачных сервисов развёртывание происходит за несколько минут, что в сравнении с традиционным подходом считается значительной экономией времени [6].

Конечно, как и у любой технологии, у облачных вычислений существуют и недостатки, такие как:

- сбой работы облачных сервисов, который может быть вызван перебоями электропитания, интернет-соединения или кибератаками на сервисы со стороны поставщика облачных сервисов, которые могут привести к нежелательным простоям бизнеса;

- требование постоянного доступа к сети Интернет – без доступа к сети нет работы облачных вычислений;

- угроза безопасности – в случае перехода на облачные вычисления нужно доверять только надёжным провайдерам, зарекомендовавшим себя на рынке и использующим наиболее надёжные технологии защиты данных.

В целом, если учесть все недостатки облачных вычислений и выработать стратегии по ликвидации отрицательных явлений, то бизнес с большей долей вероятности получит преимущества от внедрения облачных сервисов, чем проиграет по какому-либо критерию.

### **3.2 Основные принципы архитектуры облачных приложений**

Базовая облачная архитектура является трёхуровневой архитектурой, на каждом уровне которой находятся выделенные сервера:

- балансировки нагрузки,
- сервер приложений,

– сервер базы данных.

Схема облачной архитектуры приведена на рисунке 6.

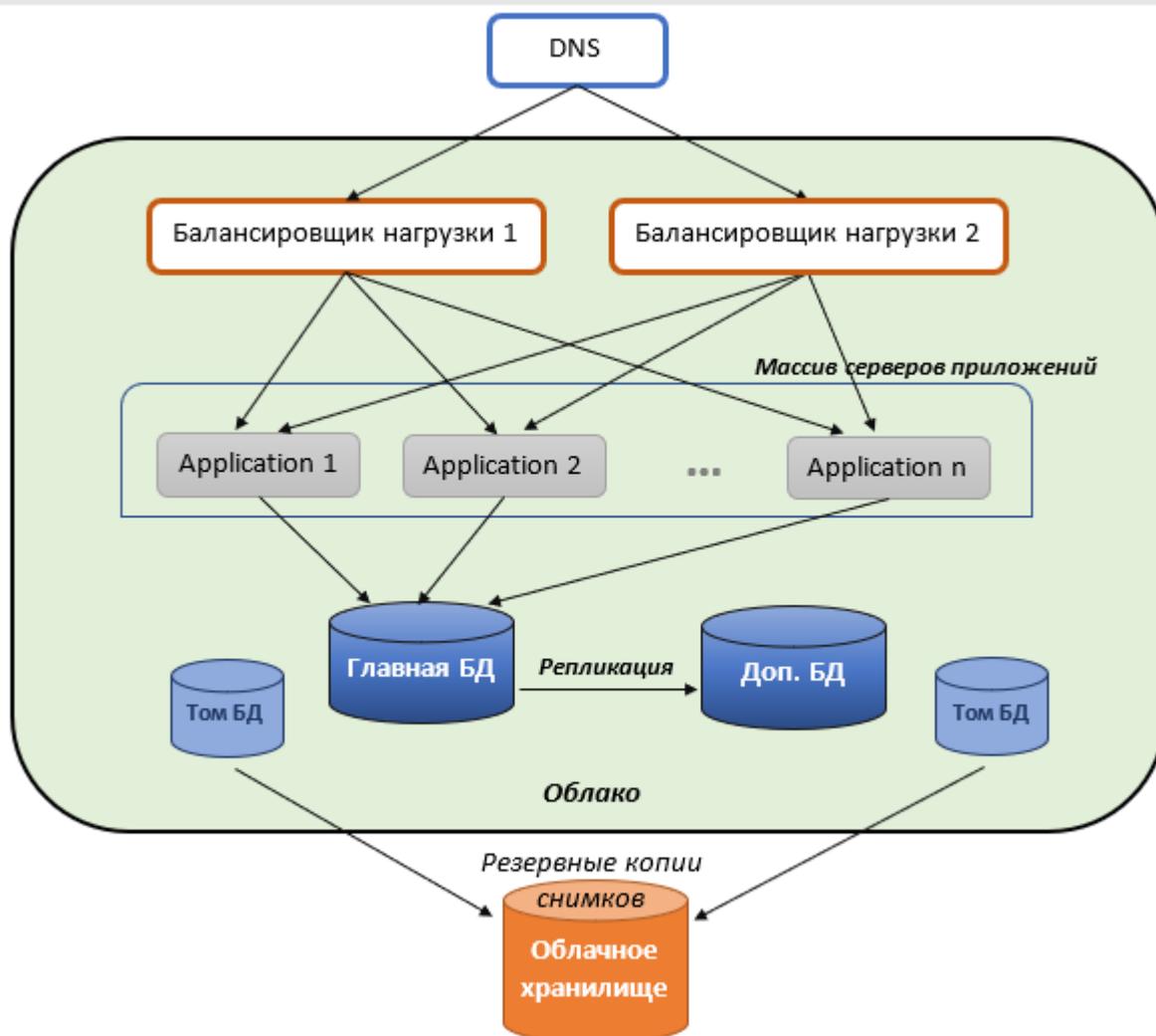


Рисунок 6 – Общая схема облачной архитектуры

Каждый из серверов на каждом уровне имеет свою рабочую резервную копию, которая включается в случае необходимости восстановления при отказе действующего. Такая концепция носит название трёхуровневой архитектуры с резервированием и широко используется в производственной среде. Также в зависимости от приложения могут быть добавлены ещё дополнительные сервера, которые в комбинации с базовыми позволяют достичь повышения эффективности в том или ином аспекте.

Также в целях снижения нагрузки и увеличения производительности могут быть созданы дополнительные центры обработки данных, у каждого из которых будет свой уровень балансировки нагрузки, уровень приложений и уровень базы данных, как делают большинство современных облачных провайдеров. Схема такой разновидности облачной архитектуры приведена на рисунке 7.

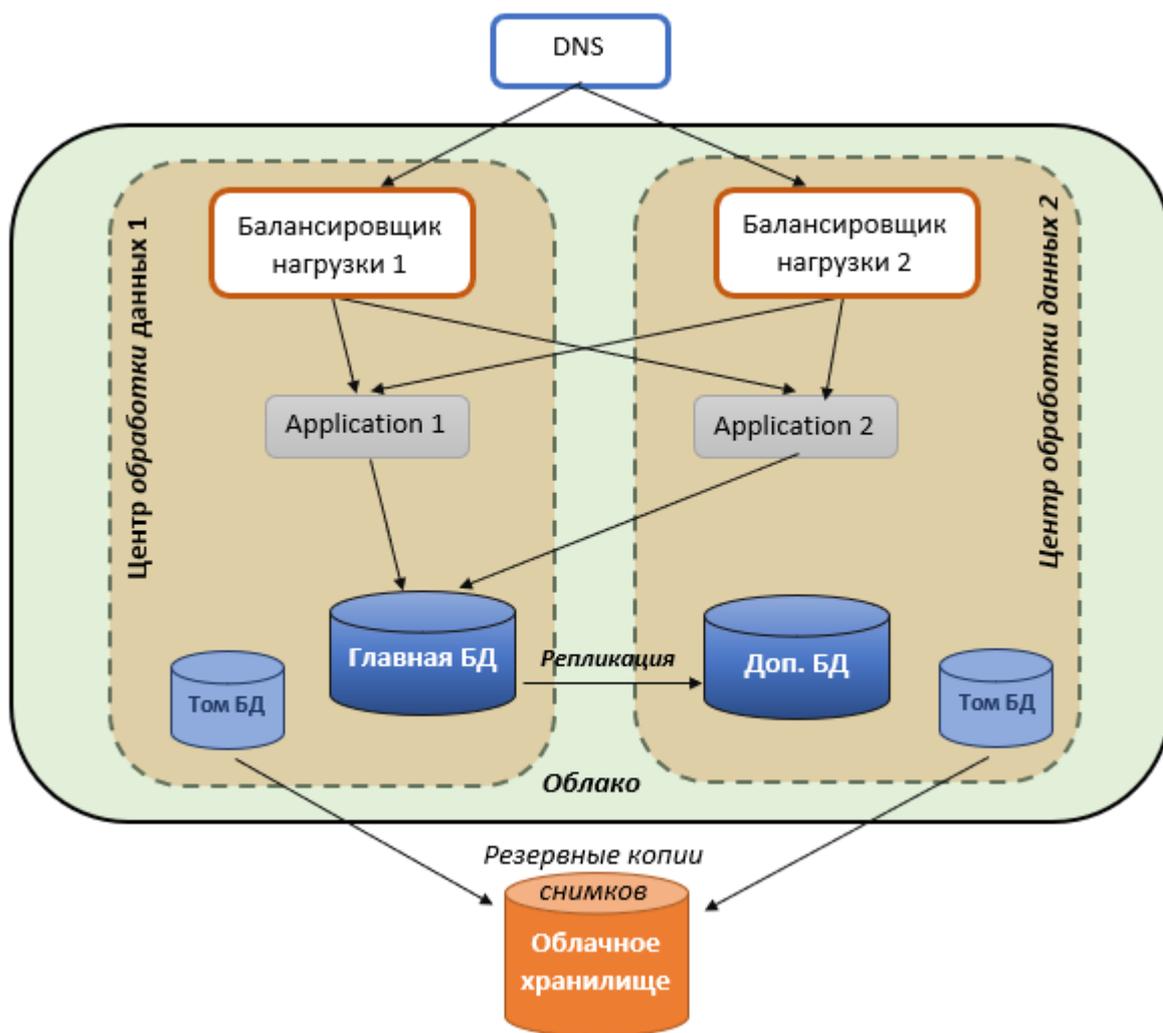


Рисунок 7 – Общая схема облачной архитектуры с двумя центрами обработки данных

Отличительной чертой облачной архитектуры является возможность горизонтального автоматического масштабирования, что даёт возможность по запросу увеличивать или уменьшать количество серверных ресурсов [36].

### 3.3 Основные модели обслуживания облачных вычислений

В настоящие дни на рынке существует три модели предоставления облачных вычислений:

IaaS (Infrastructure-as-a-Service) – «инфраструктура как услуга», согласно этой модели клиенту предоставляется вычислительная инфраструктура для развёртывания собственных программных решений. В качестве вычислительной инфраструктуры в данном случае выступают различные сервера, сетевые ресурсы и хранилища данных. Таким образом, вместо приобретения собственной ИТ-инфраструктуры арендуется облачный сервис, обслуживаемый провайдером. Описанная модель предоставления облачных вычислений применяется в случаях с непостоянной потребностью в ресурсах или отсутствием финансовых возможностей в развёртывании собственной ИТ-инфраструктуры.

PaaS (Platform-as-a-Service) – «платформа как сервис», в этом случае провайдер облачных сервисов предоставляет пользователю изменяемую настройками платформу или программную среду, позволяющую разворачивать собственные программные решения. Отличием от IaaS является тот факт, что в данном случае предоставляется доступ не к «железу» и техническим ресурсам, а к готовой настраиваемой среде, позволяющей запускать с необходимыми настройками собственные программные решения, не имея при этом возможности масштабирования инфраструктуры. Описанная модель пользуется особым спросом у непосредственно разработчиков программных продуктов, не акцентируя при этом внимание на настройке оборудования.

SaaS (Software-as-a-Service) – «программное обеспечение как услуга», согласно этой модели подразумевается предоставление клиенту доступа к заранее развёрнутому на облачной платформе приложению, разработанному также провайдером облачного сервиса.

Таким образом, при текущем выборе типа модели предоставления облачных вычислений, PaaS модель является наиболее оптимальным вариантом. Главным недостатком IaaS модели является её стоимость, которая превосходит PaaS и SaaS модели ввиду того, что бизнес в этом случае арендует целый ряд оборудования. Недостаток SaaS модели – использование уже готового программного решения по подписке или ограниченному доступу, что лишает нас возможности изменять или дополнять это программное решение в соответствии с нашими требованиями.

### **3.4 Проектирование модели программного решения**

На основании результатов анализа, описанного в рамках предыдущих разделов представленной магистерской диссертации, были выделены критерии к проектируемой модели, реализация которых призвана восполнить недостатки используемых на данный момент на предприятиях малого и среднего бизнеса «коробочных» систем или систем низшего уровня по управлению бизнес-процессами на складе. Критерии звучат следующим образом:

- реализовать модель адресного хранения, при которой каждому товару, прошедшему процедуру идентификации присваивается адрес ячейки, в которой он будет располагаться [12]. При этом необходимо провести анализ статического и динамического способа адресного хранения и выявить наиболее оптимальный;

- реализовать объединения алгоритмов ABC- и XYZ-анализа при расчёте оптимального места расположения товара на складской площади;

- реализовать наиболее оптимальную архитектуру программного решения.

Также в результате анализа существующих систем управления складскими бизнес-процессами был сделан вывод о том, что переход на системы управления складскими бизнес-процессами более высшего уровня

предприятиям малого и среднего бизнеса может быть не выгоден в финансовом плане, а использование текущих систем не в состоянии обеспечить должный уровень эффективности осуществления складским бизнес-процессов. На основании этого вывода можно поставить задачу проектирования модели программного решения, которое будет выступать некоторым дополнением к имеющейся системе. В результате, была спроектирована модель, при которой только вычислительная часть выносится в облачное пространство, и связывается с исходной системой настраиваемым интеграционным модулем. Схема спроектированной модели представлена на рисунке 8.

