А.И. БОЛЬДЯСОВ
аналитик рынка,
ООО «ПромХимРесурс-Д»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СТРАХОВОГО ТОВАРНОГО ЗАПАСА В ОПТОВОЙ ТОРГОВЛЕ ЦВЕТНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Работа посвящена разработке моделей оптимального страхового товарного запаса для торговых предприятий, специализирующихся на оптовой продаже цветных металлов. Выявлены существующие подходы к оптимизации страхового запаса в литературе: эвристический; уровень обслуживания (сервиса); робастная оптимизация; модель «Newsvendor» и ее вариации; многокритериальная и целевая оптимизация; минимизация затрат; минимизация потерь; применение цифровых инструментов. Страховой товарный запас в отрасли представляет собой минимальную величину складских запасов, гарантирующую необходимый уровень обслуживания (сервиса) за время до пополнения товарных ресурсов или организации транзитной доставки до клиента при неизвестном дискретном, целочисленном распределении спроса (объема заказов). Предложены две модели, основанные на универсальной оценке вероятностных границ по неравенствам Чебышева и Кантелли соответственно, и модель распределенной робастной оптимизации, в основе которой лежит задача линейного программирования с ограничением на моменты и верхнюю границу случайной величины. Эмпирическое исследование на реальных данных показывает, что при уровне обслуживания (сервиса) 0,90 и 0,95 разница в результатах между сравниваемыми моделями составляет лишь 1–2 т, что делает предпочтительным более консервативное решение, так как оно универсально для любого распределения. В рассматриваемом примере при уровне обслуживания (сервиса) 0,99, соответствующем минимальной вероятности дефицита, модели, основанные на вероятностных неравенствах, позволяют получить страховой товарный запас от 70 до 100 т, в то время как модель, основанная на задаче линейного программирования, рекомендует держать страховой запас, равный максимальному значению спроса (объема заказов). В таком случае решение является компромиссом между высокими альтернативными издержками хранения страхового товарного запаса и утратой робастности к незнанию распределения за счет введения верхней границы спроса (объема заказов).

Ключевые слова: *оптовая торговля, цветные металлы, страховой запас, уровень обслуживания, робастная оптимизация, неравенство Чебышева, неравенство Кантелли, линейное программирование.*

УДК: 338.46

EDN: BJPJVS

DOI: 10.52180/2073-6487_2026_2_99_123

Введение

Определение страховой составляющей товарного запаса традиционно выступает одной из непростых управленческих задач в торговом бизнесе. Решение об оптимальной величине резерва товаров представляет собой тонкий баланс между повышением устойчивости торгового предприятия к рискам рыночной среды и трудностями, связанными с содержанием страхового запаса.

С одной стороны, отсутствие «буфера» в виде дополнительных единиц товара приводит к недополучению прибыли при непредвиденном увеличении количества заказов. Страховой товарный запас обеспечивает бесперебойность продаж на фоне резкого роста спроса и служит защитой от резких колебаний рыночной конъюнктуры. Кроме того, постоянное наличие товара в продаже способствует удержанию существующих клиентов и привлечению новых, создавая условия для улучшения финансовых результатов в будущем. С другой, при управлении страховым товарным запасом торговое предприятие неизменно несет расходы на складское хранение, оплату услуг страховых компаний, на списание товарных потерь и другое. Наличие дополнительного товара определяет и альтернативные издержки, так как авансированные в запасы средства могли принести гарантированную прибыль от размещения на депозитных счетах в банках.

В оптовой торговле цветными металлами проблема поиска оптимальной величины страхового запаса стоит особенно остро. Привязка к котировкам Лондонской биржи металлов («LME») в ценообразовании определяет высокую волатильность цен, которая усугубляется колебаниями валютных курсов, региональных премий производителей и дистрибьюторов. Решение клиента о закупке формируется исходя из сложной системы ценовых ожиданий, субъективных прогнозов конъюнктуры рынка. Непредсказуемость цен приводит к неравномерности, «рваному» характеру и кластеризации заказов со стороны предприятий обрабатывающей промышленности. В таких условиях затрудняется планирование продаж, и страховая часть товарного запаса закономерно становится ключевой его составляющей.

Как следствие, торговые предприятия в сегменте продажи цветных металлов оказываются крайне чувствительны к неблагоприятным последствиям кризисов, санкций, макроэкономических шоков. Так, оборот (без малых предприятий) в сфере оптовой торговли цветными металлами в Российской Федерации с 2021 по 2024 г. сократился с 120,7 до 64,0 млрд руб. в текущих ценах, то есть практически вдвое. При этом совокупные продажи металлов и металлических руд (без малых предприятий) за 2021–2024 гг. продемонстрировали рост

с 1,9 до 3,0 трлн руб. в фактических ценах, что соответствует увеличению в 1,5 раза[1].

