

Санкт-Петербургский государственный университет

**МУХАМЕДРАХИМОВ Тахир Рифкатович**

**Выпускная квалификационная работа**

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ В ЦЕПОЧКАХ ПОСТАВОК**

Направление 38.03.01 «Экономика»

Основная образовательная программа бакалавриата «Экономика»

Профиль экономика фирмы и управление инновациями

Научный руководитель:  
д.э.н., профессор ПИЩУЛОВ  
Григорий Викторович

Рецензент:  
ассистент АРТЕМОВА  
Диана Игоревна

Санкт-Петербург  
2018 год

## Содержание

	Стр
Введение.....	3
Глава 1 Теоретические основы управления запасами в цепочках поставок .....	5
1.1 Основные понятия управления запасами в цепочках поставок.....	5
1.1.1 Основные понятия управления запасами в цепочках поставок.....	5
1.1.2 Взаимосвязь спроса и управления запасами.....	6
1.2 Классификации запасов в цепочках поставок .....	8
1.2.1 Функциональная классификация запасов .....	9
1.2.2 ABC-классификация запасов.....	12
1.3 Показатели управления запасами в цепочках поставок .....	13
1.3.1 Закон Литтла и оборачиваемость запасов.....	13
1.3.2 Затраты на управление запасами и время выполнения заказа .....	15
1.4 Современные концепции управления запасами .....	17
Глава 2 Методы управления запасами при различных видах спроса .....	21
2.1 Определение размера заказа при постоянном детерминированном спросе .....	21
2.2 Определение размера партии при динамическом детерминированном спросе .....	23
2.2.1 Основные подходы и необходимые допущения.....	23
2.2.2 Алгоритм Вагнера-Уайтина.....	25
2.2.3 Эвристические подходы.....	26
2.3 Виды систем управления запасами при вероятностном спросе .....	28
2.3.1 Основные понятия и применяемые показатели.....	28
2.3.2 Системы управления запасами.....	30
2.4 Управление запасами в условиях динамического и вероятностного спроса .....	32
2.4.1 Подход Э. Сильвера к управлению запасами .....	32
2.4.2 Современные подходы к управлению запасами при вероятностном и динамическом спросе.....	35
Глава 3 Применение метода Э. Сильвера по управлению запасами .....	38
3.1 Общая характеристика организации ООО «Максидом» .....	38
3.2 Сбор данных и прогнозирование объема реализации.....	40
3.3 Применение эвристического подхода Сильвера-Мила .....	47
3.4 Применение метода Э. Сильвера на основе прогнозных значений.....	49
Заключение.....	52
Список использованных источников.....	55
Приложение 1. Таблица накопленного нормального распределения $\Phi(k)$ .....	57
Приложение 2. Таблица значений функции потерь для стандартизированного нормального распределения $G_u(k)$ .....	58
Приложение 3. Прогноз объемов продаж на март 2018 года.....	59

## Введение

В настоящее время перед поставщиками и покупателями возникают проблемы управления запасами в рамках цепочки поставок. В международной литературе существует множество методов управления запасами, которые постоянно совершенствуются в связи с активным внедрением новых информационных технологий. Принятие управленческих решений в сфере запасов требует принятия во внимание ряда реалистичных факторов, среди которых ключевым является характер спроса. По этой причине является актуальным сравнение существующих методов управления запасами в цепочках поставок в зависимости от характера спроса.

Цель данного исследования – сравнить методы управления запасами в цепочках поставок зависимости от характера спроса и применить метод Э. Сильвера на основании данных по конкретной единице складского учета.

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследования:

1. Раскрыть основные понятия управления запасами в цепях поставок;
2. Обобщить основные классификации запасов;
3. Выявить основные показатели эффективности управления запасами;
4. Раскрыть современные концепции управления запасами в цепях поставок;
5. Определить методы управления запасами при постоянном детерминированном спросе;
6. Определить методы управления запасами при динамическом детерминированном спросе;
7. Определить методы управления запасами при постоянном вероятностном спросе;
8. Определить методы управления запасами при динамическом вероятностном спросе;
9. Провести ABC-анализ товарных позиций по объемам продаж в стоимостном и количественном выражении и выбрать единицу складского учета (Stock Keeping Unit, SKU) для использования метода Э. Сильвера.
10. Произвести сбор данных по выбранному SKU об объемах продаж за определенный период (более 1 года), величине запасов на конец периода, принятом в компании уровне обслуживания, периодичности поставок и затратах на хранение и выполнение заказа.
11. Рассчитать прогноз объема продаж выбранного товара методом экспоненциального сглаживания с учетом тренда и сезонности.

12. Применить метод Э. Сильвера для управления запасами на будущий период по выбранному SKU.

Объектом исследования являются методы управления запасами в цепочках поставок.

Предметом исследования являются особенности использования методов управления запасами в цепочках поставок при различных видах спроса.

Теоретической основой исследования являются работы В.И. Сергеева «Корпоративная логистика» [6], Э. Сильвера, Д. Пайка и Д. Томаса «Управление запасами и производством в цепочках поставок» [31], Ж. Кашона и К. Тервиша «Согласование поставки и спроса: введение в операционный менеджмент» [17], В.В. Дыбской «Логистика» [2, 3].

Методологической основой исследования являются методы сравнения, обобщения, анализа и синтеза.

Информационной основой исследования являются работы зарубежных [10-37] и отечественных авторов [1-6, 9].

В данном исследовании три главы. Первая глава посвящена описанию теоретических основ управления запасами в цепочках поставок: сначала раскрываются основные понятия и классификации запасов, затем выявляются показатели эффективности управления запасами и раскрываются современные концепции управления запасами. Вторая глава посвящена исследованию методов управления запасами при различных видах спроса: сначала рассматриваются методы при детерминированном спросе, который также может быть постоянным либо динамическим, затем рассматриваются методы при вероятностном спросе. Третья глава посвящена прогнозированию спроса методом экспоненциального сглаживания с учетом тренда и сезонности на основании собранных данных о единице складского учета, а также применению метода управления запасами Э. Сильвера.

## Глава 1 Теоретические основы управления запасами в цепочках поставок

### 1.1 Основные понятия управления запасами в цепочках поставок

#### 1.1.1 Основные понятия управления запасами в цепочках поставок

Согласно Д. Ламберту и Дж. Стоку, управление цепями поставок (Supply Chain Management, SCM) определяется как «интегрирование ключевых бизнес-процессов, начинающихся от конечного пользователя и охватывающих всех поставщиков товаров, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц» [33, Р. 54]. Согласно Ж. Кашону и К. Тервишу, цепочкой поставок является ряд организаций, которые поставляют товары или услуги от источника сырья до конечного потребителя [17, Р. 469]. В настоящее время связи с широким распространением парадигмы SCM Советом логистического менеджмента США (Council of Logistics Management, CLM) было пересмотрено определение логистики таким образом, что логистика является частью SCM как более широкой концепции. Согласно определению CLM, «логистика является частью процесса управления цепями поставок и представляет собой планирование, реализацию и контроль эффективности потока и запасов продукции, сервиса и связанной информации от точки его зарождения до точки потребления в соответствии с требованиями потребителей» [6, С. 4]. Такой подход позволяет избежать противоречий между понятием логистики и SCM, которые могли возникнуть ввиду того, что как концепция SCM появилась позднее.

Поскольку SCM интегрирует ключевые бизнес-процессы, следует перейти к рассмотрению логистического бизнес-процесса – «взаимосвязанной совокупности операций и функций, переводящих ресурсы компании в результат, задаваемый логистической стратегией фирмы» [2, С. 34]. Данный результат определяется согласно ключевым показателям функционирования (Key Performance Indicators, KPI).

На сегодняшний день в SCM идет развитие новых логистических стратегий, одной из задач которых является управление запасами. Логистической стратегией называется «долгосрочное, качественно определенное направление развития логистики, касающееся форм и средств ее реализации в фирме, межфункциональной и межорганизационной координации и интеграции, сформулированное высшим менеджментом компании в соответствии с корпоративными целями. [6, С. 921]. Стоит отметить, что не существует четкого разграничения между понятиями логистической стратегии, технологии и концепции [6, С. 111].

При управлении запасами необходимо определить систему управления запасами, выбор которой зависит от множества факторов и конкретных обстоятельств. Системой (моделью) управления запасами является «совокупность правил и способов регулирования, с помощью которых можно контролировать уровни запасов и определять, какие уровни следует поддерживать, какой запас следует пополнять и каким должен быть объем заказа» [11, С. 635]. При управлении запасами требуется найти решение для трех основных проблем [31, Р. 24]:

1. Как часто необходимо определять состояние запасов;
2. Когда необходимо размещать заказ на пополнение запасов;
3. Какова должна быть величина заказа на пополнение запасов.

В зависимости от частоты определения состояния запасов различают модель периодического контроля, когда уровень запасов определяется по истечении заданного периода времени, и непрерывного контроля, когда состояние запасов известно всегда. В непрерывном контроле обычно нет необходимости, поэтому он заменяется контролем в момент продажи товара [31, Р. 240-241]. Заказ может размещаться периодически или каждый раз, когда уровень запаса снижается до определенной точки заказа или ниже. Величина пополнения запасов может быть фиксированной или изменяться в зависимости от величины точки заказа [31, Р. 242].

Создание модели управления запасами осуществляется следующими способами:

1. Разработка математической модели, позволяющей выбрать значения ограниченного числа переменных таким образом, чтобы оптимизировать выбранную меру эффективности [31, Р. 47].
2. Разработка более реалистичной модели для конкретной ситуации. При этом, учет реальных факторов часто препятствует ясному определению оптимизации, а также может отсутствовать математически выраженная целевая функция [31, Р. 47].
3. Минимизация запасов без использования математических моделей [31, Р. 47].

Критерием оптимизации в модели управления запасами наиболее часто выбирается минимум затрат на управление запасами, но также применяются и такие критерии как минимальное время выполнения заказа и максимальная надежность поставки [6, С. 488].

### **1.1.2 Взаимосвязь спроса и управления запасами**

Существенным фактором при определении модели управления запасами являются характеристики спроса (потребности), который может быть постоянным или динамическим (изменяющимся с течением времени), детерминированным или вероятностным, зависимым

или независимым. Системы управления запасами в зависимости от видов спроса рассматриваются в Главе 2 настоящего исследования. Ниже определения данных понятий рассмотрим более подробно.

В зависимости от действия случайных факторов на параметры системы управления различают детерминированные и вероятностные (стохастические) модели управления запасами: «если хотя бы один из параметров является случайной величиной (процессом), то модель будет стохастической, в противном случае — детерминированной» [6, С. 500].

Потребность называется зависимой, если «потребность в каком-то одном изделии выступает непосредственным следствием потребности в другом изделии — обычно изделии более высокого уровня, частью которого оно является». Если потребность в изделии не связана с потребностью в другом изделии более высокого уровня, то такая потребность называется независимой [11, С. 638].

Для эффективного управления запасами требуется точное описание возможного спроса в будущем периоде. Прогнозирование спроса основывается на экстраполяции исторических данных и учете информации о будущих событиях. Для товаров или групп взаимосвязанных товаров с точными историческими данными о спросе могут применяться модели прогнозирования временных рядов [32, Р. 73]. Временной ряд может быть представлен с точки зрения пяти его составляющих: уровня спроса, тренда, сезонности, циклических изменений и случайных колебаний спроса [32, Р. 75].

Процесс прогнозирования спроса включает этап сбора и обработки исторических данных, этап выбора и инициализации прогнозной модели, а также анализа информации о будущих событиях, этап прогнозирования и этап расчета ошибки прогноза при появлении информации о фактическом спросе. Важность контроля ошибки прогноза объясняется несколькими причинами. Во-первых, размер страхового запаса, необходимого для обеспечения соответствующего уровня обслуживания, зависит от величины ошибки прогноза. Во-вторых, исходя из ошибки прогноза следует вносить изменения в значения параметров прогнозной модели. Кроме того, по величине ошибки прогноза можно судить о качестве работы сотрудников, ответственных за процесс прогнозирования [32, Р. 74].

При прогнозировании спроса необходимо учитывать факторы, которые обычно не включаются в статистическую прогнозную модель, но при этом играют ключевую роль при принятии управленческих решений. Такие факторы могут быть разделены на две группы: внешние и внутренние по отношению к организации факторы [32, Р. 118].

К внешним факторам относятся [32, Р. 118]:

1. Общая экономическая ситуация (уровень инфляции, стоимость привлечения капитала, уровень безработицы и т.д.);

2. Государственное воздействие (субсидии, импортные пошлины, импортные квоты, экологические ограничения, стандарты безопасности и т.д.);
3. Действия конкурентов;
4. Возможные задержки в работе на уровне покупателей товара;
5. Потребительские предпочтения.

К важным внутренним факторам относятся [32, Р. 118]:

1. Изменения цен;
2. Мероприятия по продвижению товара;
3. Реклама;
4. Технические изменения, которые могут улучшить надежность товара, тем самым снижая спрос на комплектующие и запасные части;
5. Внедрение товаров-субститутов;
6. Открытие нового распределительного центра для существующего товара;
7. Временное увеличение спроса во время выхода на рынок нового товара, которое связано с необходимостью на начальном этапе разместить соответствующий уровень запасов на различных складах.

Таким образом, были раскрыты основные понятия, связанные с управлением запасами в цепочках поставок, в том числе определена взаимосвязь между областью управления запасами, управлением цепочкой поставок и логистикой. Также были установлены способы решения основных проблем в управлении запасами, рассмотрен процесс прогнозирования и влияние спроса на систему управления запасами.

## **1.2 Классификации запасов в цепочках поставок**

Классификация запасов необходима для «конкретизации объекта изучения в рамках заданного материального потока, управления запасами в рамках заданной логистической системы» [6, С. 490]. В научной литературе выделяют множество различных классификаций запасов в зависимости от типа (сырье и материалы, промежуточный продукт, готовая продукция, изделия для ремонта и содержания, отходы производства), места нахождения (производственные, товарные, транспортные запасы), периода образования (плановые, фактические, запасы на начало (конец) периода), назначения (для текущей реализации, сезонные, запасы долгосрочного завоза), цели (текущие, рекламные, спекулятивные, резервные запасы), единиц измерения (запасы в относительных и абсолютных единицах измерения) [3, С. 127]. Также запасы различают по функциональному назначению и по их доле в суммарном объеме потребляемых запасов. Далее данные классификации будут



рассмотрены более подробно, поскольку они оказывают существенное влияние на управление запасами в цепочках поставок.

### 1.2.1 Функциональная классификация запасов

Классификация запасов по функциональному назначению необходима для того, чтобы сосредоточить внимание на организационных целях создания запасов, особенно на их контроле и управляемости [31, Р. 27]. Согласно функциональной классификации Э. Сильвера, выделяют следующие виды запасов, которые помогают принимать решения при управлении совокупными запасами: циклические запасы (cycle stock), скопление запасов (congestion stock), страховые запасы (safety stock), подготовительные запасы (anticipation inventories), запасы в пути или незавершенное производство (pipeline inventories or work in process, WIP), межоперационные запасы (decoupling stock, buffers) [31, Р. 26].

Циклические запасы образуются вследствие заказа или производства продукции партиями, а не по одной единице товара. Объем запасов, который имеется в наличии в любой момент времени и образуется вследствие заказа таких партий товара, называется циклическим запасом. Причинами пополнения запасов партиями являются: экономия на масштабе (из-за фиксированных затрат на размещение заказа), скидки за количество товара в цене покупки или в стоимости фрахта, технологические ограничения (например, фиксированный размер резервуара для обработки сырья в химическом производстве). Размер циклических запасов в любой момент времени напрямую зависит от частоты размещения заказов [31, Р. 26]. Стоит отметить, что В.В. Дыбская и В.И. Сергеев определяют циклические запасы в качестве текущих. Согласно авторам, текущие запасы «обеспечивают непрерывность снабжения материальными ресурсами, а также реализацию готовой продукции предприятиями и организациями торговли в период между двумя очередными поставками» [3, С. 125].

Скопление запасов образуется вследствие ограниченности производственных мощностей. Если несколько изделий обрабатываются с помощью одного производственного оборудования, особенно при значительном времени наладки, то запасы данных изделий накапливаются во время ожидания, пока оборудование станет доступным [31, Р. 26].