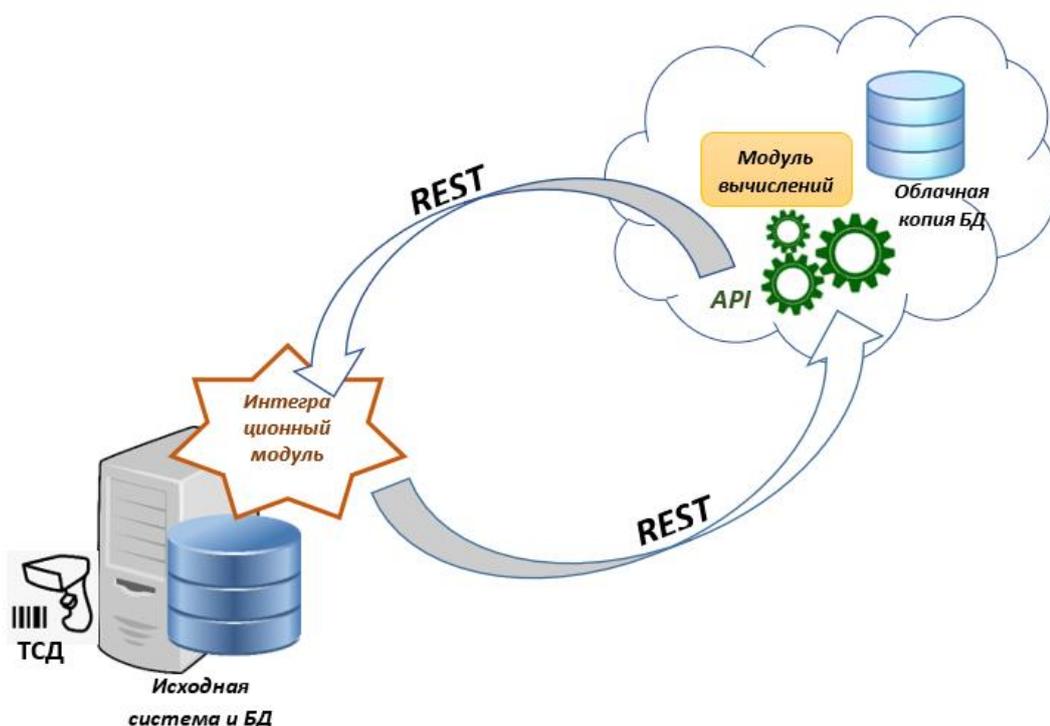


Рисунок 8 – Схематическое представление спроектированной модели

Таким образом, спроектированная модель представлена тремя основными компонентами – исходной системой, серверной частью, содержащей вычисления и вынесенной в облачную платформу и интеграционным модулем, связывающим предыдущие два компонента. Рассмотрим каждый из них подробнее.

### **3.4.1 Описание компоненты «Исходная система и БД»**

Поскольку мы определили, что целиком переходить в облачную систему бизнесу в данном случае будет не выгодно, то изначальная система остаётся, но её роль будет состоять в более узком спектре функций [40]. С использованием спроектированной модели её функциями будет:

- печать штрих-кодов для новых поступающих на склад товаров;
- идентификация и сбор сведений о поступающих товарах посредством использования штрихового кодирования и терминалов сбора данных (ТСД);
- обеспечение возможности использования ТСД посредством их подключения к системе;
- формирование и печать накладных и отпускных листов;
- управление информацией о работающем на складе персонале;
- хранение информации о товарах и персонале в базе данных (БД).

Таким образом, изначальная система будет выступать в роли хранилища данных с расширенным функционалом в виде возможности генерации штрих-кодов для новых товаров, поддержания связи с подключенными ТСД, формирования и печати складской документации.

### **3.4.2 Описание компоненты «Облачный модуль»**

Ввиду всех ранее описанных достоинств, которые достигаются посредством применения облачных сервисов, вычисления, требующие высокопроизводительное оборудование, было принято решение вынести в облачные сервисы путём развёртывания на облачной платформе серверной части веб-приложения, компонентами которого будет вычислительный модуль, в котором прописана вся бизнес-логика, репликация базы данных исходной системы, перенесённая в целях повышения производительности к месту вычислений – в облако, и API, средствами которого будут запускаться необходимые вычисления и отправляться в изначальную систему.

В функционал представленного модуля будет входить:

– вычисление расположения товара на складской площади в соответствии с адресным хранением при исполнении бизнес-процессов размещения и перемещения товаров;

– резервное хранение данных – поскольку в облачном пространстве будет находиться репликация БД исходной системы, дополненная необходимой для вычислений информацией, при необходимости её можно будет использовать при восстановлении данных.

В настоящее время всё большую популярность приобретает использование на складах способа размещения товаров на складской площади, при котором в системе управления хранятся присвоенные адреса хранения для каждого товара. Этот способ носит название адресного склада [12]. Использование этого способа хранения неактуально для складов малой площади с малым числом видов хранимой номенклатуры, но в нашем случае будет подразумевать складское предприятие малого или среднего бизнеса с достаточно большим набором видов хранимых номенклатур, расположенных на площади не менее 500 кв. м. Таким образом, согласно описываемому способу размещения с хранением соответствия «товар – адрес места хранения», к моменту комплектации заказа кладовщику будет выведен список товаров в накладной с адресом ячейки или места хранения этого товара на складской площади. Работникам склада остаётся только транспортировать этот товар к месту отгрузки, минуя поиск товара на складе.

Существует два вида организации адресного хранения – статическое и динамическое [8].

В случае со статическим видом организации адресного хранения вся складская площадь разделяется на зоны или участки, за которыми закрепляется определённый вид хранимого товара или определённый набор номенклатур. В этом случае товар, прошедший процедуру приёмки, размещается по ячейкам внутри этих зон в соответствии с определённым ранее соответствием. Достоинством этого вида адресного хранения является простота его реализации. Недостатком – в случае, если на склад поступает

количество товара, превышающее вместимость отведённой под него зоны, то приходится вручную переопределять структуру склада и подбирать оптимальные ячейки хранения. Также при непостоянном спросе на товары замечается излишняя загруженность и простаивание зон хранения.

В случае динамического вида организации адресного хранения отсутствует строгое закрепление за видом номенклатуры определённой области склада, а место размещения высчитывается системой управления складом в соответствии с размером товара, его сроком реализации, востребованности и прочими характеристиками. Эта же система контролирует количество товара на складе, учитывая все данные о приходах и отгрузках. Размещение товара в этом случае располагается в любой свободной адресной ячейке. Достоинством этого вида адресного хранения является повышение эффективности использования складской площади, поскольку в данном случае исключено простаивание свободных ячеек. Недостатком – осложнённый поиск товара на складе при комплектации заказов, который занимает ещё больше времени при возникновении ошибок в процессе учёта.

Чтобы компенсировать недостатки каждого из видов адресного склада предлагается использовать комбинированный вид адресного хранения, ЕРС-диаграмма [50] которого представлена на рисунке 9.

Согласно этой диаграмме каждый поступающий на склад товар сначала проходит процедуру приёма и идентификации с генерацией и распечатыванием новых штрих-кодов для каждой унифицированной единицы товара [15]. Далее происходит определение товара в товарную группу, существующую в системе. Также в системе заранее определены зоны хранения для каждой товарной группы, зоны хранения в свою очередь разделены на области хранения с переменным приоритетом заполнения, меняющимся в зависимости от товарной группы.

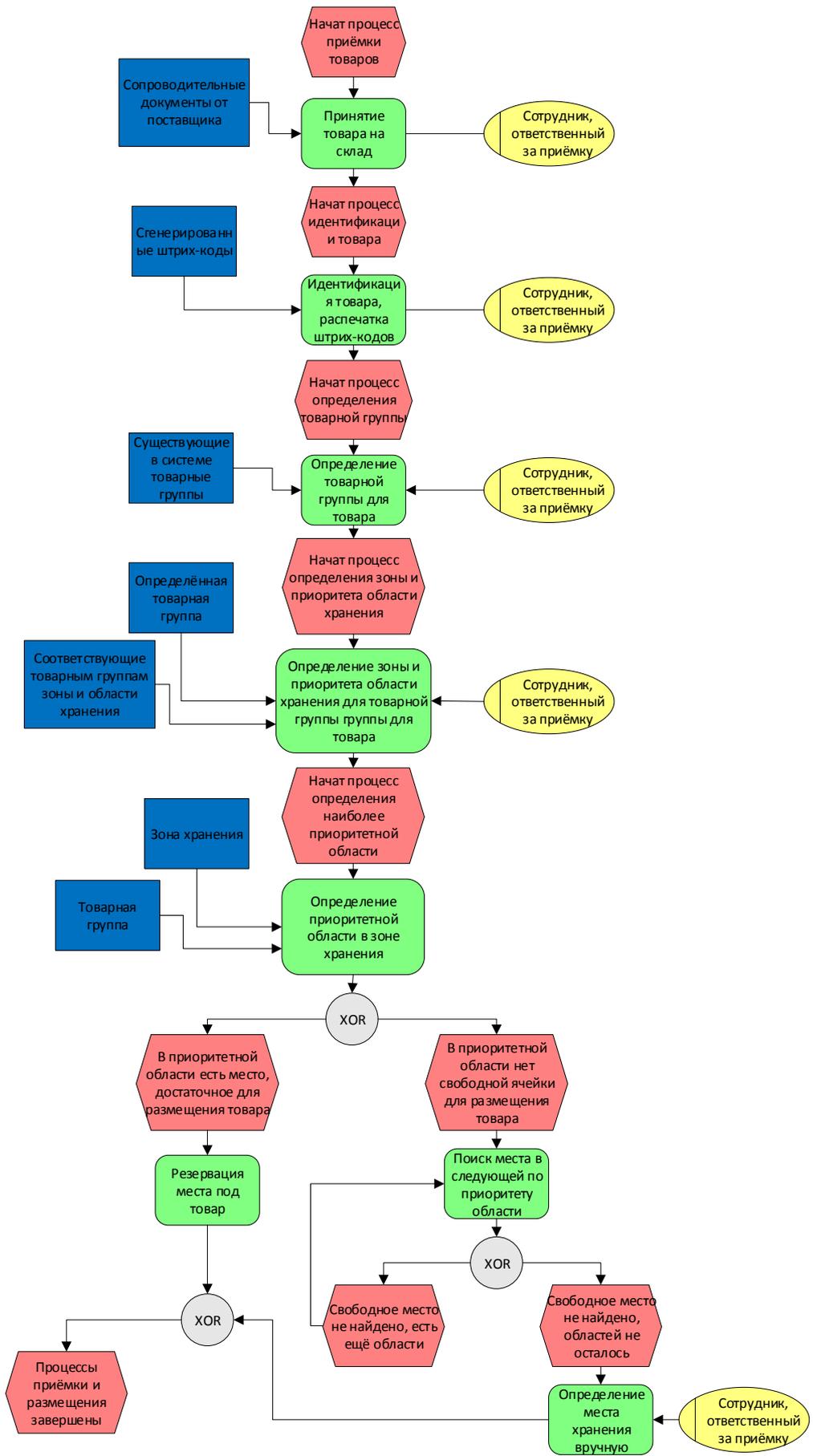


Рисунок 9 - EPC-диаграмма комбинированного вида адресного хранения

Следующим шагом комбинированного метода адресного хранения будет определение его зоны хранения в соответствии с определённой на предыдущем шаге товарной группой с последующим определением наиболее приоритетной области хранения [27]. В случае, если область уже заполнена товаром или имеет недостаточное количество свободных ячеек для размещения принимаемого на хранение товара, поиск производится в следующей по приоритету области. Процесс продолжается до тех пор, пока товар не будет размещён в вычисленную область автоматически или вручную сотрудником, ответственным за размещение, ввиду занятости всех областей приоритета [15].

Определение зон хранения на складской площади в свою очередь тоже происходит динамически в соответствии с ABC и XYZ анализом.

Существует два основных принципа, которым необходимо следовать при применении ABC и XYZ анализа, это:

– во-первых, статистические данные, по которым будет проводиться анализ, должны быть взяты преимущественно за год с делением по месяцам, поскольку именно в таком срезе данных будет возможно выявить сезонность спроса на те или иные хранимые на складе единицы и перемещать их по территории склада в соответствии с ней;

– во-вторых, должна быть установлена некоторая единая унифицированная единица хранения, в которой будет происходить измерение отгружаемых единиц [12].

Расчёт результатов анализа проводится как по записям прихода товаров на склад, так и по записям их выпуска со склада. Согласно ABC-анализу все товарные группы, существующие в системе, разделяются на три группы по принципу Парето, который звучит следующим образом: «20% усилий, затрачиваемых на достижение результата, приносят 80% эффективности, а 80% усилий дают всего 20% результата». Эти группы можно охарактеризовать следующим образом:

А – 20% номенклатур, наиболее часто встречающихся в накладных на выпуск или же наиболее массово выпускаемых со склада, с которых бизнес получает 80% результата;

В – товарные номенклатуры, равномерно встречающиеся в накладных на выпуск или имеющие среднее количество выпуска, обычно 30% от общего номенклатурного перечня хранимых на складе товаров;

С – Оставшиеся 50% номенклатур, приносящих 5% результата бизнесу ввиду того, что встречались в накладных на выпуск значительно реже номенклатур из первой группы.

В результате ABC-анализа все товарные номенклатуры, хранящиеся на складе, разделяются на группы в соответствии с их влиянием на бизнес и по уровню приносимых результатов.

Далее учитываются данные, полученные после XYZ-анализа. В этом случае деление товарных номенклатур производится в соответствии с объёмом их выпуска со склада. Пропорции деления остаются те же, что и при ABC-анализе, где

Х – группа номенклатур с постоянным спросом, они присутствуют во всех отпускных документах на протяжении всего исследуемого периода времени;

У – группа номенклатур с изменяющимся, но прогнозируемым спросом;

Z – группы номенклатур, отпускаемые значительно редко, возможно даже единожды, по требованию одного из заказчиков.