Управление страховым запасом в оптовой торговле цветными металлами хотя и осуществляется на микроэкономическом уровне, имеет важное значение для всей цепочки добавленной стоимости обработки металлов и производства металлопродукции. Ввиду несовпадения производственных планов, циклов в металлургии и обрабатывающей промышленности возникает объективная необходимость в оптовом звене, которое аккумулирует и распределяет товарную массу, сглаживая подобный разрыв. И наличие достаточной величины запаса, в том числе и страхового, в оптовой торговле является условием бесперебойной и ритмичной работы промышленности. Таким образом, необходимость методической проработки подходов к моделированию страхового товарного запаса торговых предприятий в сегменте цветной металлургии обусловлена важной ролью страховой составляющей запасов в формировании финансовых результатов в торговле и обеспечении непрерывной работы промышленного сектора.

Цель настоящей работы заключается в разработке с последующей апробацией на отраслевых данных моделей оптимального страхового запаса для торговых предприятий, специализирующихся на оптовой торговле цветными металлами. В задачи работы входит: систематизация подходов к моделированию и оптимизации страхового запаса; определение особенностей страхового товарного запаса в оптовой торговле цветными металлами; формулировка альтернативных моделей страхового товарного запаса; формирование исходных данных; сравнительный эмпирический анализ результатов применения альтернативных моделей для типичного предприятия в отрасли.

Исследование включает три части. В первой детально анализируются и обобщаются существующие в научной литературе подходы к моделированию и оптимизации страхового товарного запаса. Вторая часть посвящена описанию и обоснованию задачи нахождения оптимального страхового товарного запаса в оптовой торговле цветными металлами, а также разработке альтернативных моделей. В третьей части осуществляется сопоставление результатов, полученных по альтернативным моделям, для типичного торгового предприятия отрасли, предлагаются рекомендации по практическому применению разработанных моделей.

Предлагаемые в работе подходы к решению проблемы управления страховым товарным запасом представляют практический интерес

[1] Выручка (нетто) от продажи товаров, продукции, работ, услуг (за минусом налога на добавленную стоимость, акцизов и иных аналогичных обязательных платежей) с 2017 г. ЕМИСС. https://fedstat.ru/indicator/58018 (дата обращения: 15.12.2024).

и в других сферах бизнеса, характеризующихся непредсказуемостью спроса, значительной удельной стоимостью реализуемых товаров и высокими требованиями к стандартам обслуживания. В частности, результаты исследования могут быть использованы в оптовой торговле прочими биржевыми товарами (нефтепродукты, лесо- и пиломатериалы), дорогостоящим оборудованием и комплектующими (медицинское оборудование, запчасти для авиации и судов), а также в розничной торговле премиум-товарами сложного ассортимента (например, ювелирные изделия).

Обзор литературы

Проблема моделирования страхового товарного запаса и оптимизации его величины пользуется все возрастающим интересом со стороны научного и экспертного сообщества. Как отмечается в обзорной работе [12] в последние годы среди публикаций, посвященных управлению страховой составляющей запаса, увеличивается доля исследований, направленных на расчет их величины и, следовательно, на разработку соответствующих моделей и методов.

Подходы к моделированию страхового запаса широко обсуждаются как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе. Существующие модели различаются по критериям оптимизации, сложности математического выражения, программной реализации, составу включаемых в анализ факторов и другим признакам.

Нередко в научных публикациях анализируются различные эвристические модели расчета страхового товарного запаса, основанные на специфике исследуемой отрасли и практическом опыте лиц, принимающих решение. Данный подход характеризуется простотой, наглядностью и интуитивностью формул расчета, обычно включающих средние величины различных параметров. Например, в работе Е.В. Скворды предлагаются нормативы страховой составляющей запасов для предприятий химической промышленности на основе средних продолжительности цикла, потребности в ресурсе, интервале опозданий и других показателей [5]. В статье Е.Б. Чендыловой определяется нормативы страховых товарных запасов горнодобывающих компаний исходя из ряда экономических, технико-экономических и иных метрик, характерных для отрасли [7].

Наиболее распространенным и часто используемым подходом выступает обеспечение гарантированного уровня сервиса (обслуживания). Страховой товарный запас определяется таким образом, чтобы с заданной вероятностью избегать дефицита, возникающего под влиянием случайных колебаний спроса, сроков поставки и других параметров системы управления запасами. При расчетах обычно предполага-

ется, что все величины соответствуют известному распределению, как правило, нормальному. Вероятностные границы возможных отклонений, которые будет покрывать страховой запас, рассчитываются на основе квантилей, стандартного отклонения и математического ожидания [8]. Данный алгоритм расчета лежит, в частности, в основе формулы Феттера [4], ставшей классической в рамках рассматриваемого подхода. Уровень сервиса (обслуживания) выбирается исходя из принятых отраслевых стандартов, бенчмарков и нередко дифференцируется по группам товаров или клиентов [3].

Существуют и модели, учитывающие более сложную структуру неопределенности и требующие, как следствие, более продвинутых методов моделирования и расчетов. Так, в статье П. Келли рассматривается задача обеспечения с заданной вероятностью непрерывности поставок в условиях равномерного распределения момента поставок, случайного размера завоза и непостоянной интенсивностью спроса. Страховой товарный запас моделируется посредством вероятностного интегрирования, асимптотических приближений и комбинаторных вероятностных методов [22].