Страховыми называются запасы, которые поддерживаются в наличии, чтобы учитывать неопределенность спроса и поставок в краткосрочной перспективе. Необходимость в страховых запасах отсутствует, когда точно известны будущие темпы изменения спроса и время, которое необходимо для выполнения заказа на поставку. Размер

страховых запасов напрямую связан с желаемым уровнем обслуживания клиентов, то есть с тем, в каком объеме потребительский спрос удовлетворяется из запасов товаров [31, Р. 26].

Подготовительные запасы включают в себя запасы, накопленные перед ожидаемым ростом продаж. То есть, если в некоторые периоды в течение года спрос постоянно принимает значение ниже среднего, то могут быть накоплены избыточные запасы, превышающие величину циклических и страховых запасов. Затем, в период, когда ожидается увеличение потребности, дополнительный спрос может быть удовлетворен из имеющихся запасов, вместо того, чтобы производить товар на заводе в сверхурочное время. Таким образом, общий темп производства может быть стабилизирован за счет использования подготовительных запасов. Также причиной создания подготовительных запасов может являться сезонность предложения. Кроме того, подготовительные запасы могут быть созданы с целью учета влияния забастовок, военных кризисов или любых других событий, вследствие которых ожидается, что уровень предложения, вероятно, будет ниже, чем уровень спроса [31, Р. 27].

Необходимо отметить, что ряд авторов отдельно выделяет сезонные запасы, которые по назначению схожи с подготовительными. Ж. Кашон и К. Тервиш отмечают, что сезонные запасы появляются в том случае, когда производственная мощность жестко определена и спрос является изменчивым. Если для увеличения или уменьшения производственной мощности необходимы значительные расходы, то компании стремятся сгладить темп производства относительно продаж, тем самым создавая потребность в сезонных запасах [17, Р. 24]. Согласно В.И. Сергееву, «сезонные запасы образуются при сезонном характере производства, потребления или транспортировки продукции» [6, С. 492].

Запасы в пути (или незавершенное производство) включают в себя товары в процессе прохождения между уровнями многоступенчатой системы распределения или между смежными рабочими зонами на заводе [31, Р. 27].

Межоперационные запасы используются в многоступенчатой системе для того, чтобы разделить управление на разных уровнях. Значительные размеры таких запасов существуют между разными компаниями или между подразделениями внутри одной компании [31, Р. 27]. Межоперационные запасы позволяют руководству управлять этапами процесса независимо друг от друга. Такие запасы являются источником снабжения для последующего этапа процесса, даже если предшествующий этап не был способен выпустить изделие в данный момент времени. Без существования таких запасов нарушение работы на одной из стадий производства приведет к нарушению производства на всех остальных стадиях, как на предшествующих, так и на последующих [17, Р. 26]. В работах В.В. Дыбской [4], В.И.

Сергеева [1], В.С. Лукинского [11] данный вид запасов называется подготовительным, но считаем, что термин «межоперационные запасы» лучше отражает их назначение.

По функциональному назначению В.В. Дыбская и В.И. Сергеев также выделяют рекламные, спекулятивные и неликвидные запасы. Спекулятивные запасы создаются для защиты от возможных неблагоприятных ситуаций на рынке, а также для использования конъюнктуры рынка с целью получения дополнительной прибыли. Рекламные запасы «должны удовлетворять возможное резкое увеличение спроса на продукцию фирмы» [6, С. 492]. Неликвидными запасами являются длительно неиспользуемые запасы, образующиеся из-за морального износа и ухудшения качества продукции при хранении [6, С. 493]. Дж. Хейзер и Б. Рендер указывают, что назначением спекулятивных запасов является защита от потерь, связанных с инфляцией и повышением цен на рынке, а также приобретение товара с целью последующей продажи при росте цены [27, Р. 501].

Таким образом, классификация Э. Сильвера выделяет общие группы запасов по функциональному назначению, тогда как Ж. Кашон, К. Тервиш выделяют виды запасов исходя из основных причин их создания, указывая более узкий вид сезонных запасов по сравнению с подготовительными у Э. Сильвера, и не определяют скопление запасов как отдельный вид. В.В. Дыбская и В.И. Сергеев выделяют рекламные и спекулятивные запасы, тогда как их назначение учитывается Э. Сильвером в определении подготовительных запасов. При этом, в работах Э. Сильвера, Ж. Кашона и К. Тервиша не указываются неликвидные запасы. Ниже на Рисунке 1 представлена диаграмма, обобщающая функциональную классификацию запасов согласно работам [3, 5, 14, 24, 28].



Рисунок 1. Обобщенная функциональная классификация запасов

Составлено по: [6, С. 490-493], [31, Р. 26-27], [17, Р. 23-27], [3, С. 127], [27, Р. 501]

Таким образом, была составлена обобщенная функциональная классификация запасов, дополняющая общую классификацию Э. Сильвера [31] в соответствии с работами

В.И. Сергеева [6], Ж. Кашона и К. Тервиша [17], В.В. Дыбской [2], Дж. Хейзера и Б. Рендера [27].

### 1.2.2 ABC-классификация запасов

В конечном итоге управленческие решения в отношении запасов должны производиться на уровне отдельной единицы товара. Основой для разработки такой модели принятия решений является ABC-классификация. Конкретная единица запаса, которую необходимо контролировать, называется единицей складского учета (Stock Keeping Unit, SKU) и определяется как единица запаса, которая указана по функции, стилю, размеру, цвету и местонахождению [31, Р. 28]. Метод ABC-классификации основан на законе Парето «80:20», согласно которому в сфере управления запасами «20% позиций номенклатуры хранимых на складе запасов готовой продукции определяют 80% связанных с запасами затрат» [6, С. 536]. На относительно небольшое количество позиций приходится наибольшая стоимость запасов или наибольшая доля расходов, связанных с управлением запасами [6, С. 537]. Для проведения ABC-классификации необходимо сначала расположить все позиции номенклатуры в порядке убывания общей стоимости всех позиций с одним наименованием. При этом, цена единицы товара должна быть умножена на количество таких единиц на складе [6, С. 537]. Затем позиции номенклатуры необходимо отнести в группы А, В, С.

В группу А необходимо отнести все позиции, начиная с первой, суммарная стоимость которых составляет 75-80% от общей стоимости всех запасов [6, С. 537]. Дополнительно отдельные SKU могут быть добавлены в группу А, поскольку являются ключевыми в деятельности компании [31, Р. 31]. В данную группу обычно входит 5-10% всех SKU, но в некоторых случаях эта доля доходит до 20%. При управлении запасами руководство должно уделять позициям в группе А наибольшее внимание [31, Р. 29]. Для данной группы следует осуществлять четкий контроль, точное прогнозирование и более частую проверку уровня запасов, выделять больше средств на взаимодействие с поставщиками [27, Р. 503].

В группу В включают позиции, суммарная стоимость которых приблизительно равна 10-15% от общей величины. К данной группе обычно относится 20-25% позиций номенклатуры [6, С. 537]. Поскольку группа В имеет второстепенное значение по сравнению с группой А, данные SKU требуют менее пристального, но существенного внимания при управлении запасами [31, Р. 30].

Группа С включает в себя остальные позиции с суммарной стоимостью 5-10% от общей величины. На практике к данной группе относится 60-70% позиций номенклатуры [6, С. 537]. Для таких SKU системы управления необходимо сохранять по возможности

простыми, поскольку они могут требовать ввода существенного объема данных и значительного времени на управление. Для товаров группы С большинство компаний обычно стараются иметь в наличии относительно большой объем товара, чтобы минимизировать проблемы, которые могут возникнуть из-за отсутствия таких несущественных позиций [31, Р. 30].

На практике при управлении запасами необходимо учитывать множество факторов, в связи с чем применяется многофакторный ABC-анализ [21, Р. 79]. Данный метод позволяет классифицировать запасы по группам в зависимости от нескольких оценочных критериев. Кроме того, используется кластерный анализ, который объединяет товары в группы по множеству параметров и формирует многоуровневую иерархию кластеров [28, Р. 19].

Таким образом, ABC-классификация позволяет выбрать индивидуальные методы управления для каждой группы запасов так, чтобы распределить ресурсы на управление запасами в зависимости от выбранного фактора или множества факторов, таких как стоимость запасов и затраты на управление запасами.

## **1.3 Показатели управления запасами в цепочках поставок**

### **1.3.1 Закон Литтла и оборачиваемость запасов**

Измерение результатов управления запасами в цепочках поставок необходимо для достижения целей логистической системы, поскольку позволяет получить обратную связь, которая требуется для эффективного принятия решений [6, С. 974]. Перед рассмотрением показателей управления запасами необходимо обратиться к определению процесса и связанным с ним показателям деятельности. Процессом называется «некоторая часть деятельности, осуществляемая организацией, которая преобразует вводимые факторы производства («вход») в конечные продукты или услуги («выход»), обеспечивая этим преобразованием приобретение данной организацией большей ценности, чем вводимые факторы производства» [10, С. 174]. При анализе процессов, связанных с поставками товаров или услуг, элемент потока определяется как вид товара или услуги, с которым взаимодействует процесс поставки. Далее приведены основные показатели, измеряющие деятельность процесса [17, Р. 15]:

1. Количество элементов потока, содержащихся внутри процесса, называется запасами.

2. Время, которое требуется элементу потока для прохождения процесса, называется временем потока (flow time). Данное время включает в себя время возможного ожидания элемента для прохождения процесса, поскольку в нем существуют также другие элементы потока.
3. Скорость, с которым процесс выпускает элементы потока на выходе, называется скоростью потока (flow rate), измеряемой в элементах потока в единицу времени. Максимальной скоростью, с которой процесс может осуществлять выпуск, называется пропускной способностью процесса.

Согласно закону Литтла, величина запасов, время потока и скорость процесса связаны между собой следующим образом [17, Р. 18]:

$$\text{Средняя величина запасов} = \text{Средняя скорость потока} \times \text{Среднее время потока} \quad (1)$$

Необходимо отметить, что закон Литтла выполняется вне зависимости от таких факторов, как порядок обслуживания элементов потока, поскольку это не влияет на среднее время потока по всем элементам потока. Также выполнение закона не зависит от изменения числа элементов потока и изменения времени прохождения процесса каждого элемента, поскольку действительно имеет значение средняя скорость потока элементов и среднее время потока [17, Р. 19].

Для получения совокупного показателя запасов по различным товарам необходимо измерять запасы в стоимостном выражении. Учитывая, что запасы учитываются по себестоимости, соответствующей мерой скорости потока является себестоимость реализованной продукции, которая измеряется в денежных единицах в год. Применение закона Литтла позволяет выразить, сколько по времени в среднем элемент потока в стоимостном выражении находится в цепочке поставок, пока не будет реализован. Это соответствует определению времени потока. Таким образом, переходим к показателю оборачиваемости запасов в днях [17, Р. 20]. Согласно В.В. Ковалеву, он рассчитывается по следующей формуле [5, С. 383]:

$$\text{Inv}_d = \frac{\text{Inv}}{\text{COGS}/D}, \quad (2)$$

где  $\text{Inv}_d$  – оборачиваемость запасов в днях;  $\text{Inv}$  – средние запасы в стоимостном выражении;  $\text{COGS}$  – стоимость реализованной продукции;  $D$  – количество дней в отчетном периоде.

Приведенный показатель измеряется в днях и выражает число дней, которое в среднем денежные средства были омертвлены в запасах. Снижение показателя в днях в динамике является положительной тенденцией [5, С. 383]. Согласно Р. Чейзу, данный показатель называется длительностью оборота запасов и характеризует количество дней, за которое запасы «совершают полный оборот, то есть полностью обновляются» [10, С. 580].

Основным обобщающим показателем эффективности в управлении запасами является оборачиваемость запасов, измеряемая в оборотах [31, Р. 10]. Согласно В.В. Ковалеву, данный показатель вычисляется следующим образом [5, С. 383]:

$$Inv_t = \frac{COGS}{Inv}, \quad (3)$$

где  $Inv_t$  – оборачиваемость запасов в оборотах.

Рост данного показателя в динамике рассматривается в качестве положительной тенденции. Оборачиваемость запасов в оборотах показывает, «сколько раз в течение отчетного периода обернулись денежные средства, вложенные в запасы» [5, С. 383]. Ускорение оборачиваемости запасов сопровождается вовлечением в оборот дополнительных средств, а замедление – отвлечением средств из оборота на более длительный период времени [4, С. 523]. Величину показателя оборачиваемости товарно-материальных запасов необходимо интерпретировать в зависимости от отраслевой специфики деятельности компании. Также можно определить оборачиваемость отдельного вида запасов или длительность оборота для отдельной операции, связанной с запасами. В таком случае стоимость реализованной продукции необходимо определять, как общее количество товарно-материальных ценностей, прошедших через данную операцию в виде соответствующих запасов [10, С. 580-581].

### **1.3.2 Затраты на управление запасами и время выполнения заказа**

Содержание запасов требует существенных финансовых вложений, в связи с этим значимым показателем являются затраты на управление запасами, включающие: удельные переменные затраты, затраты на содержание запасов, затраты на исполнение заказа, затраты, связанные с дефицитом запасов, затраты контролирования системы управления [31, Р. 41-44].

Удельные переменные затраты являются переменными затратами на единицу продукции, также определяются как затраты на приобретение запасов, их величина меняется при учете оптовых скидок в зависимости от размера заказа [9, С. 259].

Затраты на содержание запасов включают в себя альтернативные издержки вложения капитала, затраты на содержание склада, затраты на обработку и учет товаров, затраты, связанные со специальными требованиями к хранению, порчей запасов, причинением ущерба, воровством, моральным износом, страхованием и налогообложением [31, Р. 41]. Уменьшение затрат на содержание запасов достигается за счет минимизации размеров запасов и частого их пополнения [11, С. 637].

Затраты на исполнение заказа являются постоянными по величине и не зависят от размера заказа. Данные затраты включают затраты на размещение заказа, обработку и получение заказа [31, Р. 42-43]. Также включаются затраты на транспортировку продукции [9, С. 529]. На производстве затраты на исполнение заказа дополнительно включают затраты на освоение новой продукции и затраты, связанные с пуско-наладочными работами при изменении продукции [11, С. 638].

Затраты, связанные с дефицитом запасов, для торговой организации включают затраты на экстренные поставки продукции или на замену товара. В сфере производства к этому виду относят затраты, связанные со сменой оборудования для выполнения срочных заказов, и сопутствующие затраты на ускорение производства, изменение планов и разделение партий. В данную группу также входят затраты, связанные с неудовлетворенным потребительским спросом, упущенными продажами [31, Р. 44].

Затраты контролирования системы управления связаны с работой используемой системы управления запасами, включают затраты на сбор, хранение и обслуживание базы данных, затраты на вычислительные операции, затраты, связанные с обучением персонала и человеческим фактором [31, Р. 44].

Следующим значимым показателем в управлении запасами является время выполнения заказа, которое определяется как период времени между моментом размещения заказа и поступлением товара на склад готовым для удовлетворения потребительского спроса. Основная идея своевременного размещения заказа состоит в следующем: необходимо размещать заказ заранее таким образом, чтобы с учетом ожидаемого спроса на продукцию в течение времени выполнения заказа не возникло ситуации истощения запасов [31, Р. 44-45]. Время выполнения заказа включает элементы, представленные ниже [31, Р. 45-46]:

1. Время подготовки заказа – период между моментом размещения заказа и его фактической передачей с пункта хранения запасов.



2. Время перемещения до поставщика, которым можно пренебречь при электронном или телефонном размещении заказа.
3. Время нахождения у поставщика.
4. Время транспортировки от поставщика до пункта хранения запасов.
5. Время между моментом получения заказа и его поступлением на склад.

Таким образом, к основным показателям эффективности в сфере управления запасами в цепочках поставок следует отнести среднюю величину запасов, оборачиваемость запасов в днях и в оборотах, величину затрат на управление запасами и длительность периода выполнения заказа. Управление запасами нужно проводить таким образом, чтобы снижалась оборачиваемость запасов в днях, повышалось число оборотов запасов, снижались затраты и время выполнения заказа. Для детального анализа нужно рассматривать оборачиваемость по видам запасов, элементы затрат на управление запасами и периода выполнения заказа.