После объединения результатов двух анализов получаем 9 различных групп номенклатур:

АХ – наиболее важные товары, имеющие высокую ценность для бизнеса и стабильный постоянный спрос со стороны заказчиков;

АУ – товары с высокой ценностью и изменяющимся, нестабильным спросом;

AZ – товары с высокой ценностью и спонтанным характером выпуска со склада;

**BX** – номенклатуры со средней ценностью для бизнеса, но с высоким спросом;

**BY** – номенклатуры со средней ценностью и относительно стабильным прогнозируемым спросом;

**BZ** – номенклатуры со средней ценностью и непрогнозируемым спонтанным спросом;

**CX** – товары с низкой ценностью для бизнеса, но стабильным спросом;

**CY** – товары с низкой ценностью и нестабильным спросом;

**CZ** – наименее важные товары с низкой стоимостью и спонтанностью спроса.

Таким образом, результаты описанного выше объединения ABC и XYZ анализов предполагается использовать при динамическом определении соответствия между товарными группами и зонами хранения, исполняемого в рамках бизнес-процесса инвентаризации, регулярно проводимого на складском предприятии. Для наглядности представим результаты в таблице 2 и отметим цветом соответствующие зоны хранения на складе.

Таблица 2 - Наглядное представление соответствия между зонами склада и результатами анализа

	A	B	C
X	<b>AX</b>	<b>BX</b>	<b>CX</b>
Y	<b>AY</b>	<b>BY</b>	<b>CY</b>
Z	<b>AZ</b>	<b>BZ</b>	<b>CZ</b>

В соответствии с результатами в зоне, наиболее близкой к месту отгрузки, отмеченной красным цветом, будут располагаться товары с наибольшим спросом и наибольшей стоимостью – это товары из групп **AX**, **AY**, **BX**. Группа умеренных товаров, состоящая из номенклатур, помещенных метками **AZ**, **BY**, **CX**, будет располагаться в средней части складского

пространства. Товары наименьшей ценности и спроса, помеченные метками BZ, CY, CZ, будут располагаться в самой дальней части склада или в зоне хранения запасов, поскольку потребность в них достаточно низкая. Такое расположение товаров позволит сократить время при исполнении бизнес-процесса комплектации заказов, поскольку товары с наибольшим спросом будут располагаться непосредственно у места отгрузки, и время обращения к их ячейкам будет минимально.

Таким образом, при использовании представленного комбинированного вида адресного хранения от статического вида перенято фиксирование зон хранения за каждой существующей в системе товарной группой, а от динамического вида – размещение товаров по областям хранения внутри зон и пересчет зон хранения на складской площади в соответствии со спросом на номенклатуры и их приносимыми бизнесу результатами, что позволит обеспечить более гибкое управление использованием складских площадей.

Таким образом, в облачном модуле будет располагаться основная вычислительная нагрузка, в виде выполнения расчетов по ABC и XYZ анализу, определению соотношения мест, которые необходимо выделить для наиболее важных товаров, умеренных и наименее важных, вычислению места размещения принятого и идентифицированного товара, сохранению и поддержанию актуальности всех необходимых для этих процессов данных в копии базы данных основной системы, которая в свою очередь будет получена в результате миграции данных. Описание этого процесса будет представлено в подразделе «Выбор стратегии миграции данных в облачную среду».

### **3.4.3 Описание компоненты «Интеграционный модуль»**

За обмен данными между исходной системой и облачным модулем будет отвечать настраиваемый интеграционный модуль, в функции которого будет входить:

- генерация исходящих сообщений с необходимой информацией о товарах из исходной системы;

- отправка сообщений на сервер, расположенный в облаке, с целью получения необходимой вычислимой информации;
- организация очереди сообщений, недоставленных до облачного сервиса по какой-либо причине его недоступности;
- приём результатов вычислений, отправленных облачным модулем, с конвертацией их в вид, воспринимаемый исходной системой.

Передача сообщений между интеграционным и облачным модулями будет происходить в соответствии с архитектурным стилем взаимодействия REST (Representational State Transfer), который стандартизирует разработку API серверных приложений путём накладывания следующих ограничений:

- использование только в клиент-серверной архитектуре – REST не используется в других архитектурных решениях приложений;
- отсутствие хранения состояния клиента – при использовании REST серверная часть приложения не хранит состоянием клиента, и клиентская часть самостоятельно управляет своим состоянием;
- использование кэширования – ответы сервера являются кэшируемыми, и клиент в целях повышения производительности могут их кэшировать в случае необходимости;
- единообразие интерфейса (Hypermedia as the Engine of Application State) – ответ сервера вместе с ресурсом содержит информацию о возможных действиях и связях с другими ресурсами;
- использование многослойной архитектуры – между клиентом и сервером происходит цепочка вызовов, закрытых от них, наиболее частыми компонентами цепочек выступают балансировщики нагрузки и прокси-сервера [17. 55].

REST API – это API (Application Programming Interface), описание методов взаимодействия программных компонент, построенное в соответствии с принципами REST, используя протокол передачи данных

HTTP. Наиболее популярно использование четырёх основных HTTP-методов управления данными:

- GET – получение необходимых данных от серверной части приложения;
- POST – отправка данных на сервер с целью их добавления на хранение;
- PUT – отправка данных на сервер с целью их обновления, в отличие от POST-метода является идемпотентным, то есть многократный вызов этого метода приводит к идентичному результату без изменений данных на сервере;
- DELETE – отправка данных на сервер с целью их удаления [17].

Достоинством концепции REST API является тот факт, что выбор формата представления данных не ограничивается принципами REST. Пересылаться может либо обычный текст, либо сообщения XML или JSON формата, либо бинарный код.

Формат исходящих и входящих сообщений, которые будет формировать и конвертировать интеграционный модуль, будет построен на основе принципов и стандартов REST API ввиду его гибкости и распространённости использования [55]. Описание спроектированных результатов будет представлено в следующем пункте раздела «Проектирование API программного решения».

Чтобы продемонстрировать взаимодействие между исходной системой, интеграционным модулем и облачным модулем рассмотрим BPMN-модели бизнес-процессов приёмки, размещения, перемещения товаров и комплектации заказов.

На рисунке 10 представлена BPMN модель [28] взаимодействия исходной системы, интеграционного и облачного модуля в рамках объединения бизнес-процессов приёмки и размещения принятых товаров на складской площади.

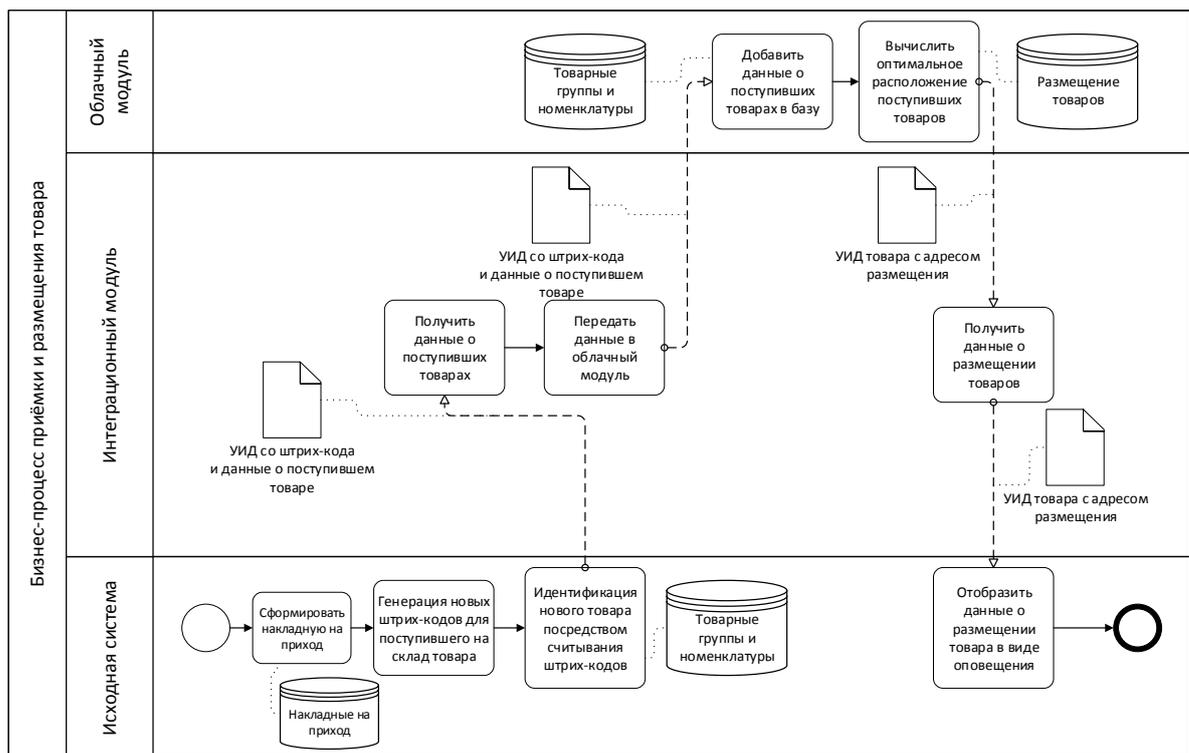


Рисунок 10 – BPMN модель взаимодействия модулей в рамках бизнес-процесса приёма и размещения товаров

Согласно представленной модели, процесс начинается с формирования накладной на приход, генерации и распечатки штрих-кодов для идентификации принятых товаров средствами исходной системы управления складом. Параллельно этим процессам выполняется обновление данных в базе, связанной с исходной системой. Интеграционный модуль посредством прослушивания действий исходной системы получает данные о поступивших товарах – наименование, номенклатурную группу, количество, уникальный идентификатор (УИД), полученный в результате сканирования присвоенного штрих-кода – и после конвертации их в вид, воспринимаемый облачным модулем, вызывает API этого модуля и передаёт ему все полученные данные о поступивших товарах. В рамках работы облачного модуля происходит сохранение данных о поступивших товарах в облачную копию базы данных и вычисление их оптимального расположения на складской площади в соответствии с имеющимися данными. Данные о присвоенных адресах ячеек мест расположения прибывших товаров также сохраняются в облачной базе

данных, а в интеграционный модуль передаются данные о соответствиях между УИД товара и адресом ячейки, в которую необходимо разместить товар. Полученные интеграционным модулем данные конвертируются в воспринимаемый исходной системой вид, отправляются в неё и отображаются в виде оповещения или отчёта, содержащего план размещения поступивших товаров. На этом взаимодействие модулей считается завершённым и действия передаются работникам склада.

На рисунке 11 представлена BPMN модель взаимодействия исходной системы, интеграционного и облачного модуля в рамках бизнес-процесса инвентаризации.

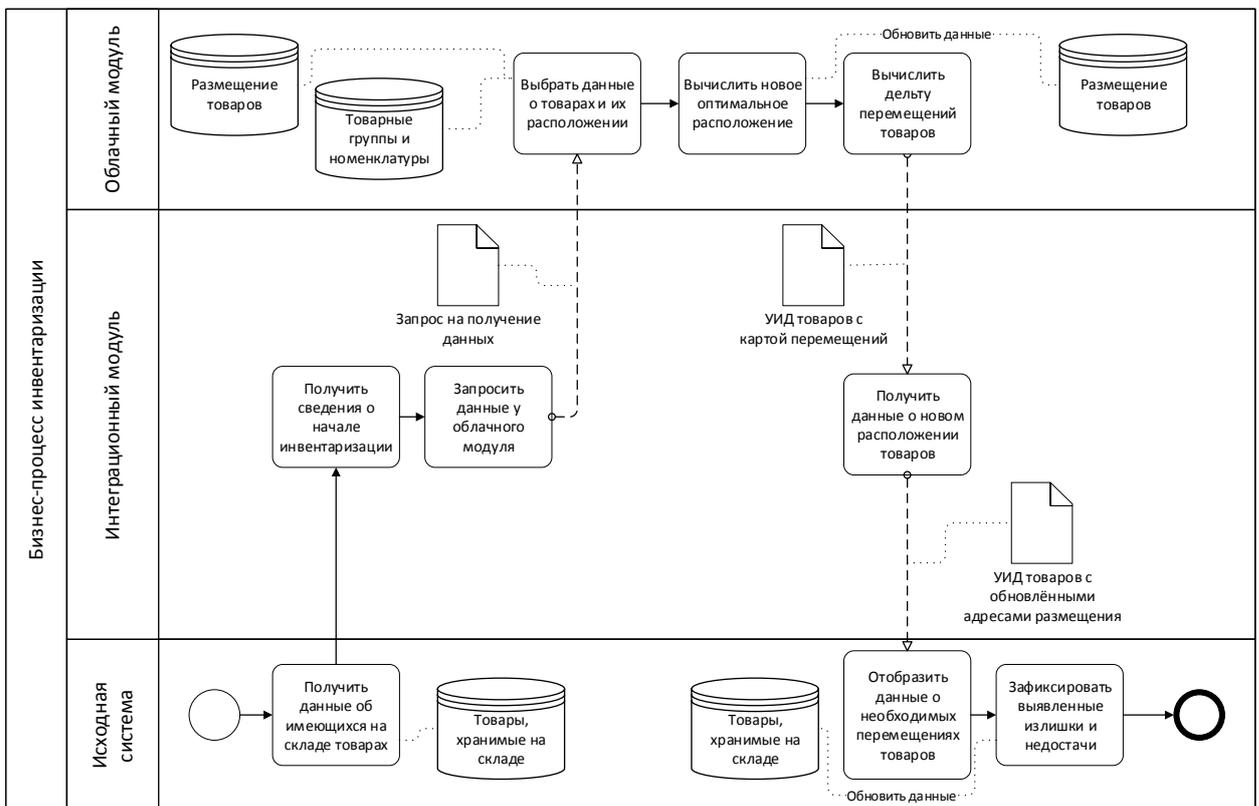


Рисунок 11 – BPMN модель взаимодействия модулей в рамках бизнес-процесса инвентаризации

Согласно этой модели, процесс взаимодействия также начинается с действий по инициации бизнес-процесса инвентаризации, генерируемого исходной системой. Исходная система инициирует получение данных об

имеющихся на складе товарах, что отлавливается интеграционным модулем и является сигналом для вызова соответствующего API-метода облачного модуля. Происходит запрос на получение данных, облачный модуль создаёт выборку по товарам и их расположениям из облачной копии базы данных, и затем, происходит вычисление новых оптимальных расположений товаров в соответствии с полученной информацией с параллельным обновлением соответствующих данных в базе. После завершения всех вычислительных операций облачный модуль формирует дельту перемещений товаров, которая представляет собой информацию о том, какой товар должен быть перемещён и куда, формируется ответ и отправляется обратно в интеграционный модуль. Полученные данные о необходимых перемещениях товаров интеграционный модуль конвертирует в вид, воспринимаемый исходной системой, и отправляет их туда. В исходной системе данные отображаются в виде оповещения или сформированного отчёта и передаются конечным работникам склада. Все выявленные излишки или недостатки фиксируются в исходной системе, и происходит обновление соответствующих данных в локальной базе. На этом взаимодействие модулей в рамках бизнес-процесса инвентаризации считается завершённым.