Обычно подход, подразумевающий гарантированный уровень сервиса (обслуживания) применяется в прикладных исследованиях. Так, авторы статьи [28] наглядно демонстрируют, как использование формулы Феттера в хозяйственной практике индийской топливной компании способствует сокращению совокупных затрат на управление запасами. В работе [23] указывается на широкие возможности применения моделей с гарантированным уровнем сервиса (обслуживания) в отраслях, зависимых от импорта, в целях сокращения расходов и повышения качества, конкурентоспособности компаний на рынке.

Классическим инструментом в управлении страховым товарным запасом считается модель «Newsvendor» («модель газетчика»), которая позволяет на основе соотношения расходов от дефицита и избытка товаров рассчитать оптимальный уровень сервиса (обслуживания), обеспечивающий максимальную ожидаемую прибыль и минимальные ожидаемые убытки. Современная формулировка модели восходит к работе К. Эрроу и соавторов [10], давшей импульс к многочисленным обобщениям, адаптациям и улучшениям модели в последующих публикациях. Несмотря на всестороннюю и подробную научную проработку, «Newsvendor» продолжает активно исследоваться и использоваться как в теоретических, так и прикладных работах. Например, в статье [19] разрабатывается непараметрическая версия модели для скоропортящихся товаров. В работе [26] при моделировании учитывается относительная компетентность поставщиков и групповое принятие коммерческих решений путем двухэтапной стохастической оптимизации.

Другой подход к моделированию и оптимизации страхового товарного запаса заключается в минимизации совокупных затрат на его содержание. При этом оптимум по величине расходов и прибыли, в отличие от модели «Newsvendor, может не совпадать с оптимальным значением по расходам в рамках авторского взгляда на состав и функциональную форму затрат на управление страховым запасом. Например, в работе [1] оптимальный страховой запас соответствует минимуму совокупных затрат, зависящих от периодичности заказа, а также времени, стоимости и максимального размера дефицита. Статья [2] содержит динамическую стохастическую модель минимизации на бесконечном горизонте затрат, включающих издержки резервирования, дефицита и несвоевременных поставок. Авторы работы [6] рассматривают расчет страховой составляющей товарного запаса как подзадачу в рамках минимизации расходов на хранение совокупного запаса, включающего и текущую, плановую составляющую.

Аналогичные примеры встречаются и в зарубежной научной литературе. Иностранные публикации по данной проблематике, как правило, отличаются большей вариативностью математических методов оптимизации. Так, в статье [18] целевая функция затрат на управление страховым запасом включает расходы от избытка, дефицита и недостаточного восполнения «буфера». Оптимизационная задача решается методом смешанного целочисленного программирования. Авторы работы [9] на основе нелинейной аналитической модели оптимизируют величину затрат по всей товаропроводящей цепочке, принимая во внимание издержки от недостатка и чрезмерного объема страховых запасов как сырья, так и готовых изделий.

Следующий подход состоит в многокритериальной и целевой оптимизации величины страхового товарного запаса. В рамках данного направления прибыль и затраты либо являются не единственными критериями оптимальности, либо не рассматриваются. Авторы [27] с помощью циклического программирования рассчитывают буферную составляющую товарных запасов в целях обеспечения гарантированного времени обслуживания клиентов. В статье [17] с применением инструментария программной автоматизации расчетов решается задача двухкритериальной оптимизации страхового запаса, подразумевающая минимизацию как операционных расходов, так и скорости обслуживания. Авторы работы [24] разрабатывают методологию многоцелевого подхода, в рамках которого величина страхового запаса оптимальным образом удовлетворяет множеству ограничений. Процедура нахождения искомой величины осуществляется путем взвешивания критериев (целей) и построения Парето-фронта значений. В статье [13] страховой товарных запас, удовлетворяющий множеству ограничений, рассчитывается путем нелинейного смешанного

целочисленного программирования в рамках многономенклатурной логистической системы.

В зарубежной литературе нередко встречается подход, предполагающий робастную оптимизацию, в рамках которой страховой запас моделируется исходя из множеств неопределенности параметров системы. Часто лицо, принимающее решение, располагает информацией только о центральных моментах случайных величин, максимальных и минимальных значениях. Робастная оптимизация позволяет принять решение, устойчивое к возникновению различных, прежде всего негативных, сценариев развития событий. В качестве примера можно привести работу [33], в которой представлена робастная модель многономенклатурного страхового запаса, решаемая методом смешанного целочисленного программирования. Классической считается работа [31], в которой предложено робастное решение модели «Newsvendor» при неизвестном распределении спроса. В статье [15] используются критерии «минимакс» и «максимин» в рамках классической задачи «Newsvendor», используя интеграл Шоке и «загрязненную» вероятностную меру для оценки неопределенности спроса.