## 1.4 Современные концепции управления запасами

Подходы к управлению запасами в международной литературе направлены на оптимизацию уровня запасов и моделирование систем управления запасами в многоуровневых цепочках поставок с учетом различных видов спроса и множества реалистичных факторов. Согласно В.И. Сергееву, в целом, к настоящему моменту сформировались концепции максимизации, оптимизации и минимизации запасов [6, С. 487]. Максимизация запасов преобладала до 19 века, в котором развитие экономики и рост промышленного производства привели к изменению организации поставок и оптимизации уровня запасов [6, С. 487-488].

Модель оптимального размера заказа (Economic Order Quantity, EOQ) была предложена Ф.В. Харрисом в 1913 году [26, 22] и затем проанализирована Р.Х. Уилсоном [36]. Модификации модели Уилсона также учитывают постепенное пополнение запаса, потери от дефицита и оптовые скидки. Критерием оптимизации в моделях оптимального размера заказа является минимум совокупных затрат, связанных с размером заказа [6, С. 502]. Для поставщика определяется оптимальный размер производственного заказа (Economic Production Quantity, EPQ), который обычно значительно отличается от EOQ покупателя, что приводит к переговорам о цене товара и размере партии [29, Р. 4969]. С. Гоялом [23] была предложена модель объединенного оптимального размера поставки (Joint

Economic Lot Size, JELS), нацеленная на минимизацию общих релевантных затрат поставщика и покупателя.

Согласно В.И. Сергееву, с концепцией минимизации запасов связана концепция планирования потребностей в материалах (Material Requirements Planning, MRP) и концепция «Точно в срок» (Just-in-time, JIT) [6, С. 488]. При этом, анализ работ [31, 21-22] показал, что в рамках данных концепций разрабатываются модели оптимизации, поэтому их не следует относить к концепции минимизации запасов.

Концепция JIT появилась в 1950-х годах и основана на синхронизации процессов доставки материалов, незавершенного производства и готовой продукции в необходимых количествах к тому моменту, когда в них нуждаются элементы логистической системы [6, С. 131]. П. Келле, Ф. Аль-хатиб, П.А. Миллер показали, что для JIT совместная оптимальная стратегия взаимодействия поставщика и покупателя приводит к снижению общих затрат в цепочке поставок, а также по своим параметрам ближе к оптимальной стратегии покупателя с небольшими и частыми поставками, чем к стратегии поставщика с крупными размерами поставок [13, Р. 440].

Система MRP I основывается на производственных графиках, связывающих информацию о спросе и запасах, ее развитием является система производственного планирования ресурсов MRP II, которая объединяет производственное, маркетинговое, финансовое планирование и логистические операции [9, С. 275]. Система MRP впервые была внедрена Дж. Орлиски в 1960 году и основана на зависимом спросе [9, С. 82]. Данная система позволяет планировать время и объемы поступления каждого материала и нацелена на снижение затрат на содержание запасов [9, С. 89]. Л. Абухилал, Г. Рабади, А. Соуса-Поза [12] провели сравнение систем MRP и JIT при стохастическом постоянном и динамическом спросе, имитирующем сезонные изменения. При выборе между системами необходимо учитывать затраты на управление запасами, характер спроса и средний уровень спроса. Было выявлено, что JIT более эффективна в управлении затратами при увеличении спроса [12, Р. 56]. Тогда как обмен информацией при использовании MRP в цепочке поставок приводит к значительному снижению затрат при динамическом сезонном спросе [12, Р. 57].

Среди концепций управления запасами широкое распространение получила логистика, ориентированная на спрос (Demand Driven Techniques/Logistics, DDT), а также ее усовершенствованные версии, к которым относится эффективная реакция на запросы потребителей (Efficient Consumer Response, ECR) и управление запасами поставщиком (Vendor Managed Inventory, VMI) [6, С. 143]. М. Хуррум, С. Бхутта, П.М. Рейес определяют ECR как метод пополнения запасов, который требует активизации усилий в управлении запасами, с целью снижения затрат и улучшения обслуживания потребителей [15, Р. 58].

ECR включает четыре стратегические составляющие: эффективное управление запасами ассортимента товаров, эффективный выпуск продукта, эффективное продвижение и эффективное пополнение запасов продукции [19, Р. 4].

Стратегия управления запасами поставщиком (VMI) предполагает передачу данных о потребительском спросе и уровне запасов от покупателя поставщику и обязывает поставщика определять соответствующие уровни запасов на складе покупателя и размеры поставки [24, Р. 94]. М. Харига, М. Гумус, А. Дагхфус [23] отмечают, что большинство моделей VMI являются расширением модели JELS, а также предлагают аналитическую модель для стратегии VMI с учетом взаимодействия одного продавца и нескольких покупателей в условиях ограничений на максимальный размер запасов, при использовании которой наблюдается значительное снижение общих затрат в цепочке поставок.

Со стратегией VMI связана стратегия консигнационных запасов (Consignment Stock, CS), которая предполагает хранение запасов поставщика на складе покупателя и непрерывный обмен данными об уровнях запасов [16, Р. 3795]. Л. Заванелла и С. Занони предложили аналитическую модель для CS с учетом взаимодействия одного продавца и нескольких покупателей и пришли к выводу, что совместное управление запасами в цепочке поставок экономически выгодно [37, Р. 231].

Таким образом, современные концепции стремятся к управлению запасами с использованием соответствующих моделей оптимизации, учитывающих взаимодействие контрагентов в многоуровневой цепочке поставок, случайные и сезонные изменения спроса, затраты на управление запасами, размер и график поставок и другие факторы. Обмен информацией и взаимодействие контрагентов позволяют снизить затраты управления запасами в цепочке поставок, и размер получаемой выгоды зависит от позиции компании при ведении переговоров.

Вывод по Главе 1: управление запасами в цепочках поставок предполагает, во-первых, выбор концепции и модели управления, определяющей частоту контроля запасов, время размещения заказа и размер пополнения запасов. При построении модели необходимо выбирать соответствующий критерии оптимизации, которым обычно являются затраты на управление запасами. Во-вторых, анализ запасов согласно функциональной и ABC-классификации, позволяет выбрать методы управления для различных видов запасов с целью рационального распределения ресурсов. В-третьих, управление запасами требует анализа группы показателей, и необходимо стремиться к тому, чтобы они демонстрировали рост эффективности в данной сфере: снижение оборачиваемости запасов в днях, рост числа оборотов запасов, снижение затрат и периода выполнения заказа. В-четвертых, выбор концепции управления запасами нужно производить исходя из характера спроса, обмена

информацией и взаимодействия организаций на разных уровнях цепочки поставок, затрат на управление запасами, графика и размера поставок. В дальнейших исследованиях следует учитывать дополнительные реалистичные факторы: взаимодействие множества поставщиков и множества покупателей, поставку широкого ассортимента продукции, различные виды транспорта при поставке, отраслевые особенности цепочек поставок.

## Глава 2 Методы управления запасами при различных видах спроса

### 2.1 Определение размера заказа при постоянном детерминированном спросе

Для определения размера пополнения запасов для единственного вида продукции с учетом того, что факторы, влияющие на управление запасами, относительно стабильны, и спрос является детерминированным, используется модель оптимального размера заказа (Economic Order Quantity, EOQ). При том, что описанная ситуация в большинстве случаев отличается от реальности, EOQ используется в качестве одного из главных элементов в системах управления запасами в условиях динамического и вероятностного спроса [31, Р. 145].

Основная модель EOQ используется при следующих допущениях [31, Р. 146]:

1. Спрос является постоянным и детерминированным.
2. Размер заказа не обязательно должен быть целым числом единиц, а также не существует ограничения на минимальный или максимальный размер заказа.
3. Удельные переменные затраты не зависят от размера заказа. В частности, удельные затраты на приобретение запасов и удельные затраты на транспортировку не учитывают скидки.
4. Факторы, влияющие на затраты, не изменяются со временем. В частности, инфляция является относительно низкой.
5. Каждый товар рассматривается полностью независимо от других товаров, то есть, преимущества совместного пополнения запасов нескольких товаров игнорируются, или их не существует.
6. Время выполнения заказа имеет нулевую продолжительность.
7. Дефицит запасов не допускается.
8. Заказ доставляется единой поставкой.
9. Горизонт планирования является долгосрочным, то есть предполагается, что значения всех параметров не изменяются в течение длительного времени.

Стоит также отметить, что поскольку спрос является детерминированным, время выполнения заказа равно нулю, и дефицит запасов не допускается, то каждое пополнение запасов производится тогда, когда уровень запасов в точности равен нулю.

При определении EOQ используется критерий минимизации общих релевантных затрат, на величину которых влияет выбор размера заказа. Из затрат на управление запасами

к ним не относятся затраты контролирования системы управления, поскольку они не зависят от конкретного значения размера заказа. Из-за допущения о невозможности возникновения дефицита затраты, связанные с дефицитом, также не являются релевантными [31, Р. 147]. Формула общих релевантных затрат в единицу времени представлена ниже [31, Р. 149].

$$TRC(Q) = \frac{A \times D}{Q} + \frac{Q \times v \times r}{2}, \quad (4)$$

где  $TRC(Q)$  – общие релевантные затраты в единицу времени;  $Q$  – размер заказа;

$A$  – постоянная величина затрат на исполнение заказа;  $D$  – величина спроса на товар в единицу времени;  $v$  – удельные переменные затраты;  $r$  – стоимость содержания запасов;

Стоимость содержания запасов ( $r$ ) определяется как стоимость связывания в запасах одной денежной единицы продукции за период времени, обычно равный одному году, и выражается долей от удельной стоимости. Первое слагаемое в формуле (4) представляет собой затраты на исполнение заказа. Вторым слагаемым в формуле являются затраты на содержание запасов. Затраты на приобретение запасов вычисляются как произведение величины спроса ( $D$ ) и удельных переменных затрат ( $v$ ). Ввиду вышеуказанного допущения, удельные переменные затраты не зависят от размера заказа, поэтому затраты на приобретение запасов не влияют на определение ЕОQ и не включаются в формулу (4) [31, Р. 148]. Оптимальный размер заказа ЕОQ соответствует минимуму функции общих релевантных затрат. В результате дифференцирования функции общих релевантных затрат по переменной размера заказа получаем формулу ЕОQ [31, Р. 150]:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times A \times D}{v \times r}} \quad (5)$$

Помимо основной модели ЕОQ существует множество ее модификаций. Модель ЕОQ при наличии оптовых скидок не требует допущения о том, что удельные переменные затраты не зависят от размера заказа. В данном случае удельные переменные затраты уменьшаются на величину оптовой скидки при превышении порогового значения размера заказа. Общие релевантные затраты включают в себя затраты на исполнение заказа, затраты на содержание запасов и, в отличие от основной модели, затраты на приобретение запасов [31, Р. 156].

Модель производственного размера заказа (Economic Production Quantity, EPQ) с учетом ограниченного темпа пополнения запасов не требует допущения о том, что размер

заказа доставляется единой поставкой. Вместо этого он становится доступным согласно темпу производства. Соответствующая формула представлена ниже [31, Р. 166].

$$EPQ = \sqrt{\frac{2 \times A \times D}{v \times r \times (1 - D/m)}}, \quad (6)$$

где  $m$  – темп производства продукции в единицу времени.

Также существуют модели EOQ, учитывающие инфляцию, ограничения на размер заказа, ненулевое время выполнения заказа, ненулевой период оплаты за поставленные товары, различные виды затрат на содержание запасов, скидки на стоимость фрахта, возникновение дефицита запасов [31, Р. 160-170]. В целом формулы EOQ модифицированных моделей выводятся путем нахождения минимума функции общих релевантных затрат.

Таким образом, для определения размера заказа при детерминированном и постоянном спросе используется основная модель EOQ и ее модификации, позволяющие применять данную модель в более широком ряде случаев и требующие меньшее количество допущений.

## **2.2 Определение размера партии при динамическом детерминированном спросе**

### **2.2.1 Основные подходы и необходимые допущения**

В условиях динамического спроса уровень запасов меняется со временем разными темпами, поэтому использование фиксированного размера заказа редко является наилучшим методом управления запасами. В данном случае для расчета размера заказа необходимо учитывать информацию о спросе за определенный период времени, который называется горизонтом планирования. Используется скользящий календарный план, при котором определяется только ближайший размер заказа. Для расчета следующего размера заказа учитывается новая информация о спросе, чтобы сохранять постоянную длительность горизонта планирования [31, Р. 200].

Анализ данных о динамическом спросе связан с определенными трудностями, поскольку он может быть непрерывным либо дискретным, возникая только в равноудаленные друг от друга моменты времени. Распространенной ситуацией является

изменение совокупного спроса от одного периода к другому так, что он остается неизменным в течение конкретного периода [31, Р. 200].

Существует три основных подхода к определению размера заказа при динамическом детерминированном спросе. Первым является основная модель ЕОQ, используемая каждый раз, когда требуется пополнение запасов, основываясь на среднем уровне спроса на период горизонта планирования. Данный подход применим при низкой изменчивости спроса, поскольку в таком случае допущение модели ЕОQ о постоянном спросе нарушается несущественным образом [31, Р. 201]. В случае дискретных возможностей пополнения запасов, величина ЕОQ должна быть установлена так, чтобы с точностью удовлетворить потребности целого числа периодов. Для этого потребности за несколько периодов суммируются, пока не будет найдена сумма, ближайшая по величине к ЕОQ [31, Р. 205].

Вторым подходом является алгоритм Вагнера-Уайтина (Wagner–Whitin Algorithm), определяющий точное наилучшее решение для конкретной математической модели рассматриваемой ситуации [31, Р. 201-202]. Третья группа подходов – приближенные или эвристические методы, учитывающие сложность динамического спроса, но при этом сравнительно просты для применения и не требуют длительных вычислений [31, Р. 202].

На практике эти три вида подходов применяются для определения размера партии в системах MRP, при производстве под заказ, а также в условиях сезонного спроса на продукцию [31, Р. 199]. Вышеописанные подходы используются при допущениях 3, 4, 5, 7, 8 для основной модели ЕОQ, а также некоторых дополнительных допущениях [31, Р. 202]:

1. Уровень спроса представлен как  $D(t)$  и должен быть удовлетворен в течение периода  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, N$ ), горизонтом планирования является конец периода  $N$ .
2. Общая потребность для каждого периода должна быть доступна в начале данного периода. В связи с этим, пополнение запасов должно производиться в начале периодов.
3. Время выполнения заказа точно известно, значит, поставка может быть спланирована и произведена точно в начале периода.
4. Для простоты расчетов предполагается, что затраты на содержание применимы только к запасам, переходящим от одного периода к следующему.

Исходя из допущений 2, 6 и 7, пополнение запасов производится в начале периодов, когда уровень запасов равен нулю [31, Р. 203].



## 2.2.2 Алгоритм Вагнера-Уайтина

Алгоритм Вагнера-Уайтина обеспечивает оптимальный выбор размеров заказа с точки зрения минимизации общих затрат на исполнение заказа и содержание запасов с учетом вышеописанных допущений. Данный алгоритм является применением динамического программирования – математической процедуры для решения проблемы последовательного принятия решений. Проблема заключается в том, что принятие решения о размере заказа в данный момент времени влияет на возможные решения о пополнении запасов в последующие моменты времени [31, Р. 205-206].

Алгоритм для периода  $t^*$  ( $t^* = 1, 2, \dots, N$ ) представлен ниже [34, Р. 93]:

1. Рассматриваются стратегии размещения заказа в период  $t^{**}$  ( $t^{**} = 1, 2, \dots, t^*$ ) для того, чтобы удовлетворить спрос  $D(t)$  ( $t = t^{**}, t^{**} + 1, \dots, t^*$ ).
2. Определяются общие затраты различных стратегий (их число равно  $t^*$ ) путем сложения затрат, связанных с размещением заказа в период  $t^{**}$ , и затрат, связанных с оптимальными стратегиями от периода 1 до  $(t^{**} - 1)$ . Последние затраты были определены ранее в расчетах для периодов  $t = 1, 2, \dots, t^* - 1$ .
3. Из альтернативных стратегий выбирается та, которая имеет минимальные затраты для периодов от 1 до  $t^*$  при независимом рассмотрении.
4. Далее нужно перейти к периоду  $(t^* + 1)$  или остановиться, если  $t^*$  равно  $N$ .