На рисунке 12 представлена BPMN модель взаимодействия модулей в рамках бизнес-процесса комплектации заказа.

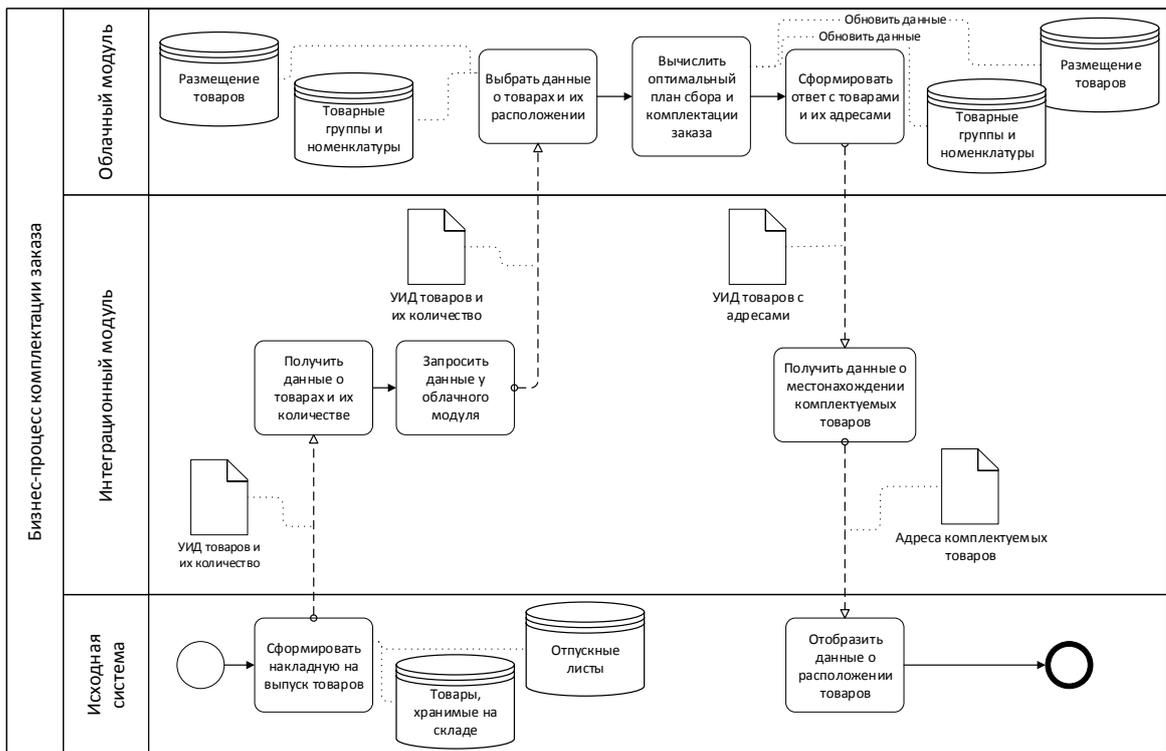


Рисунок 12 - BPMN модель взаимодействия модулей в рамках бизнес-процесса комплектации заказа

Согласно представленной модели взаимодействие начинается с формирования в рамках исходной системы накладной на выпуск товаров и её сохранения в локальной базе данных. Интеграционный модуль отлавливает информацию о начале бизнес-процесса комплектации заказа, получает из исходной системы УИД товаров и их количество, формирует соответствующий запрос к облачному модулю и отправляет его. Получив данные о товарах из сообщения интеграционного модуля, облачный модуль производит выборку соответствующих товаров из облачной базы данных с дополнительной информацией об их расположении. После этого происходит вычисление оптимального плана сбора товаров путём выбора оптимальных адресов, с которых нужно забрать товар для комплектации, с параллельным обновлением соответствующих данных в облачной базе. Далее формируется ответное сообщение с информацией о товарах и их адресах и отправляется обратно на интеграционный модуль. Интеграционный модуль получает ответ, конвертирует его в вид, принимаемый исходной системой, и отправляет ей

адреса товаров для комплектации. Полученная информация отображается в исходной системе в виде отчёта или оповещения и используется конечными работниками склада. На этом взаимодействие модулей в рамках бизнес-процесса комплектации заказа считается завершённым.

Также стоит отметить, что взаимодействие между интеграционным и облачным модулями будет проходить как в синхронном, так и в асинхронном виде. Синхронный ответ облачный модуль будет отправлять при получении корректного сообщения от интеграционного модуля и возможности начать вычисления, асинхронный – в случае отправки интеграционному модулю полученных в результате вычислений результатов. Рассмотрим этот процесс на примере диаграммы последовательности [23] бизнес-процессов приёма и размещения товаров, представленного на рисунке 13.



Рисунок 13 – Диаграмма последовательности интеграционного и облачного модулей в рамках бизнес-процессов приёма и размещения товаров

Согласно представленной модели, в интеграционном модуле происходит формирование сообщения согласно установленному формату в API, и происходит его отправка в облачный модуль. В случае успешного получения сообщения и проверки на соответствие API со стороны облачного модуля отправляется синхронное сообщение о принятии запроса и начале вычислительных процессов или об ошибке в запросе и невозможности их начать. В случае недоступности облачного модуля или иной причины, по которой запрос до него не был доставлен, интеграционный модуль помещает этот запрос в очередь и повторяет отправку 3 раза с периодичностью в полминуты. Если запрос так и не был отправлен, в исходную систему отправляется сообщение в виде оповещения о недоступности облачного модуля. Если запрос был получен, и вычисления были запущены в облачном модуле, после получения результатов он формирует асинхронный ответ и отправляет его в интеграционный модуль. И интеграционный модуль, получив асинхронный ответ, конвертирует его в формат, принимаемый исходной системой. По аналогичному принципу будет строиться процесс отправки сообщений в облачный модуль в остальных бизнес-процессах.

Таким образом, интеграционный модуль позволит свести потерю сообщений к минимуму. В случае отправки запросов без использования очередей, запрос отправляется в систему назначения и если произошёл какой-либо сбой, и сообщение не было доставлено, то возвращается ошибка и запрос либо теряется, либо исходная система получит неправильные данные. Очереди интеграционного модуля, призваны сократить количество такого рода ошибок в системе и повысить гарантию получения результатов вычисления в случае кратковременных сбоев связи.

Далее рассмотрим способы, посредством которых будет происходить взаимодействие между интеграционным и облачным модулями.

### 3.5 Проектирование API программного решения

Из описаний взаимодействий интеграционного и облачного модулей, представленных в предыдущих разделах и пунктах подразделов, было установлено то, что взаимодействие между модулями будет происходить согласно архитектурному стилю взаимодействия REST с использованием отправки синхронных и асинхронных сообщений в формате, установленным API облачного модуля.

API (Application Programming Interface) – это контракт, согласно которому один модуль может получать информацию от другого модуля, соблюдая формат и правила отправки запросов и ответов. Ввиду своей распространённости и поддержке со стороны баз данных во взаимодействие с облачным модулем будет использоваться текстовый формат обмена данными JSON.

Всего было спроектировано 3 основных метода API, по которым будет происходить получение необходимой информации от облачного модуля:

- метод инициации идентификации прибывших на склад товаров с сохранением их в облачной копии базы и отправкой сообщения, содержащего оптимальное расположение для каждого принятого товара, в рамках бизнес-процесса приёмки и размещения товаров;
- метод получения информации об оптимальном месте расположения товаров в рамках бизнес-процесса инвентаризации;
- метод получения информации о месте расположения товаров, товарная группа и количество которых указаны в запросе, в рамках бизнес-процесса комплектации заказа.

Рассмотрим каждый из представленных методов подробнее.

Инициация идентификации прибывших на склад товаров в облачном модуле будет производиться посредством отправки POST-запроса с форматом, представленном на рисунке 14.

```

POST /CloudWarehouse/supply
Host: <ip:port>
Content-Type: application/json; charset=utf-8
Content-Length: <content length>

{
  "supply": [
    {
      "UID": "001A0007845209",
      "product_group": "5558222564",
      "product_name": "name1",
      "quantity": 180,
      "shape": "10*20*35",
      "term_of_realization": "10/08/2025"
    },
    ...
    {
      "UID": "001B1227835299",
      "product_group": "3258222458",
      "product_name": "nameN",
      "quantity": 240,
      "shape": "18*10*20",
      "term_of_realization": "25/12/2028"
    }
  ]
}

```

Рисунок 14 – Пример POST-запроса на инициацию идентификации прибывших товаров и вычисления их мест расположения

Сообщение будет отправляться по внешнему адресу облачного модуля по пути метода /CloudWarehouse/supply. В теле JSON сообщения будет передаваться массив «supply» объектов JSON с описанными в таблице 3 полями.

Таблица 3 – Описание полей тела JSON сообщения метода инициации идентификации прибывших на склад товаров и вычисления их мест расположения на складе

Название поля	Тип поля	Длина поля	Описание
UID	текст	14	УИД товара, полученный в результате сканирования присвоенного штрих-кода
product_group	число	10	Присвоенная товарная группа
product_name	текст	250	Наименование товара
quantity	число	5	Количество товара, поступившее на склад
shape	текст	11	Габаритные размеры одной упаковочной тары
term_of_realization	дата	10	Дата реализации товара

Синхронный ответ по результатам принятия этого запроса облачным модулем будет представлять из себя HTTP-статус – 202 в случае успешного принятия, 400 – в случае некорректного запроса и другие в зависимости от результатов.

После вычисления оптимального расположения товаров в соответствии с полученной и имеющейся информацией, облачным модулем будет сформирован и отправлен асинхронный ответ, пример которого представлен на рисунке 15.

```
POST /IntegrationWarehouse/placing
Host: <ip:port>
Content-Type: application/json; charset=utf-8
Content-Length: <content length>

{
  "placing": [
    {
      "UID": "001A0007845209",
      "product_name": "name1",
      "location": [
        {
          "address": "A25-13-28",
          "quantity": 70
        },
        ...
        {
          "address": "A25-13-30",
          "quantity": 25
        }
      ]
    },
    ...
    {
      "UID": "001B1227835285",
      "product_name": "nameN",
      "location": [
        {
          "address": "A10-07-15",
          "quantity": 50
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Рисунок 15 – Пример асинхронного ответа от облачного модуля с информацией о размещении поступивших товаров

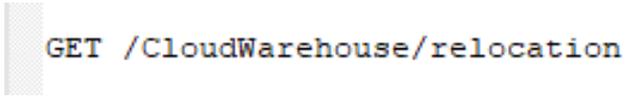
Сообщение будет отправляться по внешнему адресу интеграционного модуля по пути метода /IntegrationWarehouse/placing. В теле JSON сообщения

будет передаваться массив «placing» объектов JSON с полями, описанными в таблице 4.

Таблица 4 - Описание полей тела JSON сообщения ответа облачного модуля с информацией о размещении принятых товаров на складе

Название поля	Тип поля	Длина поля	Описание
UID	текст	14	УИД товара, полученный в результате сканирования присвоенного штрих-кода
product_name	текст	250	Наименование товара
location	массив	-	Массив json объектов с информацией об адресах размещения товара
location[].address	текст	15	Адрес ячейки на складе
location[].quantity	число	5	Количество упаковочных тар, размещаемых в ячейке

Инициация вычисления оптимального места расположения товаров в рамках бизнес-процесса инвентаризации будет производиться посредством отправки GET-запроса с форматом, представленном на рисунке 16.



```
GET /CloudWarehouse/relocation
```

Рисунок 16 – Формат GET-запроса на инициацию вычисления оптимальных адресов размещения товаров в рамках бизнес-процесса инвентаризации

Сообщение будет отправляться по внешнему адресу облачного модуля по пути метода /CloudWarehouse/relocation и запускать вычисление оптимальных адресов размещения для имеющихся на складе товаров. Поскольку запрос будет также асинхронным, то сначала в интеграционный модуль придёт синхронный ответ с HTTP-статусом принятия облачным модулем запроса, а после выполнения всех необходимых вычислений и

формирования ответа облачным модулем будет отправлен асинхронный ответ, пример формата которого представлен на рисунке 17.