В ряде работ используется подход, основанный на минимизации ожидаемой величины потерь в целом (VaR-подход) или в наихудших сценариях (CVaR-подход), что позволяет объединить классические идеи управления запасами и финансового менеджмента. Например, в работе [21] страховые запасы рассчитываются в рамках модели «Newsvendor» исходя из минимума убытков в определенную долю наименее удачных периодов, определяемую в качестве «порога уверенности». При этом авторы решают задачу оптимизации запаса по всей товарной номенклатуре методами линейного программирования.

Особое место занимают работы, посвященные моделированию и оптимизации страховых товарных запасов с помощью современных цифровых методов, среди которых машинное обучение (ML), нейросети (NN), принятие решений на основе анализа данных (data-driven) и другое. Целесообразность выделения методологии и практики применения цифровых инструментов в особый подход продиктована сменой самой парадигмы моделирования. Во-первых, при использовании современных методов обычно не накладываются строгие структурные ограничения на модель, и оптимальная величина страховых запасов рассчитывается путем непрерывного глубокого анализа данных, позволяющего выявлять неочевидные паттерны и нелинейные взаимосвязи. Во-вторых, оптимальное решение представляет собой не столько конкретное значение, сколько обученную целевую функцию, которая ставит в соответствие состояние системы и оптимальный страховой товарный запас на основе сложных алгоритмов анализа данных.

Например, в работе [16] с помощью методов деревьев решений, опорных векторов, нейронных сетей и машинного обучения рассчитывается страховой запас для предприятия, работающего в сфере косметической индустрии. Авторы статьи [20] доказывают эффективность применения обучения с подкреплением для решения классических задач минимизации расходов на управление запасами. В статье [14] предлагается непараметрический алгоритм обучения для оптимизации страхового запаса в условиях непрерывно меняющегося спроса.

Подходы к моделированию страхового товарного запаса, существующие в научной литературе, в обобщенном виде представлены в табл. 1.

Таблица 1

Подходы к моделированию и расчету страхового товарного запаса

Подход	Основная идея	Используемая информация	Представители
Эвристический	Страховой запас соответствует определенным нормативам, формируемым экспертно для исследуемой области	– экономические показатели – технико-экономические показатели – иные показатели хозяйственной деятельности	Е.В. Сковорода, Е.Б. Чендылова и другие
Гарантированный уровень сервиса (обслуживания)	Страховой запас с заданной вероятностью покрывает возможный дефицит	– параметры распределения спроса (расхода запасов) – параметры распределения сроков и размеров поставок – уровень сервиса (обслуживания)	С.Ф. Миксюк, Е.В. Анкуда, П. Келли, Д. Ким, Э. Садирсан и другие
«Newsvendor» (модель «газетчика»)	Страховой запас обеспечивает максимальную ожидаемую прибыль и минимальные ожидаемые убытки	– параметры распределения спроса (расхода запасов) – потери от дефицита запасов – потери от избытка запасов	К. Эрроу, Т. Харрис, Дж. Маршак, А. Модарес и другие
Минимизация затрат	Страховой запас соответствует минимуму целевой функции расходов на его содержание	– функциональная форма затрат – параметры целевой функции – параметры распределения спроса (расхода запасов)	С.В. Булатов, А.В. Земсков, Я. Лян, М.С. Клыков и другие

Окончание табл. 1

Подход	Основная идея	Используемая информация	Представители
Многокритериальная и целевая оптимизация	Страховой запас оптимальным образом отвечает одному специфическому или нескольким критериям	– параметры распределения спроса (расхода запасов) – параметры распределения сроков и размеров поставок – прочие параметры системы – веса критериев или алгоритм их согласования	А. Базьяр, Г. Тагизаде, К. Фарахинежад, М. Голамян, М. Хохар, С. Зия и другие
Робастная оптимизация	Страховой запас оптимален для крайних (обычно наихудших) сценариев реализации неопределенности	– множества неопределенности параметров системы – моменты распределения и границы значений параметров системы	А. Чинфриньини, Д. Петтурити, Х. Скарф, Дж. Занг и другие
Минимизация величины потерь («VaR», «CVaR»)	Страховой запас с заданной вероятностью минимизирует ожидаемые убытки	– параметры распределения спроса (расхода запасов) – параметры распределения сроков и размеров поставок – прочие параметры системы – «порог уверенности»	Дж. Гото, Ю. Такано и другие
Применение цифровых инструментов	Страховой запас оптимальным образом соответствует состоянию системы на основе глубокого анализа данных	– обновляемая в режиме реального времени база данных о внешней и внутренней среде предприятия	Б. Чен, Д. Диаз, Р. Марта и другие

Источник: материалы автора.

Можно сделать вывод, что проблема моделирования величины страхового запаса подробно изучена как в российской, так и в зарубежной научной литературе. Однако акцент в имеющихся исследованиях сделан на предприятиях розничной торговли и промышленности, а также на деятельности крупных дистрибьюторских фирм. Ритмичность заказов и поставок, а также значительный масштаб бизнеса позволяют аппроксимировать спрос и предложение на известные законы распределения и использовать их свойства для аналитического решения задачи нахождения оптимального страхового товарного запаса. Как следствие, существующие модели могут не отвечать особенностям хозяйственной деятельности конкретной отрасли или тем

более компании, так как задача оптимизации страхового запаса индивидуальна для каждого бизнеса.