В Таблице 1 ниже представлена схема данного алгоритма. Обозначение  $(1, 2, \dots, t^{**})$   $t^{**} + 1, t^{**} + 2, \dots, t^*$  указывает на то, что заказ размещен в период  $(t^{**} + 1)$  для удовлетворения спроса  $D(t)$  (где  $t = t^{**} + 1, \dots, t^*$ ), а также на то, что оптимальная стратегия для периодов от 1 до  $t^{**}$  рассмотрена отдельно. При рассмотрении конкретной ситуации в нижних строках Таблицы 1 должны указываться минимальные затраты для периодов от 1 до  $t^*$  и оптимальные стратегии пополнения запасов [34, Р. 93]. В четвертой строке таблицы для каждой стратегии должны быть указаны ее общие затраты.

Оптимальное решение алгоритма должно обладать двумя свойствами [31, Р. 206]:

1. Пополнение запасов производится, когда уровень запасов равен нулю.
2. Существует ограничение на включение потребности  $D(t)$  периода  $t$  в размер заказа предшествующих периодов. В определенный момент затраты на содержание запасов становятся настолько высокими, что дешевле пополнить запасы в начале периода  $t$ , чем включать потребность этого периода в размер заказа несколькими периодами ранее.

Таблица 1. Схема алгоритма Вагнера-Уайтина

Месяц t	1	2	3	4	...	N
Затраты на исполнение заказа	A(1)	A(2)	A(3)	A(4)	...	A(N)
Спрос	D(1)	D(2)	D(3)	D(4)	...	D(N)
(1, 2, ..., t - 1) <u>t</u>	1	(1) <u>2</u>	(1, 2) <u>3</u>	(1, 2, 3) <u>4</u>	...	(1, 2, ..., N - 1) <u>N</u>
(1, 2, ..., t - 2) <u>t - 1, t</u>		<u>12</u>	(1) <u>23</u>	(1, 2) <u>34</u>	...	(1, 2, ..., N - 2) <u>N - 1, N</u>
(1, 2, ..., t - 3) <u>t - 2, t - 1, t</u>			<u>123</u>	(1) <u>234</u>	...	(1, 2, ..., N - 3) <u>N - 2, N - 1, N</u>
(1, 2, ..., t - 4) <u>t - 3, t - 2, t - 1, t</u>				<u>1234</u>	...	(1, 2, ..., N - 4) <u>N - 3, N - 2, N - 1, N</u>
⋮						⋮
Минимальные затраты						
Оптимальная стратегия						
Период (1, 2, ..., t)	(1)	(1, 2)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3, 4)		(1, 2, ..., N)

Составлено по: Н.М. Wagner, Т.М. Whitin. Dynamic version of the economic lot size model. Management Science, Vol. 5(1). 1958. P. 93.

Оптимальным решением алгоритма является выбор размеров заказа в определенные периоды времени, который минимизирует общие затраты на исполнение заказа и содержание запасов для определенного горизонта планирования [31, P. 209].

Числовые примеры в научной литературе показывают, что алгоритм Вагнера-Уайтина позволяет снизить общие затраты по сравнению с моделью EOQ [31, P. 209].

### 2.2.3 Эвристические подходы

Эвристический подход Сильвера-Мила (Silver-Meal Heuristic) определяет размер заказа исходя из критерия минимизации общих релевантных затрат в единицу времени, чем повторяет свойство основной модели EOQ [31, P. 212]. Поскольку пополнение запасов должно производиться в начале периодов, то размер заказа должен удовлетворять спрос целого числа периодов. Следовательно, переменной, определяющей принятие решения о пополнении запасов, будет время T (целое число), в течение которого запасы будут удовлетворять спрос. Размер заказа определяется по следующей формуле [31, P. 213]:

$$Q = \sum_{t=1}^T D(t), \quad (7)$$

где Q – размер заказа; T – период времени, в течение которого запасы удовлетворяют спрос; D(t) – уровень спроса в период времени t (t = 1, 2, ..., N).

Подход Сильвера-Мила заключается в определении величины  $T$ , которая минимизирует общие релевантные затраты в единицу времени. Функция общих релевантных затрат в единицу времени представлена ниже [31, Р. 213]:

$$\text{TRCUT}(T) = \frac{\text{TRC}(T)}{T} = \frac{A + v \times r \times \sum_{t=1}^T (t-1) \times D(t)}{T}, \quad (8)$$

Где  $\text{TRCUT}(T)$  – общие релевантные затраты в единицу времени;  $\text{TRC}(T)$  – общие релевантные затраты;  $A$  – постоянные затраты на исполнение заказа;  $v$  – удельные переменные затраты;  $r$  – стоимость содержания запасов.

Общие релевантные затраты включают постоянные затраты на исполнение заказа и затраты на содержание запасов. Для определения  $T$  нужно оценивать значение  $\text{TRCUT}$  при увеличении  $T$ , пока оно не начнет расти, то есть  $\text{TRCUT}(T+1)$  станет больше  $\text{TRCUT}(T)$ . Значение  $T$ , при котором впервые выполнится данное условие, является числом периодов, которые должны охватываться размером заказа. Величина размера заказа рассчитывается по формуле (7). При этом, данный подход определяет только локальный минимум функции  $\text{TRCUT}(T)$  для текущего пополнения запасов [31, Р. 214]. По сравнению с алгоритмом Вагнера-Уайтина, продолжительность рассматриваемого промежутка времени не является критическим для эффективности подхода Сильвера-Мила, поскольку он использует информацию о спросе только для нескольких первых периодов. Числовой пример Э. Сильвера показывает, что применение данного подхода может дать тот же самый результат, что и алгоритм Вагнера-Уайтина [31, Р. 215].

Существуют также и другие эвристические подходы, наиболее простым из которых является подход «партия за партией» (Lot-for-Lot, LFL), при котором заказывается точный размер, необходимый для каждого отдельного периода. Подход наименьших удельных затрат (Least Unit Cost, LUC) отличается от подхода Сильвера-Мила тем, что вместо затрат в единицу времени анализирует затраты на единицу товара. Последовательное балансирование по отдельным периодам (Part-Period Balancing, PPB) используется для выбора такого числа периодов, которые должен охватывать размер заказа, чтобы общие затраты на содержание запасов были предельно приближены по величине к затратам на исполнение заказа. Периодический размер заказа (Periodic Order Quantity, POQ) выражает EOQ в виде числа периодов времени между смежными поставками, определяя размер заказа так, чтобы точно удовлетворить спрос в течение данного числа периодов [31, Р. 216].

Согласно Э. Сильверу, по результатам многочисленных испытаний на числовых примерах большинство эвристических подходов эффективнее, чем подход фиксированного размера EOQ [31, Р. 218]. Согласно работе К. Бейкера [31], увеличение затрат при

использовании подхода Сильвера-Мила по сравнению с алгоритмом Вагнера-Уайтина в среднем составляет менее 1%, что лучше, чем соответствующие результаты подходов PPB, LUC и POQ.

Для принятия решения об использовании того или иного подхода необходимо анализировать меру изменчивости спроса – квадратический коэффициент вариации (Squared Coefficient of Variation, SCV), вычисляемый по следующей формуле [31, P. 219]:

$$SCV = \frac{\sigma^2}{\bar{D}^2}, \quad (9)$$

где SCV – коэффициент вариации в квадрате;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение величины спроса за период;  $\bar{D}$  – средняя величина спроса за период.

Пороговое значение SCV равно 0,2, следовательно, если SCV меньше 0,2, то следует использовать основную модель EOQ исходя из средней величины спроса  $\bar{D}$ . Если SCV больше или равен 0,2, то следует использовать эвристический подход [31, P. 219].

Таким образом, для определения размера партии при детерминированном динамическом спросе используется основная модель EOQ, если изменчивость спроса является низкой. В иной ситуации следует использовать эвристический подход или алгоритм Вагнера-Уайтина, который определяет наилучшую стратегию пополнения запасов, общие затраты которой меньше по сравнению с другими подходами. Эвристические подходы отличаются простотой и меньшим объемом вычислений. Подхода Сильвера-Мила наиболее оптимален с точки зрения минимизации общих релевантных затрат в единицу времени, величина которых незначительно выше по сравнению с алгоритмом Вагнера-Уайтина.

## **2.3 Виды систем управления запасами при вероятностном спросе**

### **2.3.1 Основные понятия и применяемые показатели**

Управление запасами в условиях вероятностного спроса значительно усложняется, поскольку следует принимать во внимание затраты, связанные с дефицитом запасов, и анализировать уровень обслуживания потребителей. В большинстве случаев поддержание соответствующего уровня страховых запасов может привести к существенному улучшению обслуживания потребителей. Возникновение дефицита запасов может привести к задержке заказа (Backorder), когда спрос удовлетворяется, как только товар появляется в наличии, либо к полной потере продаж [31, P. 239].

При управлении запасами в условиях вероятностного спроса уровень запасов (Inventory position, IP) определяется следующим образом [31, P. 238]:

$$IP = OH - BO + OO - C \quad (10)$$

где IP – уровень запасов; OH – наличные запасы; OO – заказанные запасы; BO – задержанные заказы; C – зарезервированные запасы.

Наличные запасы (On-hand stock, OH) есть в наличии на складе. Заказанные запасы (On-order stock, OO) были заказаны, но еще не поступили на склад. Зарезервированные запасы (Committed stock, C) не могут быть использованы для других целей в краткосрочном периоде. Страховые запасы (Safety stock, SS) соответствуют среднему размеру наличных запасов за вычетом задержанных заказов непосредственно перед пополнением запасов [31, P. 238].

Размещение заказа может производиться периодически либо в зависимости от величины точки заказа (Reorder point, s), то есть размера запасов, при котором они должны быть пополнены [31, P. 242-244]. Точка заказа определяется следующим образом [31, P. 259]:

$$s = \hat{x}_L + SS, \quad (11)$$

где s – точка заказа;  $\hat{x}_L$  – прогнозируемый (ожидаемый) спрос во время выполнения заказа; L – время выполнения заказа в днях; SS – страховые запасы.

Согласно Дж. Хейзеру и Б. Рендеру, ожидаемый спрос во время выполнения заказа может быть определен следующим образом [27, P. 513, 519]:

$$\hat{x}_L = d \times L = (D / n) \times L, \quad (12)$$

где d – средний спрос за день; D – общий спрос за год; n – число рабочих дней в году.

Размер страховых запасов может устанавливаться на основании периода времени между смежными поставками, минимизации общих затрат (включая затраты, связанные с дефицитом запасов), уровня обслуживания потребителей, минимизации ожидаемого общего количества дефицитов за год [31, P. 245-246]. Рассмотрим подробнее подход, основанный на уровне обслуживания. Ниже приведена формула страховых запасов [31, P. 259]:

$$SS = k \times \sigma_L, \quad (13)$$

где k – коэффициент безопасности (safety factor);  $\sigma_L$  – стандартное отклонение ошибок прогноза во время выполнения заказа.

Коэффициент безопасности  $k$  отражает число стандартных отклонений при определенном уровне обслуживания [27, Р. 520]. Одним из распространенных методов определения уровня обслуживания (service level) является вероятность отсутствия дефицита запасов, дополняющая вероятность возникновения дефицита запасов до единицы [27, Р. 519]. Величина  $k$  определяется по Таблице накопленного нормального распределения [31, Р. 259], представленной в Приложении 1, и должна соответствовать следующему условию [31, Р. 269]:

$$p_{u \geq}(k) = 1 - P_1, \quad (14)$$

где  $p_{u \geq}(k)$  – вероятность того, что случайная величина, распределенная по нормальному закону (среднее равно 0, стандартное отклонение равно 1), принимает значение  $k$  или более;  $P_1$  – вероятность отсутствия дефицита запасов (уровень обслуживания).

Другим распространенным методом определения уровня обслуживания является доля спроса, удовлетворяемого в обычном порядке без задержек заказа и потерянных продаж [31, Р. 249]. В данном случае величина  $k$  определяется по Таблице значений функции потерь для стандартизированного нормального распределения [17, Р. 244], приведенной в Приложении 2. Коэффициент  $k$  должен соответствовать приведенному ниже условию [31, Р. 271]:

$$G_u(k) = \frac{Q}{\sigma_L} \times (1 - P_2), \quad (15)$$

где  $G_u(k)$  – функция потерь для стандартизированного нормального распределения;

$P_2$  – доля спроса, удовлетворяемого в обычном порядке со склада (уровень обслуживания).

### 2.3.2 Системы управления запасами

Определив основные параметры систем управления запасами, перейдем к рассмотрению систем в целом и их особенностей. В работах В.И. Сергеева [6], В.В. Дыбской [2, 2], В.С. Лукинского [9], Р. Чейза [11] выделяются в качестве основных следующие системы управления запасами: с фиксированным размером заказа и с фиксированным интервалом времени между заказами. Также указывается система управления запасами с установленной периодичностью пополнения запасов до постоянного уровня и система управления запасами «минимум-максимум», обе которых сочетают в себе свойства двух вышеописанных систем [6, С. 530, 533]. По сравнению с этим, Э. Сильвер разделяет четыре системы в зависимости от следующих параметров: фиксированного размера заказа  $Q$  или переменного размера, доводящего уровень запасов до порогового значения  $S$ , периода

контроля  $R$  (время между моментами проверки состояния запасов) и точки заказа  $s$  [31, Р. 245].

Рассматриваемые системы применяются при следующих допущениях [31, Р. 257, 280]:

1. Спрос является вероятностным, и его средняя величина почти не изменяется со временем.
2. Для системы с фиксированным размером заказа, заказ размещается, когда уровень запасов в точности равен точке заказа  $s$ .
3. Пересечение между заказами не допускается, то есть, если для одинаковой единицы товара одновременно имеются заказы на пополнение запасов, то заказы выполняются в том порядке, в котором они были размещены.
4. Удельные затраты, связанные с дефицитом, настолько высоки, что на практике средний размер задержанных запасов намного меньше наличных запасов.
5. Ошибки прогноза имеют нормальное распределение без смещения (среднее значение ошибки равно нулю) и известное стандартное отклонение ( $\sigma_L$ ) во время выполнения заказа  $L$ .
6. Величины  $Q$  и  $R$  считаются заранее определенными.
7. Затраты контролирования системы не зависят от выбранного размера точки заказа.
8. При периодическом контроле пополнение запасов производится каждый период  $R$ , поскольку вероятность отсутствия спроса между проверками крайне мала.

Система  $(s, Q)$ , в русскоязычной литературе – с фиксированным размером заказа [2, С. 517], осуществляет непрерывный контроль запасов. Заказывается фиксированный размер  $Q$  в момент, когда уровень запасов снизится до точки заказа  $s$  или ниже. Для принятия решения анализируется именно уровень запасов, а не наличные запасы, поскольку последние не учитывают уже заказанные запасы [31, Р. 242].

Система  $(s, S)$ , в русскоязычной литературе – «минимум-максимум» [2, С. 533], осуществляет непрерывный контроль запасов, пополнение производится в момент, когда уровень запасов снизится до точки заказа  $s$  или ниже. Размер заказа является переменным и доводит уровень запасов до порогового значения  $S$ . Если каждый клиент запрашивает только одну единицу товара, то системы  $(s, S)$  и  $(s, Q)$  идентичны, но, если клиент может запрашивать более одной единицы товара, размер заказа становится переменным [31, Р. 242-243].

Система  $(R, S)$ , в русскоязычной литературе – с фиксированным интервалом времени между заказами [2, С. 522], осуществляет периодический контроль запасов и предполагает размещение заказа каждый период времени  $R$ . Размер заказа повышает уровень запасов до

порогового значения  $S$ . Отличительное преимущество системы – возможность периодически изменять значение  $S$ , что важно в условиях динамического спроса [31, Р. 243-244].

Система  $(R, s, S)$  является комбинацией систем  $(s, S)$  и  $(R, S)$ . Каждый период времени  $R$  проверяется уровень запасов. Если он равен или ниже точки заказа  $s$ , заказывается достаточный размер для пополнения запасов до значения  $S$ . Если уровень выше  $s$ , то не производится никаких действий до следующего момента проверки. При использовании данной системы совокупные затраты на исполнение заказа, содержание запасов и затраты дефицита меньше, чем для остальных систем. При этом, система требует больший объем вычислений по сравнению с другими системами [31, Р. 244].