```
POST /IntegrationWarehouse/relocation
Host: <ip:port>
Content-Type: application/json; charset=utf-8
Content-Length: <content length>

{
  "relocation": [
    {
      "UID": "001A0007845209",
      "product_name": "name1",
      "old_location": {
        "address": "A25-13-28",
        "quantity": 30
      },
      "new_address": "A25-13-30"
    },
    ...
    {
      "UID": "001B0005461254",
      "product_name": "nameN",
      "old_location": {
        "address": "B13-45-02",
        "quantity": 5
      },
      "new_address": "B07-08-13"
    }
  ]
}
```

Рисунок 17 – Пример асинхронного ответа от облачного модуля с информацией об оптимизации размещения товаров

Сообщение будет отправляться по внешнему адресу интеграционного модуля по пути метода /IntegrationWarehouse/relocation. В теле JSON сообщения будет передаваться массив «relocation» объектов JSON с полями, описанными в таблице 5.

Таблица 5 - Описание полей тела JSON сообщения ответа облачного модуля с информацией об оптимизации размещения товаров на складе.

Название поля	Тип поля	Длина поля	Описание
UID	текст	14	УИД товара, полученный в результате сканирования присвоенного штрих-кода
product_name	текст	250	Наименование товара
old_location	объект	-	Объект json объектов с информацией о старом размещении товара с количеством, которое необходимо оттуда переместить
old_location.address	текст	15	Адрес ячейки на складе
old_location.quantity	число	5	Количество упаковочных тар, которые необходимо переместить
new_address	текст	15	Новый адрес размещения товара

Инициация получения информации о месте расположения товаров в рамках бизнес-процесса комплектации заказа будет производиться посредством отправки POST-запроса с форматом, представленном на рисунке 18.

```

POST /CloudWarehouse/picking
Host: <ip:port>
Content-Type: application/json; charset=utf-8
Content-Length: <content length>

{
  "picking": [
    {
      "UID": "001A0007845209",
      "product_group": "5558222564",
      "product_name": "name1",
      "quantity": 90
    },
    ...
    {
      "UID": "001C0007785463",
      "product_group": "1788225831",
      "product_name": "nameN",
      "quantity": 50
    }
  ]
}

```

Рисунок 18 – Пример POST-запроса на инициацию получения адресов расположения товаров, оптимальных для процесса комплектации заказа

Сообщение будет отправляться по внешнему адресу облачного модуля по пути метода /CloudWarehouse/picking. В теле JSON сообщения будет передаваться массив «picking» объектов JSON с полями, описанными в таблице 6.

Таблица 6 - Описание полей тела JSON сообщения метода инициации получения адресов ячеек, оптимальных для процесса комплектации заказа

Название поля	Тип поля	Длина поля	Описание
UID	текст	14	УИД товара, полученный в результате сканирования присвоенного штрих-кода
product_group	число	10	Товарная группа
product_name	текст	250	Наименование товара
quantity	число	5	Количество товара, необходимое для комплектации заказа

Синхронный ответ по результатам принятия этого запроса облачным модулем будет представлять из себя HTTP-статус – 202 в случае успешного принятия, 400 – в случае некорректного запроса и другие в зависимости от результатов.

После завершения вычислений и формирования ответа с информацией о товарах и их адресах облачным модулем, будет произведена отправка асинхронного ответа, пример которого представлен на рисунке 19.

```

POST /IntegrationWarehouse/picking
Host: <ip:port>
Content-Type: application/json; charset=utf-8
Content-Length: <content length>

{
  "picking": [
    {
      "UID": "001A0007845209",
      "product_name": "name1",
      "location": [
        {
          "address": "A25-13-28",
          "quantity": 50
        },
        ...
        {
          "address": "A25-13-30",
          "quantity": 15
        }
      ]
    },
    ...
    {
      "UID": "001C0007785463",
      "product_name": "name1",
      "location": [
        {
          "address": "A25-13-28",
          "quantity": 50
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Рисунок 19 – Пример асинхронного ответа облачного модуля с информацией о расположении товаров, комплектуемых в заказ

Сообщение будет отправляться по внешнему адресу интеграционного модуля по пути метода /IntegrationWarehouse/picking. В теле JSON сообщения будет передаваться массив «picking» объектов JSON с полями, описанными в таблице 7.

Таблица 7 – Описание полей тела JSON сообщения ответа облачного модуля с информацией о размещении комплектуемых товаров на складе

Название поля	Тип поля	Длина поля	Описание
UID	текст	14	УИД товара, полученный в результате сканирования присвоенного штрих-кода
product_name	текст	250	Наименование товара
location	массив	-	Массив json объектов с информацией об адресах размещения товара
location[].address	текст	15	Адрес ячейки на складе
location[].quantity	число	5	Количество упаковочных тар, размещаемых в ячейке

Таким образом, описанный API взаимодействия с облачным модулем будет содержать 3 основных асинхронных метода, в основе которых лежат бизнес-процессы приёмки и размещения товаров, инвентаризации и перемещения товаров, комплектации заказов.

### **3.6 Выбор стратегии миграции данных в облачную среду**

Чтобы вся описанная выше связка программных компонент была способна выполнять свои функции, ей потребуются данные из базы, существующие в исходной системе о товарах, поставках и отгрузках. В проектной модели, описанной в подразделе 2.1 был описан такой аспект, как одновременное поддержание двух рабочих копий базы данных – старой версии, связанной с исходной системой в целях уменьшения спектра изменений, которые необходимо было бы произвести при отказе от неё, и новой, содержащей данные, мигрированные из старой и дополненной новыми данными, вычисленными или необходимыми для вычислений, проводимых в облачной части программного решения. В новую базу данных сведения попадут путём миграции. Под миграцией данных в этом случае понимается процесс перемещения данных из локальных ресурсов в виртуальное облачное пространство.

Целью размещения копии базы данных в облаке является размещение данных как можно ближе к вычислениям и в дополнение в наиболее эффективной по производительности и безопасности, гибкой и масштабируемой среде.

Процесс миграции данных может быть полным и частичным, или, другими словами, постепенным. При полной миграции данных сначала происходит совместное обсуждение с заказчиком программного решения, какие данные будут переноситься в облако, а какие останутся в локальной среде, затем определяется последовательность, в которой будут проходить миграцию данные с целью сохранения их целостности. Следующим шагом

происходит согласование непосредственно процесса проведения миграции, его сроков и условий. И последний шаг – непосредственно мигрирование данных согласно установленному плану. Частичная, или постепенная, миграция используется, в основном, в случае достаточно сложной и разветвлённой структуры данных, которую необходимо мигрировать. В этом случае разрабатывается карта миграции, и процесс производится в несколько этапов, установленных на стадии анализа. Этот метод используется в больших компаниях с значительными объёмами данных.

Поскольку мы рассматриваем предприятия малого и среднего бизнеса, то вероятнее всего, будет предпочтительней использование полной миграции, но это будет зависеть от конечного потребителя программного решения. В этом случае на первом этапе будет происходить полный перенос данных в облачную среду. Время выполнения этого этапа будет зависеть от объёмов данных, хранимых в базе данных, связанной с исходной системой. При этом не подразумевается прерывание доступа у данным из старой системы, чтобы действия не повлияли на текущие бизнес-процессы на складском предприятии.

Далее будет следовать период пробной эксплуатации облачной части и отладка совместимости данных. Заключительным этапом станет конечная актуализация данных и рабочий запуск процессов актуализации данных на обеих копиях базы данных [49].

В результате проектирования модели программного решения оптимизации бизнес-процессов складского хозяйства была спроектирована модель, состоящая из исходной системы, облачного модуля, в который была вынесена вся вычислительная нагрузка по определению оптимальных адресов ячеек размещения товаров и интеграционного модуля, посредством которого будет происходить взаимодействие между исходной системой и облачным модулем.

Исходная система в данном случае будет выступать в роли поддержания взаимодействия с ТСД для обеспечения идеи адресного хранения товаров,

генерации и распечатки штрих-кодов для новых поступающих на склад товаров, распечатки накладных. Взаимодействие между интеграционным и облачным модулями будет происходить средствами REST API, предоставляемым облачным модулем.

### Выводы к разделу 3

Проведён анализ достоинств и недостатков облачной архитектуры и облачных вычислений, в процессе выбора вида адресного хранения был разработан комбинированный вид, собирающий в себе достоинства статического и динамического адресного хранения и восполняющий в себе их недостатки.

Спроектирована модель программного решения, основными компонентами которой стали облачный модуль, в который будут вынесены все вычисления, и интеграционный модуль, выступающий связующим звеном между исходной системой, используемой на складском предприятии, и облачным модулем, реализующим принципы адресного хранения.

#### **4 Реализация модели программного решения и анализ результатов её применения**

Для проверки возможности применения спроектированной модели программного решения и степени обеспечения повышения эффективности исполнения складских бизнес-процессов необходимо реализовать две основные компоненты описанной в предыдущих научных работах модели – это облачный модуль, несущий в себе всю вычислительную нагрузку и разворачиваемый в облачной платформе [37, 44], и интеграционный модуль, принимающий запросы от исходной системы о необходимости получения результата вычислений для одного из бизнес-процессов, а также формирующий и отправляющий соответствующие запросы облачному модулю, получающий и конвертирующий ответы от него в воспринимаемый исходной системой формат.

Также в предыдущих разделах была определена необходимость использования очередей сообщений для обеспечения большей гарантии получения результатов от облачного модуля в случае возникновения того или иного вида сбоя работы. Интеграционный модуль, выступая в роли клиента в общении с облачным модулем, будет отправлять асинхронные запросы в виде сообщений, которые будут помещаться в очередь, откуда экземпляры облачного модуля будут получать и обрабатывать их. Таким образом, если возникнет необходимость разворачивать больше одного интеграционного модуля, связанного с исходной системой, установленной на каждой рабочей станции складских работников, то экземпляры облачного модуля будут способны обрабатывать сообщения без зависимости между интеграционными модулями [7, 22]. Общая схема взаимодействия модулей с использованием очереди представлена на рисунке 20.

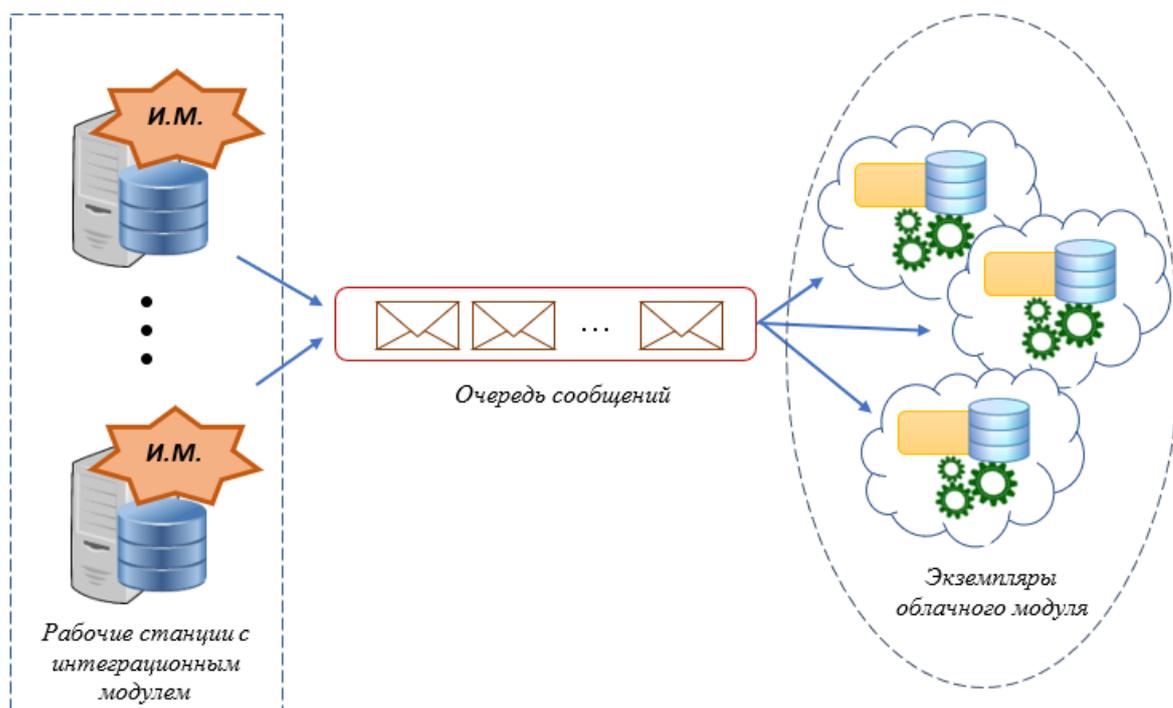


Рисунок 20 – Схема взаимодействия интеграционного и облачного модулей с использованием очереди сообщений

Применение описанного решения позволит:

- выровнять нагрузку, так как в данном случае очередь будет представлять собой буфер между экземплярами интеграционного модуля и экземплярами облачного модуля. Этот буфер позволит обеспечить большую доступность облачных сервисов и увеличить скорость обработки запросов в целом, поскольку будет обеспечена одновременная обработка время затратных запросов [39];

- повысить надёжность, так как с использованием очереди минимизируется вероятность потери сообщения при каком-либо сбое со стороны облачного модуля, поскольку в этом случае сообщения не отправляются конкретному экземпляру и могут быть обработаны любым экземпляром, доступным на данный момент;

- обеспечить масштабируемость тем, что система сможет динамически увеличивать или уменьшать количество экземпляров облачного модуля при изменении объёма сообщений;

– повысить отказоустойчивость при реализации в очереди транзакционного чтения. В этом случае если обработка сообщения на стороне облачного модуля будет происходить как часть транзакционной операции, то в случае сбоя последнего сообщение будет возвращено обратно в очередь, где его возьмёт в работу другой доступный экземпляр облачного модуля.