В частности, применение подходов, обсуждаемых в публикациях, крайне затруднено в оптовой торговле цветными металлами. Предлагаемые в научной литературе модели не учитывают сложную вероятностную природу спроса в данном сегменте, порождаемую неопределенностью ценовой конъюнктуры. Известно, что биржевые цены на цветные металлы отличаются кластеризацией волатильности, нестационарностью [32], а также выраженными фрактальными свойствами [29], что делает невозможным точный прогноз цен и определяет сложный механизм формирования спроса в сегменте.

Таким образом, проблема моделирования страховой составляющей товарного запаса в оптовой торговле цветными металлами остается недостаточно изученной в рамках существующих публикаций и, как результат, нуждается в более подробной проработке, основанной на комбинации разных подходов.

Модель страхового товарного запаса

Постановка задачи и ее специфика

Задача лица, принимающего решение, заключается в том, чтобы определить минимальный страховой товарный запас, который удовлетворяет поддерживаемому торговым предприятием уровню обслуживания (сервиса).

Обычно в прикладных экономических исследованиях страховой товарный запас определяется как фиксированная прибавка к среднему объему спроса. При наличии плана продаж формируется и поддерживается текущий товарный запас, в то время как страховой товарный запас выступает лишь как инструмент компенсации ошибок прогноза и планирования спроса относительно математического ожидания. Описанный подход актуален в розничной торговле и в сфере крупной дистрибуции, которые отличаются высокой интенсивностью заказов и значительным портфелем клиентов.

В оптовой торговле цветными металлами продажи в большинстве случаев не планируются, так как клиенты ожидают благоприятную конъюнктуру рынка и стараются закупать товар в момент разворота краткосрочных трендов в динамике котировок LME и валютных курсов. Как следствие, товарный запас фирмы изначально формируется как ресурс для торговли в условиях неопределенности объемов заказов и, таким образом, целиком выполняет страховую функцию. Наличие у торгового предприятия, в особенности малого, текущего запаса цветных металлов является скорее исключением в тех случаях, когда поставка была заранее спланирована и подтверждена клиентом.

Клиенты посреднической компании ценят оперативность поставок, обеспечиваемую за счет постоянного наличия товара в необходимом количестве, качестве и ассортименте. Высокая конкуренция между оптовыми компаниями за право сотрудничать с крупными промышленными структурами определяет высокие риски потери клиента вследствие дефицита. Данное обстоятельство делает невозможным применение классической модели «Newsvendor», подразумевающей прямую детерминированную оценку расходов от дефицита.

Как правило, торговое предприятие отгружает товар партиями, кратными вместимости грузового автомобиля или количеству лотов на торговых процедурах. Небольшие заказы, размещаемые на докупку, возникают значительно реже. В таком случае спрос имеет значительный шаг между значениями, что затрудняет оценку формы распределения. Кроме того, неопределенность конъюнктуры, обусловленная привязкой к внешним ценовым бенчмаркам, приводит к высокой волатильности как размеров заказов, так и интервалов между ними. Таким образом, предположения о соответствии форме распределения стандартным законам является слишком сильным упрощением, что диктует необходимость робастной постановки оптимизационной задачи.

С другой стороны, торговое предприятие объективно заинтересовано в минимизации величины складских запасов. Страховой товарный запас неизбежно приводит к альтернативным издержкам хранения, так как авансированные в товар средства могли бы принести безрисковую прибыль от размещения на краткосрочных вкладах и «овернайтах». Рынок металла отличается высокими ценами за единицу продукции, и приобретение даже небольшой партии приводит к «заморозке» значительных средств в товарных ресурсах, что определяет особую остроту проблемы затоваривания в сфере оптовой торговли цветными металлами.

Недополученные проценты по вкладам являются главной составляющей полных затрат на содержание страхового товарного запаса в оптовой торговле. В большинстве случаев фирмы, работающие в отрасли, арендуют небольшой склад или его часть по фиксированной арендной плате. Следовательно, решение о величине страховой составляющей товарного запаса не повлияет на расходы, связанные со складским хранением товаров.

Формализация задачи

Вводятся следующие обозначения: 1) D – случайная величина спроса (объема заказов), имеющая неизвестное дискретное целочисленное распределение ($D > 0$, $D \in Z$); 2) – математическое ожидание спроса; 3) σ^2 – дисперсия спроса; 4) α – допустимая вероятность дефицита (величина

(1 – α) – уровень обслуживания(сервиса)); 5) S – страховой товарный запас (управляемая переменная); 6) S_{α}^{*} – оптимальная величина страхового товарного запаса при данном уровне обслуживания (сервиса).