Сравнивая системы, можно обобщить, что преимуществом непрерывного контроля является снижение затрат на содержание запасов, поскольку нужен меньший размер страховых запасов по сравнению с периодическим контролем. Это связано с тем, что при периодическом контроле дольше период, во время которого нужны страховые запасы. Преимуществом периодического контроля является возможность координации пополнения взаимосвязанных товаров, что может значительно снизить затраты [31, Р. 241]. Также снижаются затраты, связанные с проверкой состояния запасов на складе [6, С. 527]. Преимуществом фиксированного размера заказа является предсказуемость объема заказа поставщику, а переменный размер для поставщиков неудобен [31, Р. 243]. Также снижаются затраты на содержание запасов из-за уменьшения площадей под запасами [6, С. 527]. Согласно Э. Сильверу, при ABC-классификации запасов для группы А следует применять системы  $(s, S)$  и  $(R, s, S)$ , для группы В —  $(s, Q)$  и  $(R, S)$ , для группы С — те же, что и для В, или более простые подходы [31, Р. 245].

Таким образом, при вероятностном спросе выбор системы управления запасами должен осуществляться в зависимости от решения о периодическом или непрерывном контроле запасов, величине размера заказа и точки заказа, а также от ABC-классификации запасов. Выбор подходящей системы и уровня обслуживания исходя из специфики деятельности компании может привести к значительному снижению затрат.

## **2.4 Управление запасами в условиях динамического и вероятностного спроса**

### **2.4.1 Подход Э. Сильвера к управлению запасами**

Рассмотренный ранее алгоритм Вагнера-Уайтина и эвристические подходы при динамическом спросе игнорируют вероятностный характер спроса. В связи с этим Э.



Сильвером [32] был предложен подход к управлению запасами при динамическом и вероятностном спросе. Автором указаны следующие допущения для подхода [32, Р. 372]:

1. Время разделено на дискретные периоды единичной длины, и пополнение запасов производится в начале периодов.
2. Время выполнения заказа известно, является постоянным по величине, и имеет продолжительность  $L$ .
3. Используется система периодического контроля. В текущий момент проверки состояния запасов, обозначаемый  $(-L)$ , прогнозы спроса  $D(1), D(2), \dots, D(N)$  доступны для  $N$  периодов времени. Период 1 начинается спустя  $L$  единиц времени после момента проверки,  $N$  представляет собой длительность горизонта прогнозирования. Прогноз спроса за промежуток времени длительностью  $L$  (с момента  $(-L)$  до момента 0) считается известным.
4. Ошибки прогноза за промежуток времени  $(1+L)$  распределены по нормальному закону без смещения. Оценка величины стандартного отклонения может быть получена для любого промежутка длиной  $(1+L)$ .
5. Величина точки заказа  $s$  не зависит от величины порогового уровня  $S$ .
6. Потребность для конкретного периода должна быть в наличии в начале или перед началом данного периода. Затраты на содержание запасов в течение периода их потребления неизбежны. Для упрощения принятия решений предполагается, что затраты на содержание связаны только с запасами, которые хранятся от одного периода к следующему.

Временная последовательность событий приведена на Рисунке 2.

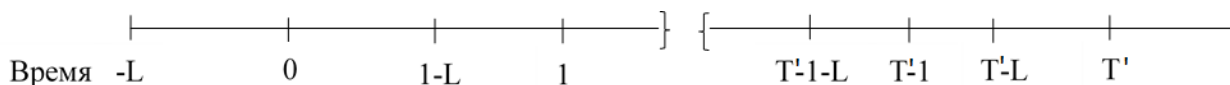


Рисунок 2. Временная последовательность событий

Составлено по: [32, Р. 373]

В момент  $0$  должен быть доставлен заказ, размещенный в момент  $(-L)$ , соответственно, в момент  $1$  должен быть доставлен заказ, размещенный при следующей проверке в момент  $(1-L)$ . В момент  $(T'-L)$  ожидается размещение следующего заказа, который должен быть поставлен в момент  $T'$  [32, Р. 373].

Момент пополнения запасов должен определяться исходя из оценки возникающих последствий при отсрочке заказа до следующего момента проверки, в частности, недостаточного уровня обслуживания. Если заказ не размещается при текущей проверке, то

уровень запасов должен удовлетворять спрос до момента 1. Сначала нужно определить фактический коэффициент безопасности в данном случае [32, Р. 373]:

$$k_a = (w - \bar{x}_{(-L,1)}) / \sigma_{(-L,1)} , \quad (16)$$

где  $k_a$  – фактический коэффициент безопасности;  $w$  – уровень запасов в момент проверки;  $\bar{x}_{(-L,1)}$  – прогноз спроса за период времени от  $-L$  до 1;  $\sigma_{(-L,1)}$  – стандартное отклонение ошибок прогноза за период времени от  $-L$  до 1.

Затем значение  $k_a$  нужно сравнить с требуемым коэффициентом безопасности  $k_r$ , значение которого зависит от показателя уровня обслуживания. Коэффициент  $k_r$  должен соответствовать условию (14) для уровня обслуживания  $P_1$ , а также условию (15) для уровня обслуживания  $P_2$ . Отметим, что рассматривается период времени от  $-L$  до 1. Таким образом, заказ на пополнение запасов следует размещать в момент текущей проверки, если  $k_a$  меньше  $k_r$  по величине. В противном случае следует отсрочить размещение заказа как минимум до момента следующей проверки [32, Р. 374].

Период времени  $T$ , который должен охватываться размером заказа, определяется с помощью подхода Сильвера-Мила, описанного ранее в пункте 2.2.3.

Размер заказа, размещенный в момент  $(-L)$  должен удовлетворять спрос до конца периода  $T'$ , значит, следующий заказ будет размещен в момент  $(T'-L)$  [32, Р. 375].

При определении размера заказа нужно учитывать, что поступление заказа на склад, когда уровень запасов в точности равен нулю, маловероятно. Также для того, чтобы размер пополнения запасов удовлетворял спрос до момента  $T'$ , уровень запасов в момент  $(T'-1-L)$  должен немного превышать точку заказа, поддерживая некоторый страховой запас. Кроме того, из-за динамического характера спроса, значение точки заказа в момент  $(T'-1-L)$  несколько отличается от значения в момент  $(-L)$ . При  $T'=1$  такого не происходит, поскольку мы уже находимся в моменте  $(T'-1-L)$  [32, Р. 375].

Формула размера заказа приведена ниже [32, Р. 375]:

$$Q = s_{T'-1-L} + b \times \sigma_{(-L, T'-1-L)} + \bar{x}_{(-L, T'-1-L)} - w , \quad (17)$$

где  $T = 2, 3, \dots, N$ ;  $b$  – коэффициент безопасности (принимает значение от 0 до 0,1).

Точка заказа  $s_{T'-1-L}$  в момент  $(T'-1-L)$  определяется по формуле (11) с учетом периода от  $(T'-1-L)$  до  $T'$ . Требуемый коэффициент безопасности  $k_r'$  равен  $k_r$  для уровня обслуживания  $P_1$  либо устанавливается исходя из условия (15) для уровня обслуживания  $P_2$ .

При этом, с целью упрощения расчетов, величина размера заказа  $Q$  в формуле (15) определяется приближенно по формуле (7) для детерминированного спроса, с учетом периода от 0 до  $T'$  [32, Р. 376].

Для специального случая, когда  $T'=1$ , ошибки прогноза и прогноз спроса рассматриваются для периода от  $(-L)$  до 1. Требуемый коэффициент безопасности  $k_T'$  определяется теми же методами, что и для  $T = 2, 3, \dots, N$ , с учетом условия  $T'=1$ . Размер заказа определяется по формуле (17) при исключении второго и третьего слагаемых и с учетом периода от  $(-L)$  до 1 [32, Р. 376].

Подход Э. Сильвера требует оценку трех стандартных отклонений ошибок прогноза  $\sigma_{(-L,1)}$ ,  $\sigma_{(-L,T'-1-L)}$  и  $\sigma_{(T'-1-L,T')}$ . Опишем относительно простой с практической точки зрения способ расчета их значений, которые изменяются при динамическом спросе. Предположим, что для единичного интервала времени от  $t$  до  $t+1$  прогноз спроса и стандартное отклонение связаны следующим образом [32, Р. 376]:

$$\sigma_{(t,t+1)} = c \times \bar{x}_{(t,t+1)}, \quad (18)$$

где  $c$  – постоянная величина.

Затем для конкретного случая величина  $c$  может определена с помощью построения графика по данным о прогнозе спроса и стандартного отклонения. Наиболее простым способом оценки стандартных отклонений для интервала длины  $(1+L)$  или  $T'$ , подходящим в случае сильной взаимосвязи ошибок прогноза от одного периода к следующему, является использование формулы (18) с учетом ее корректировки для разных периодов  $(-L, 1)$ ,  $(-L, T'-1-L)$  и  $(T'-1-L, T')$  [32, Р. 377].

Таким образом, эвристический подход Э. Сильвера предлагает следующее решение проблемы управления запасами при вероятностном и динамическом спросе: необходимо последовательно определять момент пополнения запасов, период, в течение которого размер заказа удовлетворяет спрос, и непосредственно размер заказа.

#### **2.4.2 Современные подходы к управлению запасами при вероятностном и динамическом спросе**

В современной научной литературе разрабатываются эвристические подходы к управлению запасами, которые учитывают динамический и вероятностный характер спроса, а также развиваются концепции управления запасами в цепочках поставок в данных условиях. Э. Сильвер и Н. Пужаван разрабатывают на основе подхода Сильвера-Мила метод,

осуществляющий выбор времени следующего пополнения запасов и размера увеличения порогового уровня запасов сверх величины ожидаемого спроса до следующего пополнения [30, P. 706]. Увеличение размера заказа производится, чтобы предотвратить необходимость размещения следующего заказа раньше планируемого срока. В результате проверки модели на числовых примерах с динамическим спросом было выявлено, что эвристические подходы сравнимы по эффективности с системой управления запасами (s, S) [30, P. 705].

К. Говиндан рассматривает стратегию оптимального пополнения запасов в рамках системы VMI для ситуации вероятностного и динамического спроса, одного продавца и нескольких покупателей, одного вида товара. Целью работы является нахождение цепочки поставок, которая бы минимизировала общие затраты цепочки поставок. Для этого проводится сравнение эффективности традиционной и применяющей VMI цепочек поставок [22, P. 402]. Отмечается, что затраты в цепочке поставок с системой VMI значительно ниже. В работе используются модификации эвристического подхода Сильвера-Мила: первая модификация включает увеличивающийся размер заказа, вторая дополнена страховыми запасами. Одним из результатов исследования является вывод о том, что подход Сильвера-Мила со страховыми запасами позволяет снизить затраты вне зависимости от вида цепочки поставок. Также отмечается, что с ростом числа клиентов, покупающих одинаковый товар у одного продавца, продавец получает больше возможностей для консолидации спроса и выбора времени пополнения запасов, а также позволяет продавцу снизить операционные затраты [22, P. 421].

Д. Чоудхари и Р. Шанкар сравнивают стратегию VMI и независимое принятие решений контрагентами в цепочке поставок при полном обмене информацией (Information Sharing, IS) в условиях динамического и вероятностного спроса [18, P. 1472].

Д. Эскуин, Л. Поло и Д. Сипрес разрабатывают математическую модель для вычисления оптимального состава запасов, которые бы минимизировали затраты для двухступенчатой цепочки поставок в условиях динамического и вероятностного спроса. Работа рассматривает проблему определения размера партии для множества видов товаров при учете ограничений величины производственной мощности и уровня обслуживания. Разработанная модель сравнивает стратегии производства под заказ (Make To Order) и VMI. В результате работы предлагается план производственных заказов, целью которого является минимизация затрат на содержание запасов в цепочке поставок [20, P. 424].

Таким образом, в современной научной литературе особое внимание уделяется развитию подхода Сильвера-Мила и системы VMI в цепочках поставок. В дальнейших исследованиях следует учитывать совместное пополнение запасов различных товаров, задержки заказов и возникновение дефицита запасов.

Вывод по главе 2: рассмотренные методы управления запасами различаются в зависимости от характера спроса, при котором следует их использовать. При постоянном и детерминированном спросе для определения размера заказа используется основная модель EOQ и ее модификации. При динамическом и детерминированном спросе для определения размера партии в случае низкой изменчивости спроса используется основная модель EOQ. В случае высокой изменчивости спроса применяется алгоритм Вагнера-Уайтина и эвристические подходы, наиболее оптимальным из которых с точки зрения объема вычислений и общих релевантных затрат является подход Сильвера-Мила. При постоянном и вероятностном спросе применяются различные системы управления запасами, которые следует выбирать в зависимости от потребности периодического или непрерывного контроля запасов, переменного или фиксированного размера заказа, величины точки заказа, а также исходя из группы запасов по ABC-классификации. При динамическом и вероятностном спросе вышеописанные методы комбинируются. Подход Э. Сильвера сочетает в себе подход Сильвера-Мила и систему  $(s, S)$  с разными вариантами выбора уровня обслуживания. Другие подходы в научной литературе основываются на модификациях подхода Сильвера-Мила и систем управления запасами с учетом дополнительных факторов.

## Глава 3 Применение метода Э. Сильвера по управлению запасами

### 3.1 Общая характеристика организации ООО «Максидом»

Компания ООО «Максидом» является первой российской сетью гипермаркетов товаров для обустройства дома, ремонта и строительства. Первый магазин сети был открыт в 1997 году в Санкт-Петербурге. На настоящий момент сеть магазинов ООО «Максидом» включает в себя 13 гипермаркетов в Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Казани, Екатеринбурге, Самаре и Уфе [38].

Компания ООО «Максидом» специализируется на розничной торговле формата DIY. Формат DIY (Do It Yourself) представлен как формат строительных магазинов, гипермаркетов, которые предлагают широкий ассортимент товаров для обустройства или строительства дома. Преимуществом данного формата для сети «Максидом» - это сокращение времени покупателя на приобретение товара вследствие внедрения формата самообслуживания [38].

В Максидоме представлен широкий ассортимент товаров для дома, ремонта и строительства: более 70 тысяч товарных позиций, которые включают иностранные и отечественные товары различного ценового диапазона [38].

Сеть гипермаркетов «Максидом» имеет следующую организационную структуру, представленную на Рисунке 3 ниже:



Рисунок 3. Организационная структура сети ООО «Максидом»

Составлено по: [7]

Коммерческий отдел занимается отбором ассортимента, согласованием условий поставок, контролем исполнения поставщиками договорных обязательств, составлением и размещением заказов для гипермаркетов. Юридический отдел осуществляет правовое

обеспечение деятельности компании, претензионно-исковую и договорно-правовую работу, а также защиту интересов компании в судах, органах государственной власти, перед третьими лицами. Отдел бухгалтерии ведет учёт основных средств и расходов компании, кассовых операций и безналичных расчётов, расчёт заработной платы сотрудников, расчеты с поставщиками. Аналитический отдел составляет отчеты для руководства компании по доходам, расходам, товарным направлениям, подразделениям, а также контролирует внутренние регламенты при назначении розничных цен и проверяет формирование и исполнение бюджетов расходов подразделений компании [7, С. 49-50].

Отдел маркетинга отвечает за ценообразование, проведение рекламных акций, создание новых торговых марок, развитие торговой сети, а также формирование положительного имиджа компании. Контрольно-ревизионный отдел проводит плановые инвентаризации, регулярные проверки торговых залов и складов, участвует в разработке новых технологий, ведет статистику показателей эффективности подразделений компании. Служба главного инженера отвечает за обслуживание и текущий ремонт зданий, прилегающих к ним территорий, и складов, а также организует и проводит ремонт торгового оборудования и инженерных сетей магазинов, закупает расходные материалы и погрузо-разгрузочную технику, планирует и осуществляет охрану труда и пожарной безопасности на всех площадках. Служба персонала отвечает за поиск новых сотрудников, обучение персонала и кадровое делопроизводство [7, С. 51-53].

Служба транспортно-складской логистики включает в себя четыре отдела. В отделе производства осуществляется сборка мебели. Административно-хозяйственный отдел и отдел материально-технического обеспечения отвечают за своевременное обеспечение всех магазинов торговым оборудованием, закупку и хранение товарно-материальных ценностей для всех подразделений компании, головного офиса и региональных магазинов. Отдел транспорта осуществляет доставку товара покупателям, перемещает грузы между складами и магазинами, а также обеспечивает компанию легковым транспортом. Компания имеет два общих распределительных центра, что позволило уменьшить товарный запас, высвободить дополнительные места на складах магазинов и сократить цепочку поставок [7, С. 54].