Поскольку цель текущей работы – доказательство эффективности спроектированной в предыдущих научных работах модели программного решения, предназначение которого состоит в повышении эффективности складских бизнес-процессов, то в последующих подразделах будет представлен один из вариантов реализации компонент реализуемой модели, применение которого позволит провести эксперименты и установить степень эффективности модели. Перейдём к рассмотрению реализации компоненты «Облачный модуль».

#### **4.1 Реализация компоненты «Облачный модуль»**

Реализация представленных в этой работе компонент проводилась с использованием следующих основных средств:

- высокоуровневый объектно-ориентированный строго типизированный язык программирования Java 8 версии;
- программная платформа Spring Boot, позволяющая осуществлять быструю разработку web-приложений на основе Spring Framework [4, 53];
- программная платформа Spring Cloud, облегчающая разработку облачных приложений, путём предоставления решений для наиболее распространённых проблем, возникающих при разработке такого типа приложений [44, 53];
- спецификация JPA (Java Persistence API), предоставляющая возможность сохранения в базе данных Java-объектов в удобном для последующей обработки виде [53];

– объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL, используемая для хранения данных облачного модуля [41];

– менеджер зависимостей Apache Maven, позволяющий автоматизировать сборку проектов на основе их структурного описания.

На рисунке 21 представлена диаграмма пакетов компоненты «Облачный модуль».

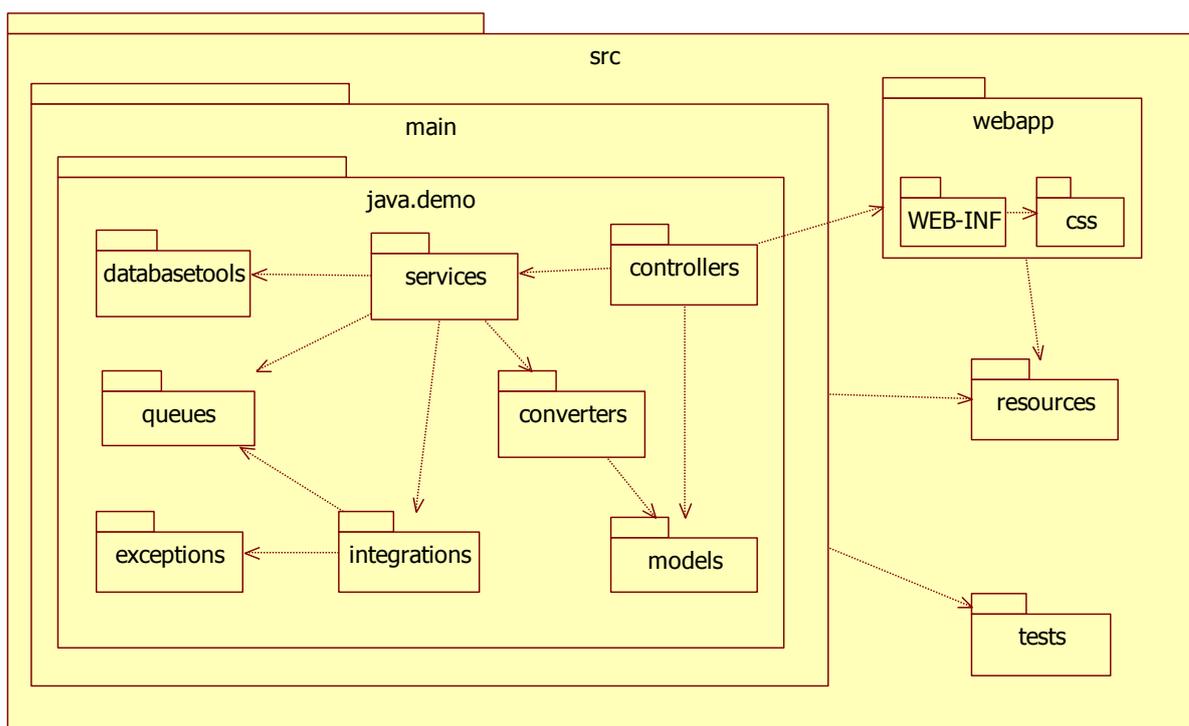


Рисунок 21 – Диаграмма пакетов компоненты «Облачный модуль»

На этом рисунке помимо WarehouseModuleApp – главного класса приложения, инициирующего его работу, и свойств приложения, описанных в файле application.properties, представлен набор пакетов верхнего уровня:

– пакет controllers содержит в себе контроллеры, обрабатывающие запросы, принимаемые, от интеграционного модуля, и отправляемые обратно с результатами вычислений;

– пакет converters содержит преобразователи. Поскольку интеграционный модуль отправляет данные, хранящиеся в исходной системе,

для проведения вычислений модели входящих сообщений необходимо дополнить специфичной информацией, необходимой для вычислений и хранящейся в облачном модуле посредством вызова соответствующих методов классов-преобразователей, расположенных в этом пакете;

- пакет `databasetools` содержит в себе классы, обрабатывающие действия, проводимые с базой данных согласно спецификации JPA. Здесь расположены классы хранимых в базе данных сущностей, интерфейсы репозитория, содержащие все действия по управлению данными, хранимыми в сущностях, реализации этих сервисов, или, другими словами, сервисы, реализующие действия по управлению данными, и другие утилитные классы, предназначенные для работы с базой данных;

- пакет `exceptions` содержит классы собственных исключений, которые могут быть сгенерированы в процессе работы облачного модуля;

- в пакете `integrations` находятся классы, содержащие в себе форматы входящих и исходящих сообщений согласно разработанному в предыдущей работе API, и участвующие в принятии информации от интеграционного модуля и формировании ответа модуля с вычисленной информацией;

- пакет `models` содержит модели данных склада, используемые при расчёте адресов ячеек хранения;

- в пакете `queues` – классы по работе с очередью и обработке получаемых из неё сообщений;

- в пакете `services` находится вся бизнес-логика модуля, заключающаяся в расчёте адресов хранения товаров с использованием объединения статического и динамического способа хранения и ABC-, XYZ-анализов по алгоритму, описанному в предыдущей работе.

Описанные выше составляющие пакетов обеспечивают работу компоненты «Облачный модуль», реализуя описанную ранее бизнес-логику по вычислению адресов хранения товаров.

Перейдём к рассмотрению реализации компоненты «Интеграционный модуль».

## 4.2 Реализация компоненты «Интеграционный модуль»

Рассмотрим один из вариантов реализации интеграционного модуля спроектированной модели. На рисунке 22 представлена диаграмма пакетов компоненты «Интеграционный модуль».

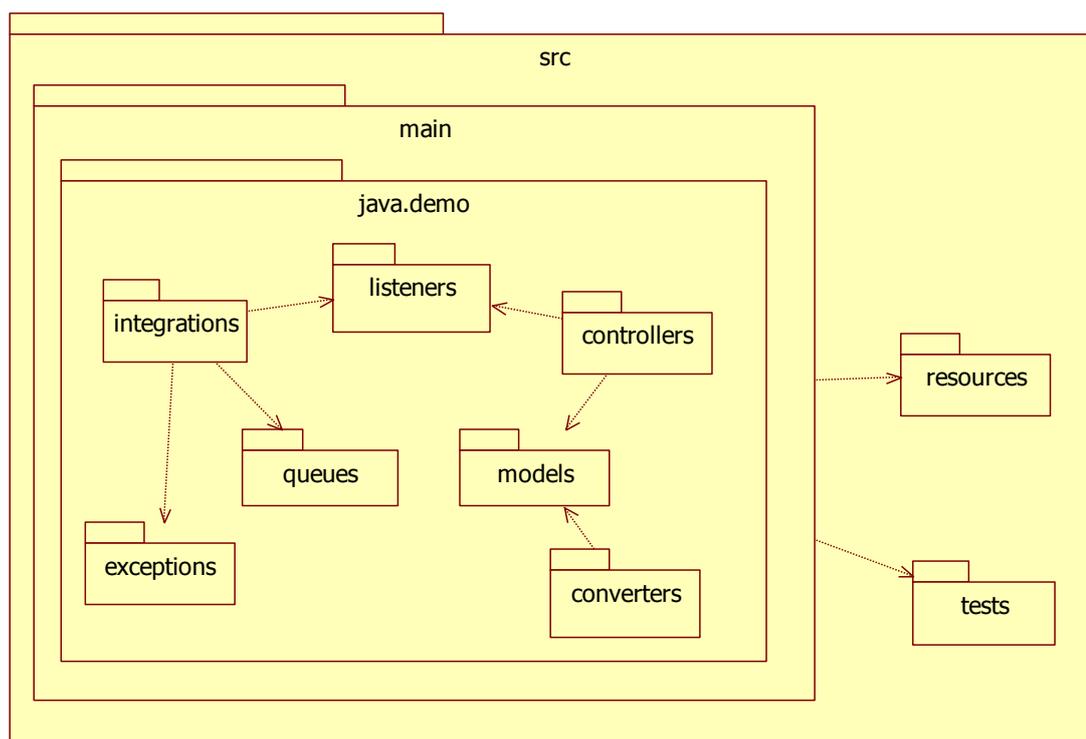


Рисунок 22 – Диаграмма пакетов компоненты «Интеграционный модуль»

На этом рисунке изображена структура основных пакетов аналогично описанной ранее в подразделе описания реализации компоненты «Облачный модуль». В данном случае также помимо `IntegrationModuleApp` – главного класса приложения, инициирующего его работу, и свойств приложения, описанных в файле `application.properties`, представлен свой набор пакетов верхнего уровня:

– пакет `controllers` также содержит в себе контроллеры, обрабатывающие запросы, отправляемые облачному модулю с целью получения результатов вычисления для того или иного бизнес-процесса;

– пакет `converters` аналогично содержит классы-преобразователи, трансформирующий данные, получаемые из облачного модуля, в пригодный для последующей обработки вид;

– пакет `exceptions` содержит классы собственных исключений, которые могут быть сгенерированы в процессе работы интеграционного модуля;

– в пакете `integrations` находятся классы-представления входящих сообщений, принимаемых от облачного модуля, и исходящих сообщений, посылаемых ему для получения соответствующего результата, согласно разработанному в предыдущей работе API;

– пакет `listeners` содержит в себе так называемые слушатели действий исходной системы, которые инициируют сбор необходимой информации и её отправку облачному модулю для получения соответствующего вычислительного результата в рамках того или иного складского бизнес-процесса, который позволит оптимизировать деятельность складского предприятия;

– в пакете `models` находятся также основные модели внутреннего представления складского предприятия для синхронизации с облачным модулем и корректной конвертации полученных результатов в пригодный для дальнейшей обработки вид;

– пакет `queues` аналогично содержит классы для работы с очередью сообщений, позволяющие помещать в неё сообщения и получать из неё соответствующие ответы. Также здесь находится обработка ситуаций, при которых недоступна отправка сообщений облачному модулю по каким-либо причинам, и организован механизм повторной их отправки.

Описанные выше составляющие пакетов обеспечивают работу компоненты «Интеграционный модуль», путём реализации отправки асинхронных запросов облачному модулю в инициируемый исходной системой момент совершения одного из складских бизнес-процессов и принятия ответов с результатами вычисления адресов обрабатываемых хранимых единиц.

Инициация отправки запросов облачному модулю может происходить различными способами. Поскольку в данной работе одной из задач является доказательство эффективности модели в общем случае, осуществляемое путём внедрения облачного модуля с реализацией принципов адресного хранения, без специализации под конкретное складское предприятие, то далее будут рассмотрены основные методы интеграции исходной системы с «Интеграционным модулем», которые могут быть применены в дальнейшем.

Интеграция может производиться путём реализации одного из следующих вариантов:

- ручной ввод всех необходимых данных в интеграционный модуль через заранее разработанную для этих целей jsp страницу. В данном случае «Интеграционный модуль» будет являться веб-приложением, к которому будет добавлен веб-модуль с набором необходимых форм для отправки запросов, соответствующих разработанному ранее API;

- интеграция с исходной системой путём изменения её конфигурации с добавлением в её пользовательский интерфейс элементов управления интеграционного модуля с предоставлением ему прямого доступа ко всей необходимой информации, хранимой в базе данных, для отправки в облачный модуль.

Подводя итоги всего вышеизложенного, мы описали один из вариантов реализации основных компонент спроектированной модели – «Интеграционного модуля» и «Облачного модуля», который может быть использован на каком-либо складском предприятии с целью повышения эффективности выполнения основных складских бизнес-процессов.

#### **4.3 Анализ результатов применения реализации спроектированной модели**

Описанная в предыдущем разделе реализация спроектированной модели была предложена к применению на предприятии ООО «Лада-Пресс»,

занимающимся производством частей и принадлежностей для автотранспортных средств и использующим в своём производстве склады для хранения готовой продукции и её распределения между дальнейшими потребителями. Поскольку данное предприятие имеет циклические заявки на поставки и отгрузки, мы попросили произвести замеры времени выполнения складских бизнес-процессов на одних и тех же заявках с использованием их текущей системы низшего уровня и с использованием разработанной реализации. Таким образом, были получены наборы результатов временных затрат на размещение материалов по 5 одинаковым поставкам, на сборку 10 заявок на отгрузку и процесса инвентаризации в целом как без использования, так и с использованием разработанной модели. Рассмотрим подробнее каждый из них.