Критерий оптимизации представляет собой минимум страхового товарного запаса при обеспечении заданного уровня обслуживания (сервиса):

$$\min \{S > 0 : P(D \leq S) \geq (1 - \alpha)\}. \quad (1)$$

Такая постановка сочетает в себе два подхода к оптимизации страхового товарного запаса. Во-первых, полученное решение является робастным к незнанию распределения спроса. Во-вторых, в качестве ключевого ограничения выступает гарантированный уровень сервиса (обслуживания). Подобная формулировка задачи объективно вытекает из особенностей хозяйственной практики торговых предприятий, специализирующихся на оптовой продаже цветных металлов.

Решение задачи

Страховой товарный запас должен гарантировать бесперебойность торговли с заданной вероятностью в течение периода, соответствующего времени ожидания товара от поставщика или времени организации транзитной поставки до склада клиента (работа «с колес»). В таком случае имеющиеся товарные ресурсы покрывают риски возникновения заказов на протяжении нескольких дней подряд и выступают в качестве защиты бизнеса от кластеризации спроса, характерной для рассматриваемой отрасли.

В сфере оптовых продаж цветных металлов нет оснований предполагать наличие значимой взаимосвязи между объемом заказов в разные периоды. В хозяйственной практике можно наблюдать как локальное истощение спроса, так и его взрывной рост по мере выполнения заказов. Кроме того, количественная оценка на реальных данных корреляции между объемом заказов за различные дни затруднена. Такая ситуация продиктована одновременным влиянием на решение о закупке широкого спектра факторов, среди которых ценовые ожидания, возможность предоставления отсрочки платежа, опыт работы контрагента, качество товара и другое. Математическое ожидание и дисперсия за независимые дни продаж суммируются:

$$\mu_L = L\mu, \quad (2)$$

$$\sigma_L^2 = L\sigma^2. \quad (3)$$

$$L = \min(L_S, L_t), \quad (4)$$

где L_S – время поступления товаров от поставщика; L_t – время организации доставки от склада поставщика до склада клиента (транзитная схема товародвижения).

Дискретность и целочисленный характер спроса резко ограничивают перечень доступных методов для оценки вероятностных границ. Так, непрерывность случайной величины является условием применения поправки Корниша–Фишера, проведения ядерной оценки плотности вероятностей и других приемов. При неизвестном распределении дискретной случайной величины для оценки вероятности превышения заданного значения широко применяются вероятностные неравенства, позволяющие рассчитать нижнюю границу вероятности на основе моментов. Решение, полученное с помощью неравенств, является робастным, так как вероятностное соотношение гарантируется для любого распределения с такими моментами.

Неравенство Чебышева применительно к задаче расчета страховых товарных запасов принимает вид:

$$P(\left|D - L\mu\right| \geq t) \leq \frac{L\sigma^2}{t^2}, \tag{5}$$

где t – любое положительное число ($t > 0$).

Тогда для обеспечения требуемого уровня обслуживания (сервиса) должно выполняться следующее соотношение:

$$\frac{L\sigma^2}{t^2} \leq \alpha. \tag{6}$$

После преобразований данное выражение можно переписать:

$$t \geq \sigma\sqrt{\frac{L}{\alpha}}. \tag{7}$$

Минимальное положительное число, при котором выполняется данное условие, достигается в точке равенства. В таком случае модель страхового товарного запаса, полученная с помощью неравенства Чебышева, имеет следующий вид:

$$S_\alpha^* = \left[L\mu + \sigma\sqrt{\frac{L}{\alpha}} \right]. \tag{8}$$

Неравенство Кантелли позволяет оценить одностороннюю границу и является, таким образом, менее строгим [11]:

$$P\left(D - \mu \geq t\right) \leq \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + t^2}. \tag{9}$$

Гарантированный уровень обслуживания (сервиса) обеспечивается при выполнении следующего условия:

$$t \geq \sigma\sqrt{\frac{L(1-\alpha)}{\alpha}}. \tag{10}$$

Аналогично, наименьшее значение t, гарантирующее необходимый уровень обслуживания (сервиса), достигается в точке равенства левой и правой сторон соотношения (7). Модель страхового товарного запаса принимает вид:

$$S_{\alpha}^{*} = \left[L\mu + \sigma\sqrt{\frac{L(1-\alpha)}{\alpha}} \right]. \tag{11}$$

Дискретность распределения спроса делает невозможным применение к задаче оптимизации страхового товарного запаса вероятностных неравенств, использующих менее консервативные и строгие оценки. Например, неравенство Высочанского–Петунина, применяемое в финансовых моделях, позволяет уменьшить границу возможных отклонений от математического ожидания более чем в два раза для одномодальной непрерывной случайной величины [25].

Границы, полученные с помощью рассмотренных неравенств, подбираются для любого распределения с известными моментами и потому отличаются строгостью. На практике консервативная оценка интервала отклонений спроса выражается в излишне осторожном решении относительно страховой составляющей запаса, что неизбежно приводит к увеличению расходов на хранение и альтернативных издержек. В таком случае помимо универсальной вероятностной границы целесообразно использовать методы распределенной робастной оптимизации, предполагающие поиск решения в заданных множествах неопределенности.