Центр информационных технологий отвечает за поддержку и развитие корпоративной информационной системы, а также за работу системы хранения и передачи данных, телефонии, системы видеонаблюдения и оповещения, кассовых систем магазинов и систем контроля доступа. Служба WEB-разработки отвечает за создание и обеспечение работы интернет-магазина компании [7, С. 55].

При этом, каждый гипермаркет сети «Максидом» имеет собственную организационную структуру. Магазин «Максидом» по адресу Богатырский пр., д. 15 разделен отделы, приведенные на Рисунке 4 ниже.

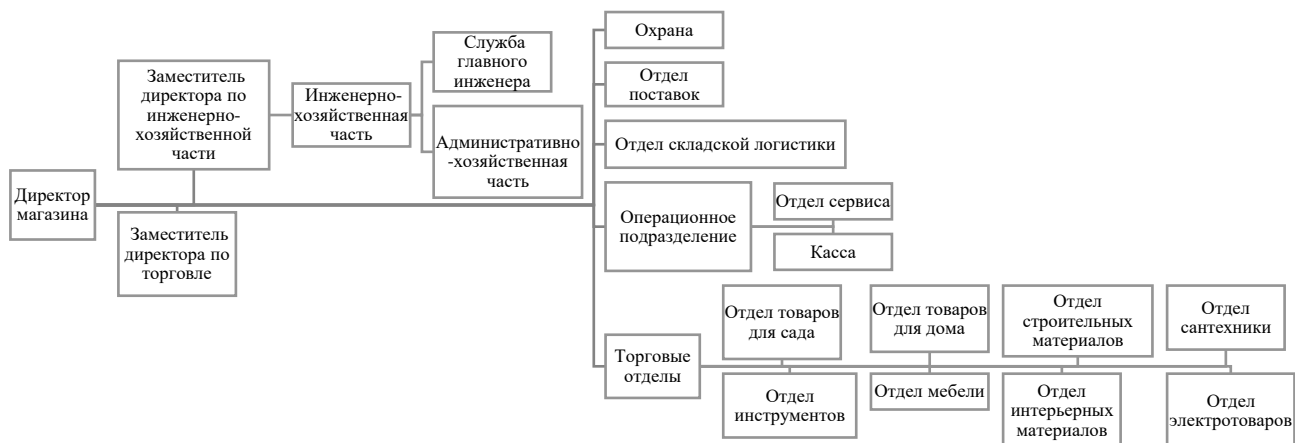


Рисунок 4. Организационная структура «Максидома» на Богатырском пр., д. 15

Составлено по: [7]

В организационной структуре гипермаркета стоит выделить отдел поставок, поскольку он связан с управлением запасами. Данный отдел отвечает за составление заказов, осуществляет текущее взаимодействие с поставщиками и торговыми отделами гипермаркета, заносит в информационную систему акты брака, отправляет поставщикам акты возврата товаров, а также проводит анализ неликвидных запасов. Составление заказов производится в информационной системе с помощью автозаказа или вручную, если планируются акции, которые не занесены в программу расчета автозаказа, спрос на товар является нестационарным или товар не имеет длительной истории продаж.

Таким образом, была изучена деятельность компании «Максидом», организационная структура ее гипермаркетов и сети в целом, а также была раскрыта деятельность основных подразделений компании, в частности, отдела поставок гипермаркета на Богатырском, д. 15, в котором проходила преддипломная практика.

### 3.2 Сбор данных и прогнозирование объема реализации

Первым этапом после получения данных от компании «Максидом» было проведение ABC-анализа объема реализации SKU в рамках торговых отделов гипермаркета за 2017 год. Анализ был проведен по каждому из торговых отделов магазина «Максидом» на Богатырском пр., 15, которые включают отдел товаров для сада, отдел товаров для дома,



отдел строительных материалов, отдел сантехники, отдел инструментов, отдел мебели, отдел интерьерных материалов и отдел электротоваров.

Затем было проведено сравнение товаров, определенных в группы А, в зависимости от объема реализации. В результате анализа было установлено, что наибольший объем продаж в стоимостном выражении продемонстрировал товар, продающийся в отделе интерьерных материалов – гипсовая штукатурка «KNAUF Ротбанд 30 кг». На этом основании товар был выбран для применения метода Э. Сильвера. При этом, наибольший объем продаж в количественном выражении приходится на пакеты «Майка», но данный товар не был выбран для дальнейшего анализа, поскольку его доля в совокупном объеме реализации гипермаркета незначительна.

По выбранному SKU были получены данные о ежедневном объеме реализации из информационной системы с июля 2013 года по февраль 2018 года (продолжительностью 1732 дня), поскольку в течение этого периода история продаж товара не прерывалась. Также были получены данные о размере запасов товара в гипермаркете и размерах заказа за последний месяц указанного периода. Время выполнения заказа L составляет 7 дней.

Перед прогнозированием история продаж была предварительно восстановлена от влияния проведения акций и выбросов. Анализ спроса во время проведения акций проводился независимо от анализа выбросов. Объем спроса в значительной степени зависит от проведения акций, которые являются одним из важных внутренних для компании факторов, учитываемых при построении прогноза [32, Р. 119]. Для более точного прогнозирования была проанализирована информация об акциях, проводимых в сети гипермаркетов «Максидом». С учетом того, что в магазинах «Максидом» ежегодно проводятся акции для увеличения потока покупателей, необходимо дополнительно учитывать прирост объемов продаж во время акции в прошлые года при построении прогноза. Данный прирост не отражается в индексах сезонности, поскольку праздники могут приходиться на разные дни недели.

В Таблице 2 ниже приведены средние дневные продажи гипсовой штукатурки «KNAUF Ротбанд 30 кг» за исследуемый период, а также коэффициенты роста объемов продаж в связи с проведением акции в гипермаркете. Были указаны акции, скидка по которым действовала для данного товара.

История продаж была восстановлена от влияния акций следующим образом: объемы продаж во время проведения акций были откорректированы в сторону уменьшения на соответствующие коэффициенты, представленные в Таблице 2.

Таблица 2. Средние дневные продажи до и во время проведения акций

Год	Акция	Коэффициент роста объема продаж	Средние дневные продажи в период без акций, шт.	Средние дневные продажи во время акции, шт.
2013	Скидки по четвергам в ноябре	4,64	35,54	165,00
2014	Скидки с 23 февраля по 8 марта	1,99	35,05	69,64
2014	Скидки по вторникам в апреле	6,59	35,05	231,00
2014	Скидки по вторникам в октябре	6,92	35,05	242,67
2014	Скидки с 15 по 21 декабря	2,74	35,05	96,00
2015	Скидки с 21 февраля по 9 марта	1,22	20,71	25,18
2015	Скидки по четвергам в апреле	5,15	20,71	106,60
2015	Скидки с 11 по 14 июня	1,20	20,71	24,75
2015	Скидки с 10 по 30 августа	2,06	20,71	42,67
2015	Скидки по четвергам в октябре	5,64	20,71	116,83
2015	Скидки с 1 по 25 декабря	1,35	20,71	28,00
2016	Скидки с 20 февраля по 9 марта	1,54	26,56	40,79
2016	Скидки по вторникам в апреле	4,22	26,56	112,00
2016	Скидки с 8 по 28 августа	2,45	26,56	65,00
2016	Скидки по четвергам в октябре	5,26	26,56	139,83
2016	Скидки с 7 по 20 декабря	2,03	26,56	53,79
2017	Скидки с 20 февраля по 8 марта	1,64	28,94	47,59
2017	Скидки с 8 по 30 июня	1,51	28,94	43,65
2017	Скидки с 14 августа по 3 сентября	1,35	28,94	39,00
2017	Скидки по вторникам в октябре	4,41	28,94	127,50

Составлено по: предоставленный ООО «Максидом» набор данных

На основании расчетов было получено, что коэффициент роста объема продаж в период акции с 20 февраля по 8 марта 2018 года составляет 1,65. Показатель является отношением средних дневных продаж во время аналогичных акций за 2014-2017 годы к

средним дневным продажам в периоды без акции за эти годы. В связи с этим, прогноз на период с 20 февраля по 8 марта должен быть дополнительно увеличен на 65% в связи с влиянием акции.

На следующем этапе история продаж была восстановлена от влияния выбросов. Прогнозирование спроса на основании данных, включающих выбросы, может привести к увеличению ошибки прогноза. И наоборот, если для прогнозирования спроса во время праздничных дней и специальных событий используются данные о регулярном спросе, то прогноз также может быть неточным. Для решения этой проблемы необходимо использовать метод нахождения и корректировки выбросов. Выбросом является наблюдение, величина которого превосходит среднее значение  $\pm 3$  стандартных отклонения [35, Р. 10].

Величины выбросов в большую и меньшую сторону составили:

$$o_b = \bar{x} + 3 \times \sigma = 28,38 + 3 \times 22,14 = 94,8$$

$$o_m = \bar{x} - 3 \times \sigma = 28,38 - 3 \times 22,14 < 0$$

Стоит отметить, что выбросом в меньшую сторону  $o_m$  был принят нулевой объем продаж.

Выбросы в большую сторону могут быть связаны с одноразовой оптовой покупкой товара в магазине в определенный день. Выбросы в меньшую сторону возникают в связи с недостаточным запасом товаров в магазине. Согласно одному из подходов к восстановлению спроса на товар по дням от выбросов, необходимо заменить аномальное значение средним за период. При этом, среднее значение рассчитывается на основании данных, не включающих значения выбросов [1, С. 115]. Данная процедура была проведена для всего набора данных. Корректировке всего подверглось 38 выбросов в большую сторону и 9 выбросов в меньшую сторону. В результате были получены очищенные исторические данные.

Для прогнозирования спроса использовался метод экспоненциального сглаживания Холта-Винтерса, учитывающий тренд и сезонность. Прогноз рассчитывается по следующей формуле [31, Р. 93]:

$$x_t = (a + b \times t) \times F_t + e_t, \quad (19)$$

Где  $a$  – уровень спроса,  $b$  – линейный тренд,  $F_t$  – индекс сезонности для периода  $t$ ,  $e_t$  – независимая случайная ошибка со средним равным 0 и постоянной дисперсией  $\sigma^2$ .

Коэффициенты  $a$  и  $b$  описанной модели рассчитываются на основании исторических данных с помощью метода наименьших квадратов следующим образом [31, Р. 89]:

$$a_0 = 6/(n \times (n + 1)) \times \sum_t tx_t + 2 \times (2n - 1)/(n \times (n + 1)) \times \sum_t x_t, \quad (20)$$

$$b_0 = 12/(n \times (n^2 - 1)) \times \sum_t tx_t + 6/(n \times (n + 1)) \times \sum_t x_t, \quad (21)$$

Где  $n$  – количество периодов.

На основании исторических данных продолжительностью 4 года и 7 месяцев были рассчитаны значения параметров и индексов сезонности (использовались все данные за исключением последнего месяца февраля, для которого был построен прогноз и оценена точность прогноза). Количество периодов  $n$  было взято равным 1704, и значения  $a$  и  $b$  были получены 235,44 и 0,24 соответственно. Поскольку учитывалась сезонность продаж по дням недели, то число периодов сезонности  $P$  было принято равным 7. Индексы для всех периодов были рассчитаны методом скользящего среднего, затем были взяты их средние значения по дням недели и нормализованы таким образом, чтобы в сумме индексы равнялись  $P$ .

Значения индексов представлены в Таблице 3 ниже, на основании которых можно сказать, что объемы продаж товара повышаются во вторник, среду и четверг и снижаются с пятницы по понедельник.

Таблица 3. Индексы сезонности

День недели $i$	Средняя оценка индекса	Нормализованный индекс $F_i$
1	0,9451	0,9454
2	1,0779	1,0782
3	1,0610	1,0613
4	1,0844	1,0847
5	0,9666	0,9669
6	0,9966	0,9969
7	0,8663	0,8666

*Составлено по:* предоставленный ООО «Максидом» набор данных

Обновление значений параметров модели с учетом новых данных производится по следующим формулам [31, Р. 94]:

$$\hat{a}_t = \alpha_{HW} \times (x_t/\hat{F}_{t-P}) + (1 - \alpha_{HW})(\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{t-1}), \quad (22)$$

$$\hat{b}_t = \hat{b}_{t-1} + \beta_{HW} \times ((\hat{a}_t - \hat{a}_{t-1}) - \hat{b}_{t-1}), \quad (23)$$

$$\hat{F}_t = \hat{F}_{t-P} + \gamma_{HW} \times (x_t/\hat{a}_t - \hat{F}_{t-P}), \quad (24)$$

Где  $\alpha_{HW}$ ,  $\beta_{HW}$  и  $\gamma_{HW}$  – константы, принимающие значение от 0 до 1.

Значения вышеуказанных констант были оценены с учетом рекомендаций, описанных Э. Сильвером [31, Р. 103], и рассчитаны с помощью надстройки MS Office Excel «Поиск решений» с целью минимизации значения средней абсолютной процентной ошибки прогноза (Mean Absolute Percent Error, MAPE). Значение  $\alpha$  составило 0,0526,  $\beta$  – 0,0502,  $\gamma$  – 0,0946. Прогноз был рассчитан на февраль 2018 года (с 1705 по 1732 дни из общего набора данных), и было произведено сравнение с фактическими историческими данными.

Прогнозные и фактические значения объемов продаж за февраль 2018 года представлены на Рисунке 5 ниже.

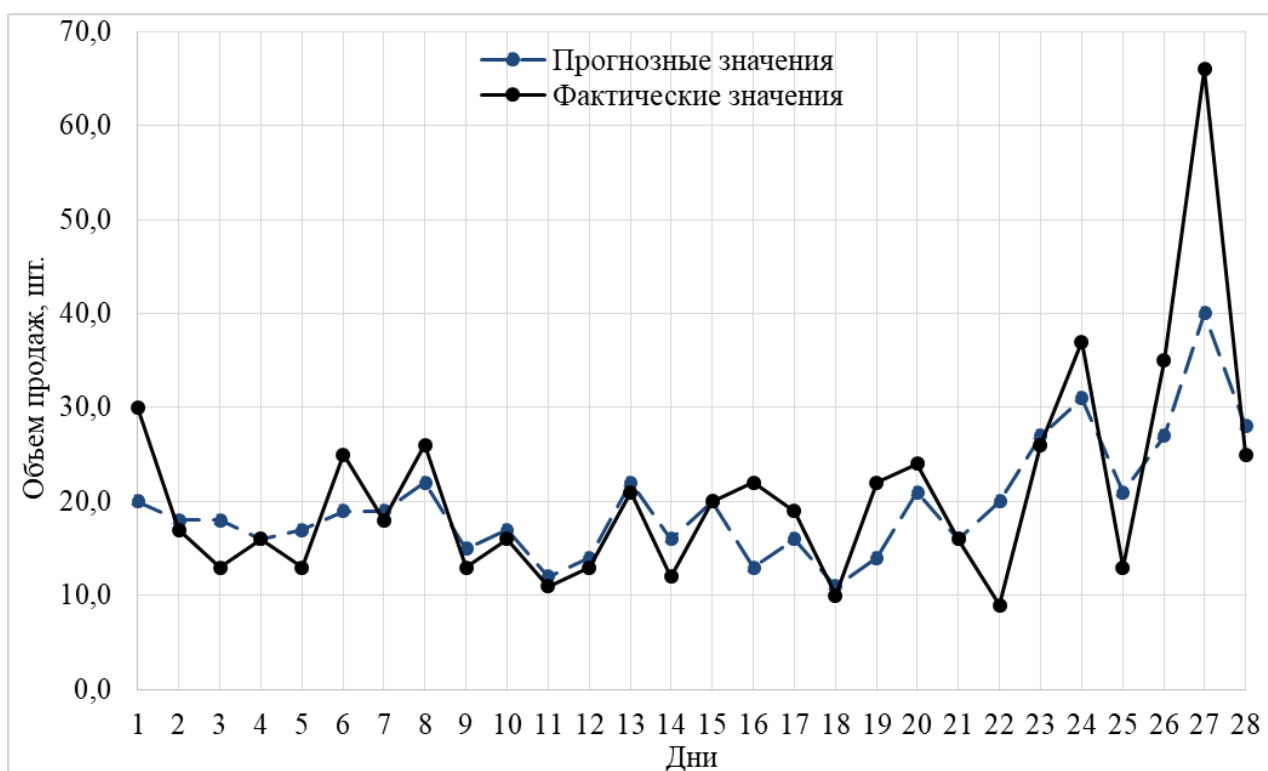


Рисунок 5. Прогноз объемов продаж на февраль 2018

*Составлено по: предоставленный ООО «Максидом» набор данных*

На графике видно, что в конце месяца фактические и прогнозные значения расходятся вследствие значительного увеличения объемов продаж при проведении акции в магазине с 20 февраля по 8 марта. Также стоит отметить, что высокие объемы продаж могут объясняться как множеством различных покупок, так и крупным единовременным приобретением товара. Такой вывод был сделан при соотнесении данных компании «Максидом» о количестве чеков и выручке по отдельным покупателям.