#### **4.3.1 Сравнение результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса приёмки и размещения**

В результате проведения экспериментов и замера времени выполнения бизнес-процесса приёмки и размещения материалов на склад, описанного выше производства, нам были переданы 2 независимые выборки [5] по 5 элементов в каждой, представленные в таблице 8.

Таблица 8 - Результаты экспериментов в рамках бизнес-процесса приёмки и размещения

№ эксперимента	Время выполнения бизнес-процесса без использования модуля, мин	Время выполнения бизнес-процесса с использованием модуля, мин
1	65	54
2	78	59
3	58	49
4	63	55
5	74	58

В связи с тем, что на результаты, представленные в таблице выше воздействует множество внешних случайных факторов, согласно которым результат не будет всегда одинаковым, то представленные наборы результатов экспериментов можно назвать статистическими.

Следовательно, все предположения, основывающиеся на статистических результатах, будут являться гипотезами, то есть предположениями о свойствах генеральной совокупности.

Для оценки результатов экспериментов выдвигается некоторая основная гипотеза, обозначаемая как  $H_0$ , и противоположная ей – альтернативная гипотеза  $H_1$  [2, 5, 20].

Таким образом, чтобы проверить эффективность применения реализации спроектированной модели, была сформулирована гипотеза  $H_0$ : «Применение реализации спроектированной модели не приведёт к изменению времени выполнения бизнес-процесса приёма и размещения входящих на склад поставок».

Соответственно, альтернативная гипотеза  $H_1$  была сформулирована следующим образом: «Применение реализации спроектированной модели приведёт к уменьшению времени исполнения бизнес-процесса приёма и размещения входящих на склад поставок».

При проверке статистической гипотезы будем использовать средний уровень значимости  $\alpha$ , равный 0,01 [2]. В качестве критериев оценки были выбраны:

- среднее время выполнения бизнес-процесса приёма и размещения без использования спроектированного модуля;
- среднее время выполнения бизнес-процесса приёма и размещения с использованием спроектированного модуля.

Отообразим полученные результаты экспериментов на гистограмме, представленной на рисунке 23.

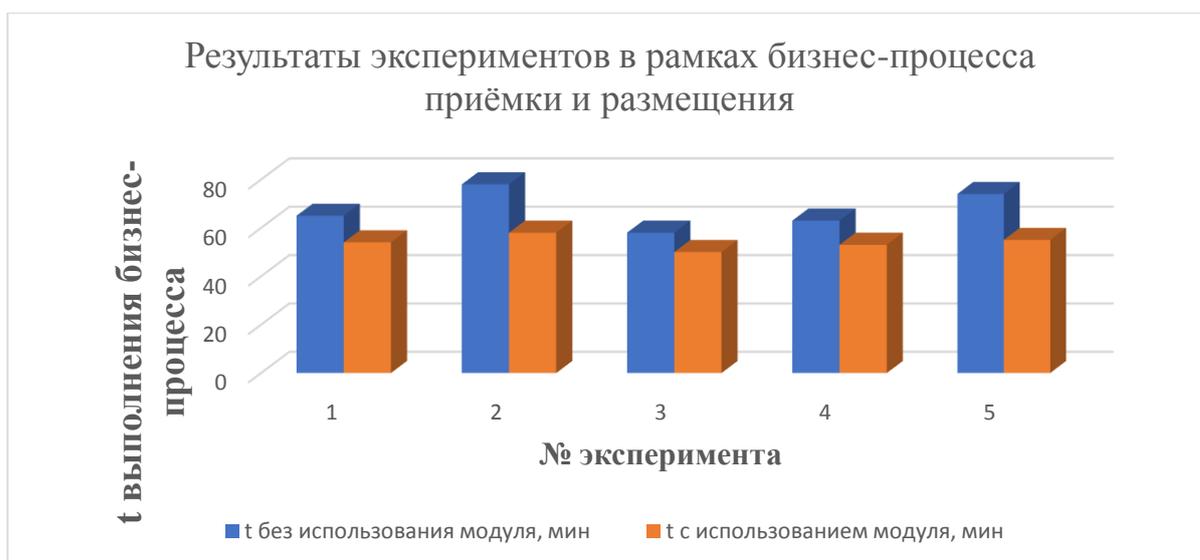


Рисунок 23 – Диаграмма сравнения результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса приёмки и размещения

В целом, можем наблюдать уменьшение времени выполнения бизнес-процесса приёмки и размещения входящих на склад заявок при использовании реализации спроектированной модели, однако, чтобы сделать окончательный вывод об увеличении эффективности исполнения бизнес-процесса при использовании спроектированной модели, обратимся к t-критерию Стьюдента для независимых выборок.

Первым шагом – вычислим для каждой статистической выборки значения среднего арифметического и дисперсии по формулам [2, 20]:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где  $m$  – среднее арифметическое статистической выборки,

$n$  – количество элементов в статистической выборке,

$x_i$  – элемент статистической выборки.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{n - 1}, \quad (2)$$

где  $s^2$  – дисперсия статистической выборки,

$n$  – количество элементов статистической выборки,

$x_i$  – элемент статистической выборки,

$m$  – среднее арифметическое статистической выборки.

Среднее арифметическое первой статистической выборки, полученной в результате экспериментов без использования разработанной модели, вычисленное по формуле (1):

$$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{5} = \frac{338}{5} = 67,6.$$

Среднее арифметическое второй статистической выборки, полученной в результате экспериментов с использованием разработанной модели, вычисленное по формуле (1):

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{5} = \frac{270}{5} = 54.$$

Дисперсия первой статистической выборки, вычисленная по формуле (2):

$$s_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - 67,6)^2}{5 - 1} = \frac{269,2}{4} = 67,3.$$

Дисперсия второй статистической выборки, вычисленная по формуле (2):

$$s_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - 54)^2}{5 - 1} = \frac{34}{4} = 8,5.$$

Так как рассматриваемые статистические выборки независимые, дисперсии не равны, и основная гипотеза заключается в отсутствии изменений значений, используем формулу для вычисления t-критерия Стьюдента [19], представленную ниже:

$$t = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad (3)$$

где  $t$  – t-критерий Стьюдента,

$m_1$  – среднее арифметическое первой статистической выборки,

$m_2$  – среднее арифметическое второй статистической выборки,

$s_1^2$  – дисперсия первой статистической выборки,

$s_2^2$  – дисперсия второй статистической выборки,

$n_1$  – количество элементов первой статистической выборки,

$n_2$  – количество элементов второй статистической выборки.

Таким образом, t-критерий Стьюдента для представленных выборок, вычисленный по формуле (3):

$$t = \frac{67,6 - 54}{\sqrt{\frac{67,3}{5} + \frac{8,5}{5}}} = \frac{13,6}{\sqrt{\frac{75,8}{5}}} = \frac{13,6}{3,89} \approx 3,49.$$

Согласно таблице критических значений Стьюдента выбранному ранее для проверки уровню значимости  $\alpha$ , равному 0,01 и степеням свободы, равным  $df = 5 + 5 - 2 = 8$  соответствует значение, равное 3,355. Поскольку вычисленное значение t-критерия Стьюдента больше критического значения из таблицы, можно сделать вывод о том, что ранее выдвинутая основная гипотеза отклоняется и принимается альтернативная гипотеза о том, что после применения разработанного модуля будет наблюдаться уменьшение времени выполнения бизнес-процесса приёмки и размещения входящих на склад

заявок [20]. Следовательно, различия в среднем времени выполнения бизнес-процесса также могут считаться достоверными.

Таким образом, согласно представленным расчётам, применение спроектированного модуля позволит увеличить эффективность исполнения бизнес-процесса приёма и размещения входящих на склад поставок материалов или товаров посредством уменьшения среднего времени исполнения рассматриваемого бизнес-процесса.

Перейдём к рассмотрению результатов экспериментов, проведённых в рамках исполнения бизнес-процесса сборки заказов.

#### **4.3.2 Сравнение результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса сборки заказов**

В результате проведения экспериментов и замера времени выполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заявок на отгрузку со склада, нам были переданы так же, как и в случае бизнес-процесса приёма и размещения, 2 независимые выборки, но с 10 элементами в каждой. Результаты замеров представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты экспериментов в рамках бизнес-процесса сборки и комплектации заказов

№ эксперимента	Время выполнения бизнес-процесса без использования модуля, мин	Время выполнения бизнес-процесса с использованием модуля, мин
1	144	105
2	118	94
3	149	101
4	134	87
5	98	65
6	126	74
7	103	67
8	128	87
9	107	72
10	121	88

Представленные наборы результатов ввиду воздействия случайных факторов также можно назвать статистическими, и, следовательно, для их оценки можно выдвинуть основную и альтернативную гипотезы, как было описано в предыдущем подразделе.

Таким образом, для проверки эффективности применения реализации спроектированной модели для процесса сборки и комплектации заказов, была сформулирована гипотеза  $H_0$ : «Применение реализации спроектированной модели не приведёт к изменению времени выполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заявок на отгрузку хранимых единиц со склада». Соответственно, альтернативная гипотеза  $H_1$  была сформулирована следующим образом: «Применение реализации спроектированной модели приведёт к уменьшению времени исполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заявок на отгрузку хранимых единиц со склада».

При проверке статистической гипотезы будем, аналогично с предыдущим подразделом, использовать средний уровень значимости  $\alpha$ , равный 0,01. В качестве критериев оценки были выбраны:

- среднее время выполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заказов без использования спроектированного модуля;
- среднее время выполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заказов с использованием спроектированного модуля.

Отообразим полученные результаты экспериментов на гистограмме, представленной на рисунке 24.



Рисунок 24 – Диаграмма сравнения результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса сборки и комплектации заказов

В целом, как и в случае с результатами экспериментов в рамках бизнес-процесса приёма и размещения, можем наблюдать уменьшение времени выполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заказов на отгрузку хранимых единиц со склада при использовании реализации спроектированной модели, однако, чтобы сделать окончательный вывод об увеличении эффективности исполнения бизнес-процесса при использовании спроектированной модели, аналогично обратимся к t-критерию Стьюдента для независимых выборок.

Используя формулы (1) и (2), первым шагом вычислим для каждой исследуемой статистической выборки значения среднего арифметического и дисперсии. Среднее арифметическое первой статистической выборки, полученной в результате экспериментов без использования разработанной модели, вычисленное по формуле (1):

$$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10} = \frac{1228}{10} = 122,8.$$

Среднее арифметическое второй статистической выборки, полученной в результате экспериментов с использованием разработанной модели, вычисленное по формуле (1):

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10} = \frac{840}{10} = 84.$$

Дисперсия первой статистической выборки, вычисленная по формуле (2):

$$s_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - 122,8)^2}{10 - 1} = \frac{2581,6}{9} \approx 286,84.$$

Дисперсия второй статистической выборки, вычисленная по формуле (2):

$$s_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - 84)^2}{10 - 1} = \frac{1758}{9} \approx 195,33.$$

Так как рассматриваемые статистические выборки независимые, дисперсии не равны, и основная гипотеза заключается в отсутствии изменений значений, используя формулу (3), вычислим t-критерий Стьюдента для представленных выборок:

$$t = \frac{122,8 - 84}{\sqrt{\frac{286,84}{10} + \frac{195,33}{10}}} = \frac{38,8}{\sqrt{\frac{482,1778}{10}}} = \frac{38,8}{6,9439} \approx 5,588.$$

Согласно таблице критических значений Стьюдента выбранному ранее для проверки уровню значимости  $\alpha$ , равному 0,01 и степеням свободы, равным  $df = 10 + 10 - 2 = 18$  соответствует значение, равное 2,878. Поскольку

вычисленное значение t-критерия Стьюдента больше критического значения из таблицы, можно сделать вывод о том, что ранее выдвинутая основная гипотеза отклоняется и принимается альтернативная гипотеза о том, что после применения разработанного модуля будет наблюдаться уменьшение времени выполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заказов на отгрузку хранимых единиц со склада. Следовательно, различия в среднем времени выполнения бизнес-процесса также могут считаться достоверными [20].

Таким образом, согласно представленным расчётам, применение спроектированного модуля позволит увеличить эффективность исполнения бизнес-процесса сборки и комплектации заказов на отгрузку хранимых единиц со склада посредством уменьшения среднего времени исполнения рассматриваемого бизнес-процесса.

Перейдём к рассмотрению результатов экспериментов, проведённых в рамках исполнения бизнес-процесса инвентаризации.

#### **4.3.3 Сравнение результатов экспериментов в рамках бизнес-процесса инвентаризации**

Поскольку бизнес-процесс инвентаризации проводится на предприятии одновременно для всех хранимых на складе номенклатур, в данном случае были предоставлены не наборы значений времени выполнения бизнес-процесса для каждой отдельной номенклатуры, как было описано в предыдущих двух подразделах в случае с заявками, а было предоставлено 2 значения – среднее время проведения инвентаризации без использования системы на основании результатов ранее проводимых инвентаризаций и время, затраченное на инвентаризацию с использованием реализации спроектированной модели.

Таким образом, согласно представленным значениям, у предприятия при использовании старой системы низшего уровня на бизнес-процесс инвентаризации уходило в среднем 12 часов. При использовании спроектированного модуля на бизнес-процесс было потрачено в полтора раза меньше времени – примерно 8 часов. Поскольку это единственный результат,

а количество хранимых на складе единиц – число непостоянное и изменяющееся в зависимости от товарооборота, полученные значения не представляется возможным оценить по t-критерию Стьюдента, и судить о гарантированном уменьшении времени исполнения бизнес-процесса инвентаризации не представляется возможным [35]. Однако, учитывая тот факт, что даже в единственном случае наблюдается уменьшение времени выполнения бизнес-процесса, можно сделать предположение, что оно будет наблюдаться и при дальнейшем использовании спроектированного модуля. Проверить это предположение представится возможным после получения дальнейших результатов замеров времени исполнения бизнес-процесса.