При предположении о наличии у дискретной случайной величины максимального значения оценка вероятностной границы представляет собой задачу линейного программирования. В качестве целевой функции выступает суммарная вероятность исходов, находящихся выше заданной границы значений случайной величины, при ограничении на моменты [30]. Каждому возможному значению ставится в соответствие распределение, максимизирующее вероятность превышения, что гарантирует верхнюю границу вероятности для любого другого распределения с аналогичным набором исходов и моментами. Последовательный перебор значений от большего к меньшему позволяет найти минимальное значение, удовлетворяющее уровню обслуживания (сервиса), которое и определит страховой товарный запас.

Для целочисленной дискретной случайной величины спроса с известными математическим ожиданием и дисперсией задача линейного программирования, позволяющая оценить границу вероятности превышения заданного значения, записывается следующим образом:

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=k+1}^{N} p_i \to \max \\ \mathrm{D} \in \{1, 2, \ldots, N\} \\ \sum\limits_{i=1}^{N} p_i d_i = \mu \\ \sum\limits_{i=1}^{N} p_i \left(d_i - \mu\right)^2 = \sigma^2 \\ \sum\limits_{i=1}^{N} p_i = 1 \\ p_i > 0 \end{cases} \tag{12}$$

где k – целое положительное число, принадлежащее множеству исходов спроса ($k \in \{1, 2, \ldots, N\}$); p_i – вероятность реализации i-го исхода; d_i – значение, соответствующее i-ому исходу; N – максимальное возможное значение спроса.

В общем случае задача линейного программирования решается итеративно, например, симплекс-методом. Модель страхового товарного запаса принимает вид:

$$S_\alpha^* = \min\{k \in \{1, 2, \ldots, N\} : P_{\max}(D \geq k + 1) \leq \alpha\}, \tag{13}$$

где $P_{\max}(D \geq k + 1)$ – максимально возможная вероятность превышения границы при ограничениях на моменты и диапазон значений случайной величины.

Надежность и робастность решения, полученного методом линейного программирования, во многом зависит от реалистичности оценки максимальной величины спроса, так как вероятностная граница гарантируется исключительно для распределений в заданном диапазоне значений (исходов). Однако лицо, принимающее решения, не всегда имеет возможность обосновать максимально возможный объем продаж. Кроме того, подобное решение не защищает бизнес от возникновения нового максимума объема заказов. На практике в качестве верхней границы спроса обычно рассматривается исторический максимум продаж с некоторым дополнительным запасом.

Апробация моделей страхового товарного запаса

Данные

В качестве исходных данных использована статистическая информация за 2025 г. о среднегодовых ценах на основные цветные металлы, среднегодовых процентных ставках в экономике, а также о типичных для рассматриваемой отрасли статистических характеристиках распределения спроса (объема заказа). Рассматриваемый в работе пример, хотя и максимально приближен к реальным данным, носит условный характер. На практике распределение может значительно отличаться в зависимости от хозяйственных особенностей фирмы и металлов.

База данных, сформированная для апробации моделей страхового товарного запаса, наглядно отражена в табл. 2.

Таблица 2

Количественные данные для апробации моделей страхового товарного запаса в оптовой торговле цветными металлами

Показатель	Значение	Источник
Среднегодовые цены на цветные металлы, включая НДС (20% в 2025 г.), руб. за т		Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС); Федеральная служба государственной статистики (Росстат); Внутренняя аналитика ООО «ПромХимРесурс-Д»
алюминий	276 751	
медь	764 413	
олово	3 477 364	
свинец	209 796	
цинк	294 637	
никель	1 867 038	
Среднегодовая ставка по краткосрочным вкладам для нефинансовых организаций, % годовых	18	Центральный банк России
Средний спрос (объем заказов) в день продажи, т	5	Внутренняя аналитика ООО «ПромХимРесурс-Д»
Стандартное отклонение спроса (объема заказов) в день продажи, т	3–5	
Оценочный максимальный спрос (объем заказов), т	60	
Среднее время поступления товаров от поставщика или организации транзитной доставки до клиента, дней	3	

Источник: материалы автора.

В качестве краткосрочных рассматриваются вклады (депозиты) сроком до 90 дней, включая вклады (депозиты) «до востребования». Средний спрос (объем заказов), как следует из табл. 2, составляет около 5 т при стандартном отклонении в 3–5 т и размахе вариации от 0 до 60 т, что отражает характеристики типичного торгового предприятия, специализирующегося на оптовой продаже цветных металлов. В отрасли действуют преимущественно малые посреднические фирмы, чем и продиктована относительно небольшая величина реализованного спроса в дни продаж. Верхняя граница спроса установлена оценочно относительно исторического максимума по продажам за день (40 т) с дополнительной «поддержкой» в 50% (20 т).

Результаты расчетов

По каждой из трех предложенных моделей, откалиброванных по исходным данным, рассчитан оптимальный страховой товарный запас. Задача линейного программирования решена с помощью функции «Поиск решений» в программном пакете «Excel». Расчеты проведены для уровней обслуживания (сервиса) 0,90, 0,95 и 0,99 как для общепринятых стандартов оказания торговой услуги в отрасли. В целях наглядности визуального представления количественных данных используемые модели пронумерованы: (1) – модель, основанная на неравенстве Чебышева; (2) – модель, основанная на неравенстве Кантелли; (3) – модель, основанная на решении задачи линейного программирования с ограничениями на моменты.