Ошибки прогноза по дням недели представлены в Таблице 4 ниже, на основании которых были рассчитаны показатели точности прогнозирования.

Таблица 4. Ошибки прогноза на февраль 2018 по дням недели

e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	e <sub>4</sub>	e <sub>5</sub>	e <sub>6</sub>	e <sub>7</sub>
8	26	-3	10	-1	-5	0
-4	6	-1	4	-2	-1	-1
-1	-1	-4	0	9	3	-1
8	3	0	-11	-1	6	-8

Составлено по: предоставленный ООО «Максидом» набор данных

Точность прогноза была оценена с помощью показателей среднего абсолютного отклонения ошибок прогноза (Mean Absolute Deviation, MAD) и MAPE, рассчитанных следующим образом [31, Р. 105-106]:

$$MAD = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |x_t - \hat{x}_{t-1,t}| \quad (25)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |(x_t - \hat{x}_{t-1,t})/x_t| \quad (26)$$

Значение MAD составило 4,74, значение MAPE – 22,27%. Стандартное отклонение ошибок прогноза определяется следующей формулой [31, Р. 104]:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (e_{t-r,t} - \bar{e})^2}{n-1}}. \quad (27)$$

Среднеквадратическое отклонение ошибок прогноза для понедельников  $\sigma_1$  составило 6,18, для вторников  $\sigma_2$  – 12,01, для сред  $\sigma_3$  – 1,83, для четвергов  $\sigma_4$  – 8,85, для пятниц  $\sigma_5$  – 5,19, для суббот  $\sigma_6$  – 4,79, для воскресений  $\sigma_7$  – 3,69.

Среднеквадратическое отклонение ошибок прогноза за период выполнения заказа L, равный 7 дням, составило 18,10 и было рассчитано по нижеуказанной формуле [32, Р. 378] при условии того, что ошибки прогноза в последовательных периодах являются независимыми [31, Р. 111].

$$\sigma_{-n-a,1} = \sqrt{\sigma_{-n-a,-n}^2 + \sigma_{-n,-n+1}^2 + \dots + \sigma_{-1,0}^2 + \sigma_{0,1}^2} \quad (28)$$

С учетом обновленных параметров модели и индексов сезонности был рассчитан прогноз на март 2018 года, представленный в Приложении 1. При его построении также

учитывался коэффициент роста продаж во время проведения акции в период с 1 по 8 марта, в среднем равный 1,65. На последний день февраля параметр  $a$  составляет 0,10, параметр  $b$  – 20,19, индексы сезонности приведены в Таблице 5 ниже.

Таблица 5. Обновленные индексы сезонности

День недели $i$	Средняя оценка индекса	Нормализованный индекс $F_i$
1	1,2102	1,1311
2	0,9663	0,9031
3	1,1125	1,0398
4	0,6945	0,6490
5	0,9977	0,9324
6	1,5196	1,4203
7	0,9889	0,9243

*Составлено по:* предоставленный ООО «Максидом» набор данных

Таким образом, был проведен ABC-анализ объема реализации товаров за 2017 год, на основании которого был выбран конкретный SKU, а именно гипсовая штукатурка «KNAUF Ротбанд 30 кг», для применения метода Э. Сильвера. На основании собранных данных за длительный период был построен прогноз на февраль и март 2018 года и оценена точность прогноза на февраль: величина MAD составила 4,74, значение MAPE – 22,27%.

### 3.3 Применение эвристического подхода Сильвера-Мила

Период времени  $T$ , который должен охватываться размером заказа, определяется с помощью подхода Сильвера-Мила, который заключается в определении величины  $T$ , которая минимизирует общие релевантные затраты в единицу времени.

Общие релевантные затраты рассчитываются по формуле (8) и включают постоянные затраты на исполнение заказа и затраты на содержание запасов. Для определения  $T$  нужно оценивать значение TRCUT при увеличении  $T$ , пока оно не начнет расти, то есть TRCUT( $T+1$ ) станет больше TRCUT( $T$ ). Значение  $T$ , при котором впервые выполнится данное условие, является числом периодов, которые должны охватываться размером заказа.

Расчеты по методу Сильвера-Мила представлены в Таблице 6 ниже. Порядок расчета прогноза спроса на март 2018 года в штуках был подробно описан в предыдущем параграфе. Прогноз спроса в рублях был рассчитан исходя из того, что стоимость выбранного SKU составляет 400 рублей за штуку.

Таблица 6. Расчеты по методу Сильвера-Мила

Прогноз спроса, шт.	Прогноз спроса, руб.	Затраты на хранение в год, руб.	Затраты на хранение в день, руб.	Дни	TRC, руб.	TRCUT
35	14000	5600	15,34	1	640,00	640,00
28	11200	4480	12,27	2	652,27	326,14
32	12800	5120	14,03	3	680,33	226,78
20	8000	3200	8,77	4	706,63	176,66
28	11200	4480	12,27	5	755,73	151,15
42	16800	6720	18,41	6	847,78	141,30
27	10800	4320	11,84	7	918,79	131,26
32	12800	5120	14,03	8	1016,99	127,12
19	7600	3040	8,33	9	1083,62	120,40
22	8800	3520	9,64	10	1170,41	117,04
14	5600	2240	6,14	11	1231,78	111,98
20	8000	3200	8,77	12	1328,22	110,68
29	11600	4640	12,71	13	1480,77	113,91

Составлено по: предоставленный ООО «Максидом» набор данных

Затраты на хранение товара в компании нормативно установлены в качестве 40% от стоимости товара с учетом того, что товар хранится на складе год. Общие релевантные затраты складываются из затрат на выполнение заказа и на хранение товара. Фиксированные затраты на выполнение заказа были оценены исходя из стоимости грузоперевозки, поскольку затраты на размещение, обработку и получение заказа единственного SKU незначительны, так как ассортимент гипермаркета включает в себя тысячи товарных позиций. Выбранный товар доставляется на склад гипермаркета напрямую с завода, и расстояние от завода до гипермаркета и обратно составляет около 100 км.

Согласно данным отчета «Рынок автомобильных грузоперевозок в 2014-2015 гг. и прогноз до 2018 г.» маркетингового агентства РБК Исследования рынков, средневзвешенная стоимость коммерческой автомобильной грузоперевозки в 2018 году составляет 6,4 руб. за 1 км [8, С. 38].

Таким образом, как представлено на Таблице 6, общие релевантные затраты в единицу времени постепенно снижаются и начинают увеличиваться на 13-ый день, значит, в



соответствии с использованным методом Сильвера-Мила, размер заказа должен охватывать спрос в течение  $T = 12$  дней.

### 3.4 Применение метода Э. Сильвера на основе прогнозных значений

Подход Э. Сильвера предлагает следующее решение проблемы управления запасами при вероятностном и динамическом спросе: необходимо последовательно определять момент пополнения запасов, период, в течение которого размер заказа удовлетворяет спрос, и непосредственно размер заказа. При этом, величина периода  $T$  была определена методом Сильвера-Мила в предыдущем параграфе.

На Рисунке 2 приведена временная последовательность событий, используемая в методе Э. Сильвера. Период между  $-L$  и  $0$  является временем выполнения заказа и составляет 7 дней, а период между  $0$  и  $1$  составляет 12 дней, в течение которых запасы должны удовлетворять спрос на товар.

Рассчитаем фактический коэффициент безопасности и сравним его с требуемым, на основании чего принимается решение о необходимости пополнения запасов.

Уровень запасов на момент проверки 28 февраля 2018 года составил 121 шт. и был посчитан по формуле (10) исходя из размера наличных запасов на складе гипермаркета, а также отсутствия на данный момент задержанных заказов, заказанных и зарезервированных запасов. Прогноз спроса был рассчитан путем сложения дневных прогнозов спроса с 1 по 19 марта 2018 года:

$$\bar{x}_{(-L,1)} = 35 + 28 + 32 + 20 + 28 + \dots + 14 + 20 = 467$$

Стандартное отклонение ошибок прогноза было рассчитано по формуле (28) за 19 дней с учетом дней недели. При этом, стандартные отклонения ошибок прогноза продаж для дней, которые входят в период проведения акции (с 1 по 8 марта), были увеличены пропорционально увеличению прогноза в соответствии с коэффициентом роста объема продаж. Учитывая, что 1 марта 2018 приходится на четверг, расчет был произведен следующим образом:

$$\sigma_{-L,1} = \sqrt{(8,85 \times 1,65)^2 + \dots + (8,85 \times 1,65)^2 + 5,19^2 + \dots + 6,18^2} = 39,17$$

Фактический коэффициент безопасности был рассчитан по формуле (16) следующим образом:

$$k_a = (121 - 467) / 39,17 = -8,83$$

В компании «Максидом» уровень обслуживания составляет 96%. Следовательно, согласно условию (14) и Таблице накопленного нормального распределения, представленной в Приложении 2, требуемый коэффициент безопасности  $k_p$  составляет 1,76, что существенно превосходит  $k_a$ , значит, необходимо произвести пополнение запасов. В противном случае было бы необходимо отложить размещение заказа как минимум до момента следующей проверки уровня запасов.

Формула размера заказа приведена ниже [32, Р. 375] с учетом того, что  $T'$  равен единице в ситуации на Рисунке 2.

$$Q = \bar{x}_{(-L,1)} + k_p \times \sigma_{(-L,1)} - w \quad (29)$$

Размер заказа был рассчитан следующим образом:

$$Q = 467 + 1,76 \times 39,17 - 121 = 415$$

С учетом кратности размера заказа паллете, корректируем его в ближайшую сторону и получаем 400 штук, поскольку в одну паллету входит 40 упаковок данного товара.

Полученный размер заказа по своей величине входит в диапазон значений размеров заказа (от 240 до 440 штук), которые рассчитывались в феврале 2018 года отделом поставок гипермаркета «Максидом» для данной товарной позиции.

Вывод по Главе 3: таким образом, на основании собранных данных о гипсовой штукатурке «KNAUF Ротбанд 30 кг» с июля 2013 года по февраль 2018 года был применен метод прогнозирования Хольта-Винтерса (экспоненциального сглаживания с учетом тренда и сезонности) и эвристический метод управления запасами Э. Сильвера. При этом, данные о продажах были предварительно восстановлены от выбросов и влияния акций, а также при прогнозировании была учтена информация о проводимой в гипермаркетах акции с 20 февраля по 8 марта. При сопоставлении полученного результата с практикой управления запасами и организацией поставок в компании «Максидом» стоит отметить, что поставка гипсовой штукатурки «KNAUF Ротбанд 30 кг» осуществляется в определенный день недели вместе с другими товарными позициями бренда «KNAUF», проверка уровня запасов

производится каждую неделю, период, который охватывается размером заказа, составляет от одной до двух недель, и размер заказа может как превышать, так и быть меньше полученной в данной работе величины. Исходя из сравнения, можно заключить, что результаты, полученные методом Э. Сильвера, соответствуют действительным значениям размеров заказа и периода времени, на который производится заказ товара, с незначительными различиями. Данные различия объясняются множеством дополнительных реалистичных факторов, существующих на практике и оказывающих влияние на процесс поставок и управления запасами в компании «Максидом».

## Заключение

В ходе настоящего исследования были решены поставленные задачи, то есть раскрыты основные понятия управления запасами в цепочках поставок, рассмотрен процесс прогнозирования спроса и его роль в управлении запасами. Также была представлена обобщенная классификация запасов по функциональному назначению и показана значимость ABC-классификации, позволяющей рационально распределять ресурсы по группам запасов и выбрать для них подходящие методы управления. Кроме того, были выявлены основные показатели эффективности управления запасами: средняя величина запасов, оборачиваемость запасов в днях и в оборотах, затраты на управление запасами и время выполнения заказа. Используемый метод управления запасами следует считать эффективным, если данная группа показателей демонстрирует положительную тенденцию. В результате анализа современных концепций были выявлены основные проблемы, связанные с управлением запасами в цепочках поставок, к которым относятся динамический и вероятностный характер спроса, минимизация затрат на управление запасами, определение графика и размера поставок, взаимодействие и обмен информацией между поставщиками и покупателями.

Также было произведено сравнение методов управления запасами при различных видах спроса. При постоянном и детерминированном спросе, а также при динамическом спросе с низкой изменчивостью, для определения размера заказа следует применять основную модель EOQ и ее модификации, учитывающие наличие оптовых скидок, определенный темп производства, возникновение дефицитов и другие дополнительные реалистичные факторы. При высокой изменчивости динамического спроса следует применять алгоритм Вагнера-Уайтина и эвристические подходы. Наиболее эффективным из них является подход Сильвера-Мила, поскольку, в отличие от алгоритма Вагнера-Уайтина, он не требует значительного объема вычислений, а также общие релевантные затраты при этом подходе незначительно выше, чем для алгоритма Вагнера-Уайтина, и существенно ниже, чем для других эвристических подходов. При постоянном и вероятностном спросе следует применять различные системы управления запасами, которые отличаются периодическим или непрерывным контролем запасов, переменным или фиксированным размером заказа и величиной точки заказа, а также подходят для разных ABC-групп запасов. При динамическом и вероятностном спросе вышеописанные методы следует комбинировать. Наиболее распространены методы, сочетающие основной или модифицированный подход Сильвера-Мила с различными системами управления запасами и вариантами выбора уровня

обслуживания. В дальнейших исследованиях необходимо развивать методы с учетом дополнительных факторов возникновения дефицита запасов, многоступенчатости цепочек поставок и совместного пополнения запасов разных товаров.

В практической части данной работы была изучена деятельность компании «Максидом», организационная структура ее гипермаркетов и сети в целом, а также была раскрыта деятельность основных подразделений компании, в частности, отдела поставок гипермаркета на Богатырском, д. 15. На основании данных, предоставленных ООО «Максидом», был проведен ABC-анализ товарных позиций по объемам продаж в стоимостном и количественном выражении. Анализ проводился в отдельности для каждого из торговых отделов магазина «Максидом» на Богатырском, д. 15. Исходя из результатов анализа была выбрана SKU для использования метода Э. Сильвера – гипсовая штукатурка «KNAUF Ротбанд 30 кг». Также были собраны данные по выбранному SKU об объемах продаж с июля 2013 года по февраль 2018 года, величине запасов на конец периода, принятом в компании уровне обслуживания, периодичности поставок и затратах на хранение и выполнение заказа.

Затем исторические данные о продажах были восстановлены от влияния выбросов и проведения акций, а затем был рассчитан прогноз объема продаж выбранного товара методом экспоненциального сглаживания Холта-Винтерса с учетом тренда и сезонности. При построении прогноза также был учтен коэффициент роста продаж во время акции с 20 февраля по 8 марта. На конечном этапе был применен метод Э. Сильвера для управления запасами на будущий период по выбранному SKU, что включало в себя определение момента пополнения запасов, нахождение с помощью эвристического подхода Сильвера-Мила величины периода, в течение которого размер заказа удовлетворяет спрос, и непосредственно расчет размера заказа.

При сопоставлении полученных результатов с практикой управления запасами и организацией поставок в компании «Максидом» стоит отметить, что поставка гипсовой штукатурки «KNAUF Ротбанд 30 кг» осуществляется в определенный день недели вместе с другими товарными позициями бренда «KNAUF», проверка уровня запасов производится каждую неделю, период, который охватывается размером заказа, составляет от одной до двух недель, и размеры заказа по данному товару в феврале 2018 года находились в диапазоне от 240 до 440 шт. Результаты, полученные в данной работе, соответствуют действительным значениям размеров заказа и периода времени, на который производится заказ товара, с незначительными различиями.