Исходя из всех полученных результатов экспериментов и их статистической оценки, можно сделать вывод о том, что применение спроектированной модели позволит увеличить эффективность исполнения бизнес-процессов приёма и размещения входящих на склад хранимых единиц, инвентаризации и сборки и комплектации заказов на отгрузку хранимых единиц со склада посредством уменьшения среднего времени исполнения каждого из них.

#### Выводы к разделу 4

Был разработан один из вариантов реализации спроектированной ранее модели, включающий в себя облачный модуль, интеграционный модуль механизм очереди сообщений, используемый при их взаимодействии. Затем был произведён анализ статистических гипотез на основании полученных от предприятия малого и среднего бизнеса города Тольятти результатов применения реализации спроектированной модели, в результате которого была принята альтернативная гипотеза о том, что спроектированная ранее модель способна обеспечить увеличение эффективности исполнения бизнес-процессов на складе за счёт сокращения среднего времени их исполнения.

## Заключение

В рамках представленной магистерской диссертации проводилось исследование WMS-систем с целью выявления проблем оптимизации бизнес-процессов в сфере складской логистики с поиском путей их решения. Определение проблема и путей её решения проводилось среди «коробочных» систем и систем управления складом низшего уровня в силу того, что анализ современных систем управления показал, что именно эти классы систем имеют наибольшее распространение среди предприятий малого и среднего бизнеса. Это вызвано тем фактом, что стоимость лицензий и обслуживания этих систем ниже в сравнении с теми же адаптируемыми, конфигурируемыми и изготавливаемыми на заказ системами, и они не имеют излишнего для небольшого предприятия функционала. В ходе этого исследования были выявлены недостатки этих систем и сформулированы критерии и требования, которым должна была отвечать новая проектируемая модель программного решения, призванного повысить эффективность исполнения складских бизнес-процессов.

Практической значимостью проведённого исследования можно считать спроектированную модель программного решения, расширяющую функционал и восполняющую недостатки работы «коробочных» систем и систем управления складом низшего уровня за счёт реализации принципов адресного хранения и применения облачных вычислений. Новая спроектированная модель программного решения позволяет за счёт добавления к исходной системе интеграционного модуля взаимодействовать с облачным модулем, в который были вынесены все основные время затратные вычисления. Также благодаря реализации облачной архитектуры у предприятия, использующего эту модель, будет реализовано резервное копирование всех хранящихся в системе данных за счёт использования копии исходной базы данных, обогащённой информацией, необходимой для вычислений.

С целью проверки возможности применения спроектированной модели был разработан один из вариантов её реализации, который прошёл апробацию на одном из предприятий города Тольятти. К дальнейшему анализу были представлены результаты применения модели в виде замеров времени исполнения основных бизнес-процессов как с использованием исходной системы, так и с использованием варианта реализации спроектированной модели. Проверка выдвинутых в ходе статистического анализа гипотез показала, что применение на предприятии предоставленного варианта реализации спроектированной модели обеспечивает уменьшение времени исполнения основных бизнес-процессов. Следовательно, можно сделать вывод о том, что сформулированная в начале исследования гипотеза о том, что применение спроектированной модели программного модуля в составе с текущей используемой на предприятии малого или среднего бизнеса «коробочной» системой или системой управления низшего уровня способно повысить эффективность исполнения складских бизнес-процессов на предприятии за счёт уменьшения времени исполнения основных время-затратных бизнес-процессов подтверждается и принимается.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Александрова Л. Ю., Мунши А. Ю. Актуальные проблемы логистики на складе и их решения / Л. Ю. Александрова, Л. Ю. Мунши // Вестник Российского университета кооперации. – 2020. – №1 (39). – с. 4-11.
2. Андронов А. М., Копытов Е. А., Гринглаз Л. Я. Теория вероятностей и математическая статистика / А. М. Андронов, Е. А. Копытов, Л. Я. Гринглаз – СПб.: Питер, 2017. – 464 с.
3. Афонина О. А. Анализ информационных систем в сфере складской логистики / О. А. Афонина // Инновационная наука. – 2019. - №1. С. 13-14.
4. Бастани К., Лонг Дж. Java в облаке. Spring Boot, Spring Cloud, Cloud Foundry / К. Бастани, Дж. Лонг – СПб.: Питер, 2019. – 624 с.
5. Боровков А. А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез / А. А. Боровков – М.: Наука, 1984. – 472 с.
6. Бурый А. С. Облачные вычисления в цифровой трансформации информационных технологий // Правовая информатика. №2. 2021. с. 4 - 14.
7. Вальдивия Х. А., Лора-Гонсалес А., Лимон К., Кортес-Вердин К., Очаран-Эрнандес Х. О. Паттерны микросервисной архитектуры: многопрофильный обзор литературы // Труды института системного программирования РАН. №1. 2021. с. 81-96.
8. Видовский Л. А. Методология оптимального размещения объектов торговой сети // Научный журнал КубГАУ. №154 (10). 2019. с. 1-15.
9. Волгин В. В. Логистика приемки и отгрузки товаров / В. В. Волгин. 4-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2016. 460 с.
10. Гончаров Д.В. Совершенствование складской логистики // Экономическая наука сегодня: теория и практика: материалы VI Междунар. науч.–практ. конф. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. с. 167-170.
11. Дыбская В. В. Логистика. В 2 ч. Часть 1: учебник для бакалавриата и магистратуры / В. В. Дыбская, В. И. Сергеев; под общ. и науч. ред. В. И. Сергеева. – М.: Издательство Юрайт, 2017. -317 с.

12. Жикин А. В. Оптимизация логистики: кейсы, решения, рекомендации / А. В. Жикин. – «ЛитРес: Самиздат», - 2019.

13. Иванов О.И., Коростелев А.А., Ярыгин О.Н. Оптимизационные решения обобщенной задачи логистики на основе компьютерной модели // Вестник НГИЭИ. 2016. № 10 (65). С. 149-155.

14. Йерун Питер ван ден Берг. Склад как конкурентное преимущество./ Питер ван ден Берг Йерун – М.: AXELOT, 2016. - 336 с.

15. Калачикова К. С., Хамраева Р. Б. Особенности информационной системы для ведения складской деятельности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. №2. 2018. с. 318-320.

16. Киндинова В.В., Кринецкий Е.О., Кузнецова Е.В. Имитационная модель анализа проблем функционирования логистической системы. Перспективы развития логистики и управления цепями поставок: сб. науч. трудов VII Международной научной конференции (18 апреля 2017, Москва): в 2 частях. – М: Изд. “Эс-Си-Эм Консалтинг”, 2017. – с. 657-669

17. Ковалев В. В., Храмков В. В., Семенова Е. И. Актуальность использования архитектуры REST для обмена данными между клиент-серверными приложениями // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2019. с. 339 - 340.

18. Корытов Г. В., Ильин И. В. Компоненты ERP-системы для автоматизации складского учёта на предприятии малого бизнеса // Вестник ПГГПУ. №15. 2019. с. 146-160.

19. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер – М.: Мир, 1975. – 648 с.

20. Криволапов С. Я., Глебов В. И. Практикум по математической статистике. Проверка гипотез с использованием Excel, MatCalc, R и Python. Учебное пособие / С. Я. Криволапов, В. И. Глебов – М.: Прометей, 2019. – 86 с.

21. Левкин Г. Г. Основы логистики: учебник / Г. Г. Левкин, А. М. Попович. – М. Директ-Медиа, 2016. – 387 с.

22. Левченко А. А., Таратухин В. В. Оптимизация типовых моделей процессов логистики с применением облачных технологий // Программные продукты и системы. №4. 2020. с. 619-628.
23. Лекция 8: Элементы графической нотации диаграммы последовательности [Электронный ресурс]. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/32/32/lecture/1014> (дата обращения: 23.11.2021)
24. Маликова Т. Е. Склады и складская логистика: учебное пособие для вузов / Т. Е. Маликова. – М.: Юрайт, 2021. – 157 с.
25. Мунерман В. И., Мунерман Д. В. Анализ алгоритма оптимального распределения // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 3. С. 619-625
26. Николаева Т. И. Прогрессивные технологии складской логистики и перспективы их развития / Т. И. Николаева // Евразийский союз учёных. – 2016. - №30. – С. 71-73.
27. Новоковский А. А. Формирование складской инфраструктуры. // Наука без границ. №4(56). 2021. с. 53-56.
28. Нотация BPMN [Электронный ресурс]. URL: [https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/bpmn\\_notation](https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/bpmn_notation) (дата обращения: 29.11.2021)
29. Нотация EPC [Электронный ресурс]. URL: [https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/epc\\_notation](https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/csdesign/bpmodeling/epc_notation) (дата обращения: 17.05.2021)
30. Оганисян А. А. Теоретические основы организации складского хранения / А. А. Оганисян // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2019. - №3 (14). – С. 78-84.
31. Парикова И. В. Использование терминалов сбора данных при автоматизации складского учёта. // Вопросы студенческой науки. №6(46). 2020. с. 142-146.

32. Приклад, И. С. Оптимизация складской логистики / И. С. Приклад // Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – 2018. – С. 84-86.

33. Самуйлов В. М. Логистика складирования / В. М. Самуйлов, М. А. Левченко. Екатеринбург: УрГУПС, 2017. 205 с.

34. Сиразетдинова А. Ф. Исследование современной сущности и проблем складской логистики // Государственный Университет Управления. Новая наука: проблемы и перспективы. №10-1. 2016. с. 181-185.

35. Сухорученков Б. И. Анализ малой выборки. Прикладные статистические методы / Б. И. Сухорученков – М.: Вузовская книга, 2020. – 384 с.

36. Том Лащевский, Камаль Арора, Эрик Фарр, Пийюм Зонуз Облачные архитектуры: разработка устойчивых и экономичных облачных приложений. - СПб.: Питер, 2022. - 320 с.

37. Федякова Н. Н., Макарова Ю. В., Русанова М. О. Облачные вычисления // Контентус. №12 (41). 2015. с. 142-149.

38. Фомкина Е. С. Использование WMS-систем в организации складской логистики / Е. С. Фомкина // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. Т. 1. – С. 625-626.

39. Фримен Э, Робсон Э., Сьерра К., Бэйтс Б. Head First. Паттерны проектирования / Э. Фримен, Э. Робсон, К. Сьерра, Б. Бэйтс – СПб.: Прогресс книга, 2021. – 640 с.

40. Халын В. Г. Разработка автоматической системы управления складским логистическим транзитным комплексом на базе применения искусственного интеллекта. // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). №3(71). 2020. с. 61-69.

41. Шениг Г.-Ю. PostgreSQL 11. Мастерство разработки / Г.-Ю. Шениг – М.: ДМК Пресс, 2019. – 352 с.

42. Щербаков В. В., Мерзляк А. В., Коскур-Оглы Е. О. Автоматизация бизнес-процессов в логистике: Учебник для вузов. Стандарт третьего

поколения / в. В. Щербаков, А. В. Мерзляк, Е. О. Коскур-Оглы, - СПб.: Питер, 2016. – 464 с.

43. 1С: Торговля и Склад 7.7 [Электронный ресурс]. URL: <https://1c.ru/rus/products/1c/predpr/torg77.htm> (дата обращения: 21.04.2021).

44. Ajay M., Munish K. G., Shyam S. Cloud-Native Applications in Java / М. Ajay, K. G. Munish, S. Shyam – Birmingham: Packt Publishing, 2018. – 406 p.

45. Exceed WMS 4000 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Infor\\_SCM\\_WM\\_v.3.x\\_\(Exceed\\_4000\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Infor_SCM_WM_v.3.x_(Exceed_4000)) (дата обращения: 21.04.2021).

46. EXceed WMS 1000 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Infor\\_Exceed\\_1000](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Infor_Exceed_1000) (дата обращения: 21.04.2021).

47. HighJump [Электронный ресурс]. URL: <https://www.highjump.com/> (дата обращения: 21.04.2021).

48. Krešimir Buntak, Matija Kovačić, Maja Mutavdžija Internet of Things and Smart Warehouse as the Future of Logistics // Tehnički Glasnik. – 2019. – 13(3), p. 248-253.

49. Liu T., Baghavan B., Tariq Z., Chen J. Migration in the Stencil Pluralist Cloud Architecture, 2021.

50. Manhattan WMS [Электронный ресурс]. URL: <https://manh.korusconsulting.ru/> (дата обращения: 21.04.2021)

51. Radio Beacon WMS [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Accellos\\_WMS\\_\(Radio\\_Beacon\\_WMS\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Accellos_WMS_(Radio_Beacon_WMS)) (дата обращения: 22.04.2021).

52. RedPrairie [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:WMS\\_RedPrairie](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:WMS_RedPrairie) (дата обращения: 22.04.2021)

53. Shivakumar R. G. Cloud Native Architecture and Design. A Handbook for Modern Day Architecture and Design with Enterprise-Grade Examples / R. G. Shivakumar – New York: Apress, 2021. – 752 p.

54. Solvo.WMS [Электронный ресурс]. URL:  
<https://www.solvo.ru/products/solvo-wms/> (дата обращения: 22.04.2021)

55. Yasmin J., Tian Y. A First Look at the Deprecation of RESTful APIs: An Empirical Study // IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution, 2020, p. 151 – 161.