Различия объясняются тем, что на практике существует множество дополнительных реалистичных факторов, оказывающих влияние на процесс поставок и управления запасами,

а также факторы, учитываемые в данной работе, в действительности могут изменяться, в том числе прогноз спроса, влияние проведения акций в гипермаркете, точная величина затрат на хранение и на грузоперевозку товара для поставщика, график работы отделов приемки и складской логистики.

В дальнейших исследованиях следует провести сравнение методов прогнозирования спроса и расчета размера заказа, используемых в данной работе и применяемых в автоматизированной системе заказа компании «Максидом», с целью оценить возможность внедрения полученных результатов на практике.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баль, А.В. Методика прогнозирования спроса в ООО «Молл» / А.В. Баль, В.О. Логиновская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 115–120.
2. Дыбская, В.В. Логистика в 2 ч. Часть 1: учебник для бакалавриата и магистратуры / В.В. Дыбская, В.И. Сергеев; под общ. ред. В.И. Сергеева. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 317 с.
3. Дыбская, В.В. Логистика в 2 ч. Часть 2: учебник для бакалавриата и магистратуры / В. В. Дыбская, В. И. Сергеев. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 341 с.
4. Ковалев, В.В. Введение в финансовый менеджмент / В.В. Ковалев. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 768 с.
5. Ковалев, В.В. Финансовый менеджмент; теория и практика / В.В. Ковалев. — 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. - 1024 с.
6. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и научн. редакцией проф. В.И. Сергеева. — М.: ИНФРА-М, 2005. - 976 с.
7. Краткая иллюстрированная энциклопедия. Максидом. 20 лет. 1997-2017 // ООО «Максидом», 2017. – 137 с.
8. Рынок автомобильных грузоперевозок в 2014-2015 гг. и прогноз до 2018 г. // РБК Исследования рынков, 2015. – 226 с.
9. Управление запасами в цепях поставок в 2 ч. Часть 2: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. С. Лукинский [и др.]; под общ. ред. В. С. Лукинского. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 283 с.
10. Чейз, Р.Б. Производственный и операционный менеджмент, 10-е издание / Чейз Р.Б., Джейкобз Ф.Р., Аквилано Н.Дж. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1184 с.
11. Чейз, Р.Б. Производственный и операционный менеджмент, 8-е издание / Р.Б. Чейз, Н.Дж. Эквилайн, Р.Ф. Якобс. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. — 704 с.
12. Abuhilal, L. Supply chain inventory control: a comparison among JIT, MRP, and MRP with information sharing using simulation / L. Abuhilal, G. Rabadi, A. Sousa-Poza // Engineering Management Journal. – 2006. - Vol. 18 (2). – P. 51–57.
13. Al-khateeb, P. Partnership and negotiation support by joint optimal ordering/setup policies for JIT / Kelle, F. Al-khateeb, P. A. Miller // International Journal of Production Economics. – 2003. – P. 431-441.
14. Baker, K.R. Lot-sizing procedures and a standard data set: a reconciliation of the literature / K.R. Baker // Journal of Manufacturing and Operations Management. – 1989. – Vol. 2 (3). – P. 199-221.
15. Bhutta, M. A framework for Global Implementation of ECR / M. Bhutta, S. Khurram, P. Reyes // International Journal of Management Practice. – 2006. – Vol. 2 (1). – P. 58-71.
16. Braglia, M. Modeling an industrial strategy for inventory management in supply chains: the “Consignment Stock” case / M. Braglia, L. Zavanella // International Journal of Production Research. – 2003. - Vol. 41. – P. 3793-3808.
17. Cachon, G. Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management / Cachon G., Terwiesch C. - McGraw-Hill/Irwin, 2008. — 490 p.
18. Choudhary, D. The value of VMI beyond information sharing under time-varying stochastic demand / D. Choudhary, R. Shankar // International Journal of Production Research. – 2015. – Vol. 53 (5). – P. 1472-1486.
19. Efficient Consumer Response: Enhancing Consumer Value in the Grocery Industry. – Kurt Salmon Associates, Inc., Food Marketing Institute, Washington, DC. – 1993. – 145 p.
20. Escuín, D. On the comparison of inventory replenishment policies with time-varying stochastic demand for the paper industry / D. Escuín, L. Polo, D. Ciprés // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2017. – Vol. 309. – P. 424-434.
21. Flores, B.E. Implementing multiple criteria ABC analysis / B.E. Flores, D.C. Whybark // Journal of Operations Management. -1987. - Vol. 7. - P. 79–85.

22. Govindan, K. The optimal replenishment policy for time-varying stochastic demand under vendor managed inventory / K. Govindan // *European Journal of Operational Research*. – 2015. - Vol. 242 (2). – P. 402–423.
23. Goyal, S. K. Determination of Optimum Production Quantity for a Two-Stage Production System / S. K. Goyal // *Operational Research Quarterly*. – 1977. – Vol. 28. – P. 865-870.
24. Hariga, M. Storage constrained vendor managed inventory models with unequal shipment frequencies / M. Hariga, M. Gumus, A. Daghfous // *Omega*. – 2014. – Vol. 48. = P. 94–106.
25. Harris, F.W. How Many Parts to Make at Once / F.W. Harris // *Factory. The Magazine of Management*. – 1913. – Vol. 10 (2). – P. 135-136, 152.
26. Harris, F.W. *Operations Cost* / F.W. Harris. - *Factory Management Series*, Chicago, Shaw. – 1915. – P. 48-54.
27. Heizer, J. *Operations Management. Tenth Edition* / J. Heizer, B. Render. – Pearson Education Inc., 2011. – 891 p.
28. Liu, J. A classification approach based on the outranking model for multiple criteria ABC analysis / Liu J., Liao X., Zhao W., Yang N. // *Omega*. – 2016. - Vol. 61 (C). – P. 19-34
29. Persona, A. Consignment stock of inventories in the presence of obsolescence / A. Persona, A. Grassi, M. Catena // *International Journal of Production Research*. – 2005. – Vol. 23. – P. 4969-4988.
30. Pujawan, N. Augmenting the lot sizing order quantity when demand is probabilistic / N. Pujawan, E. A. Silver // *European Journal of Operational Research*. – 2008. - Vol. 188 (3). – P. 705-722.
31. Silver, E.A. *Inventory and Production Management in Supply Chains. Fourth Edition* / E.A. Silver, D.F. Pyke, D.J. Thomas. – CRC Press, 2017. – 767 p.
32. Silver, E.A. Inventory control under a probabilistic time-varying demand pattern / E.A. Silver // *AIIE Transactions*. – 1978. – Vol. 10. – P. 371-379.
33. Stock, R.J. *Strategic Logistics Management* / R.J. Stock, M.D. Lambert. - McGraw-Hill, Irwin, 2001. – 872 p.
34. Wagner, H.M. Dynamic version of the economic lot size model / H.M. Wagner, T.M. Whitin // *Management Science*. – 1958. – Vol. 5 (1). – P. 89-96.
35. Weatherford, L. R. A comparison of forecasting methods for hotel revenue management / L. R. Weatherford, S. E. Kimes // *International Journal of Forecasting*. – 2003. – Vol. 19 (3). – P. 401-415.
36. Wilson, R.H. A Scientific Routine for Stock Control / R.H. Wilson // *Harvard Business Review*. – 1934. – Vol. 13. – P. 116-128.
37. Zavanella, L. A one-vendor multi-buyer integrated production inventory model: The ‘Consignment Stock’ case / L. Zavanella, S. Zanoni // *International Journal of Production Economics*. – 2009. - Vol. 118 (1). – P. 225-232.
38. URL: <http://www.maxidom.ru> (Дата обращения: 18.03.2018)



### Приложение 1. Таблица накопленного нормального распределения $\Phi(k)$

<b>k</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
0	0,50000	0,50399	0,50798	0,51197	0,51595	0,51994	0,52392	0,52790	0,53188	0,53586
0,1	0,53983	0,54380	0,54776	0,55172	0,55567	0,55962	0,56356	0,56749	0,57142	0,57535
0,2	0,57926	0,58317	0,58706	0,59095	0,59483	0,59871	0,60257	0,60642	0,61026	0,61409
0,3	0,61791	0,62172	0,62552	0,62930	0,63307	0,63683	0,64058	0,64431	0,64803	0,65173
0,4	0,65542	0,65910	0,66276	0,66640	0,67003	0,67364	0,67724	0,68082	0,68439	0,68793
0,5	0,69146	0,69497	0,69847	0,70194	0,70540	0,70884	0,71226	0,71566	0,71904	0,72240
0,6	0,72575	0,72907	0,73237	0,73565	0,73891	0,74215	0,74537	0,74857	0,75175	0,75490
0,7	0,75804	0,76115	0,76424	0,76730	0,77035	0,77337	0,77637	0,77935	0,78230	0,78524
0,8	0,78814	0,79103	0,79389	0,79673	0,79955	0,80234	0,80511	0,80785	0,81057	0,81327
0,9	0,81594	0,81859	0,82121	0,82381	0,82639	0,82894	0,83147	0,83398	0,83646	0,83891
0,1	0,84134	0,84375	0,84614	0,84849	0,85083	0,85314	0,85543	0,85769	0,85993	0,86214
1,1	0,86433	0,86650	0,86864	0,87076	0,87286	0,87493	0,87698	0,87900	0,88100	0,88298
1,2	0,88493	0,88686	0,88877	0,89065	0,89251	0,89435	0,89617	0,89796	0,89973	0,90147
1,3	0,90320	0,90490	0,90658	0,90824	0,90988	0,91149	0,91309	0,91466	0,91621	0,91774
1,4	0,91924	0,92073	0,92220	0,92364	0,92507	0,92647	0,92785	0,92922	0,93056	0,93189
1,5	0,93319	0,93448	0,93574	0,93699	0,93822	0,93943	0,94062	0,94179	0,94295	0,94408
1,6	0,94520	0,94630	0,94738	0,94845	0,94950	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
1,7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907	0,95994	0,96080	0,96164	0,96246	0,96327
1,8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96638	0,96712	0,96784	0,96856	0,96926	0,96995	0,97062
1,9	0,97128	0,97193	0,97257	0,97320	0,97381	0,97441	0,97500	0,97558	0,97615	0,97670
0,2	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,98030	0,98077	0,98124	0,98169
2,1	0,98214	0,98257	0,98300	0,98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,98500	0,98537	0,98574
2,2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,98840	0,98870	0,98899
2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,99010	0,99036	0,99061	0,99086	0,99111	0,99134	0,99158
2,4	0,99180	0,99202	0,99224	0,99245	0,99266	0,99286	0,99305	0,99324	0,99343	0,99361
2,5	0,99379	0,99396	0,99413	0,99430	0,99446	0,99461	0,99477	0,99492	0,99506	0,99520
2,6	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99585	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643
2,7	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99736
2,8	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
2,9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861
0,3	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900

Составлено по: [17, Р. 420]

**Приложение 2. Таблица значений функции потерь для  
стандартизированного нормального распределения  $G_u(k)$**

<b>k</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
0	0,39894	0,39396	0,38902	0,38412	0,37926	0,37444	0,36966	0,36492	0,36022	0,35556
0,1	0,35094	0,34635	0,34181	0,33731	0,33285	0,32842	0,32404	0,31969	0,31539	0,31112
0,2	0,30689	0,30271	0,29856	0,29445	0,29038	0,28634	0,28235	0,27840	0,27448	0,27060
0,3	0,26676	0,26296	0,25920	0,25547	0,25178	0,24813	0,24452	0,24094	0,23740	0,23390
0,4	0,23044	0,22701	0,22362	0,22027	0,21695	0,21367	0,21042	0,20721	0,20404	0,20090
0,5	0,19780	0,19473	0,19170	0,18870	0,18573	0,18281	0,17991	0,17705	0,17422	0,17143
0,6	0,16867	0,16595	0,16325	0,16059	0,15797	0,15537	0,15281	0,15028	0,14778	0,14531
0,7	0,14288	0,14048	0,13810	0,13576	0,13345	0,13117	0,12892	0,12669	0,12450	0,12234
0,8	0,12021	0,11810	0,11603	0,11398	0,11196	0,10997	0,10801	0,10607	0,10417	0,10229
0,9	0,10043	0,09860	0,09680	0,09503	0,09328	0,09156	0,08986	0,08819	0,08654	0,08491
0,1	0,08332	0,08174	0,08019	0,07866	0,07716	0,07568	0,07422	0,07279	0,07138	0,06999
1,1	0,06862	0,06727	0,06595	0,06465	0,06336	0,06210	0,06086	0,05964	0,05844	0,05726
1,2	0,05610	0,05496	0,05384	0,05274	0,05165	0,05059	0,04954	0,04851	0,04750	0,04650
1,3	0,04553	0,04457	0,04363	0,04270	0,04179	0,04090	0,04002	0,03916	0,03831	0,03748
1,4	0,03667	0,03587	0,03508	0,03431	0,03356	0,03281	0,03208	0,03137	0,03067	0,02998
1,5	0,02931	0,02865	0,02800	0,02736	0,02674	0,02612	0,02552	0,02494	0,02436	0,02380
1,6	0,02324	0,02270	0,02217	0,02165	0,02114	0,02064	0,02015	0,01967	0,01920	0,01874
1,7	0,01829	0,01785	0,01742	0,01699	0,01658	0,01617	0,01578	0,01539	0,01501	0,01464
1,8	0,01428	0,01392	0,01357	0,01323	0,01290	0,01257	0,01226	0,01195	0,01164	0,01134
1,9	0,01105	0,01077	0,01049	0,01022	0,00996	0,00970	0,00945	0,00920	0,00896	0,00872
0,2	0,00849	0,00827	0,00805	0,00783	0,00762	0,00742	0,00722	0,00702	0,00683	0,00665
2,1	0,00647	0,00629	0,00612	0,00595	0,00579	0,00563	0,00547	0,00532	0,00517	0,00503
2,2	0,00489	0,00475	0,00462	0,00449	0,00436	0,00423	0,00411	0,00400	0,00388	0,00377
2,3	0,00366	0,00356	0,00345	0,00335	0,00325	0,00316	0,00307	0,00298	0,00289	0,00280
2,4	0,00272	0,00264	0,00256	0,00248	0,00241	0,00234	0,00227	0,00220	0,00213	0,00207
2,5	0,00200	0,00194	0,00188	0,00183	0,00177	0,00171	0,00166	0,00161	0,00156	0,00151
2,6	0,00146	0,00142	0,00137	0,00133	0,00129	0,00125	0,00121	0,00117	0,00113	0,00110
2,7	0,00106	0,00103	0,00099	0,00096	0,00093	0,00090	0,00087	0,00084	0,00081	0,00079
2,8	0,00076	0,00074	0,00071	0,00069	0,00066	0,00064	0,00062	0,00060	0,00058	0,00056
2,9	0,00054	0,00052	0,00051	0,00049	0,00047	0,00046	0,00044	0,00042	0,00041	0,00040
0,3	0,00038	0,00037	0,00036	0,00034	0,00033	0,00032	0,00031	0,00030	0,00029	0,00028

*Составлено по: [17, Р. 422]*

### Приложение 3. Прогноз объемов продаж на март 2018 года

День месяца	Прогноз	Индекс сезонности	День недели
1	35	1,21	4
2	28	0,96	5
3	32	1,09	6
4	20	0,68	7
5	28	0,97	1
6	42	1,44	2
7	27	0,94	3
8	32	1,21	4
9	19	0,96	5
10	22	1,09	6
11	14	0,68	7
12	20	0,97	1
13	29	1,44	2
14	19	0,94	3
15	25	1,21	4
16	19	0,96	5
17	22	1,09	6
18	14	0,68	7
19	20	0,97	1
20	29	1,44	2
21	19	0,94	3
22	25	1,21	4
23	19	0,96	5
24	22	1,09	6
25	14	0,68	7
26	20	0,97	1
27	29	1,44	2
28	19	0,94	3
29	25	1,21	4
30	19	0,96	5
31	22	1,09	6

*Составлено по: предоставленный ООО «Максидом» набор данных*