Результаты оценки оптимальной величины страхового товарного запаса приведены в табл. 3.

Таблица 3

Оптимальный страховой товарный запас, т

Параметры спроса (объема заказов)	Уровень обслуживания $(1-\alpha)$								
	$(1-\alpha)=0{,}90$			$(1-\alpha)=0{,}95$			$(1-\alpha)=0{,}99$		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
$\mu=5$ $\sigma=3$	32	31	30	39	38	37	67	67	60
$\mu=5$ $\sigma=4$	37	36	35	46	46	45	85	84	
$\mu=5$ $\sigma=5$	43	41	40	54	53	52	102	102	

Источник: расчеты автора по исходным данным.

Данные табл. 3 показывают, что при уровне обслуживания (сервиса) 0,90 оптимальный страховой товарный запас составляет от 30 до 40 т, при уровне обслуживания (сервиса) 0,95 – от 40 до 55 т при различ-

ных сценариях вариации спроса (объема заказов). Уровню обслуживания (сервиса) 0,99, практически исключающему вероятность дефицита (не более 1%), соответствует страховой товарный запас в 70–100 т при расчете по вероятностным неравенствам Чебышева, Кантелли и 60 т по альтернативной модели, построенной на решении задачи линейного программирования. Оптимальной величиной по модели (3) при наивысшем уровне обслуживания (сервиса) является верхняя граница спроса (объема заказов), так как при данных статистических характеристиках наихудшее распределение не гарантирует заданную вероятность дефицита для промежуточных значений из заданного множества исходов спроса (объема заказов).

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что разница в результатах расчетов между сравниваемыми моделями незначительная. Наибольшим страховым товарным запасом ожидаемо характеризуется модель, основанная на неравенстве Чебышева, так как она предполагает двустороннюю оценку отклонения от среднего значения. При этом модель, в основе которой лежит неравенство Кантелли, рекомендует страховой товарный запас лишь на 1–2 т меньше, несмотря на применение односторонней оценки, отвечающей логике формирования товарного «буфера». Применение модели, основанной на решении задачи линейного программирования, приводит к снижению оптимального значения также на 1 т. Исключение составляет сценарий с уровнем обслуживания (сервиса) 0,99, в рамках которого страховой товарный запас по модели (3) устанавливается по верхней границе спроса (объема заказов).

Решение о величине страхового товарного запаса неизбежно имеет финансовые последствия для торгового предприятия. Как было показано на этапе постановки задачи исследования, ключевым элементом экономики страхового товарного запаса в торговле дорогостоящими товарами с неизвестным спросом являются альтернативные издержки хранения. Величина издержек от «заморозки» оборотных средств в страховом товарном запасе в расчете на один день рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{Spi}{365}, \tag{14}$$

где S – страховой товарный запас; p – цена (закупочная) единицы запаса; i – ставка процента по депозитам (в том числе, овернайтам).

Результаты оценки ежедневных альтернативных издержек хранения страхового товарного запаса по основным видами цветных металлов отражены в табл. 4.

Таблица 4

Величина альтернативных издержек хранения страхового товарного запаса в расчете на один день в 2025 г, тыс. руб.

Металл	Уровень обслуживания (1 – α)								
	(1 – α) = 0,90			(1 – α) = 0,95			(1 – α) = 0,99		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
$\mu = 5, \sigma = 3$									
алюминий	4,4	4,2	4,1	5,3	5,2	5,0	9,1	9,1	8,2
медь	12,1	11,7	11,3	14,7	14,3	13,9	25,3	25,3	22,6
олово	54,9	53,2	51,4	66,9	65,2	63,4	114,9	114,9	102,9
свинец	3,3	3,2	3,1	4,0	3,9	3,8	6,9	6,9	6,2
цинк	4,6	4,5	4,4	5,7	5,5	5,4	9,7	9,7	8,7
никель	29,5	28,5	27,6	35,9	35,0	34,1	61,7	61,7	55,2
$\mu = 5, \sigma = 4$									
алюминий	5,0	4,9	4,8	6,3	6,3	6,1	11,6	11,5	8,2
медь	13,9	13,6	13,2	17,3	17,3	17,0	32,0	31,7	22,6
олово	63,4	61,7	60,0	78,9	78,9	77,2	145,8	144,0	102,9
свинец	3,8	3,7	3,6	4,8	4,8	4,7	8,8	8,7	6,2
цинк	5,4	5,2	5,1	6,7	6,7	6,5	12,4	12,2	8,7
никель	34,1	33,1	32,2	42,4	42,4	41,4	78,3	77,3	55,2
$\mu = 5, \sigma = 5$									
алюминий	5,9	5,6	5,5	7,4	7,2	7,1	13,9	13,9	8,2
медь	16,2	15,5	15,1	20,4	20,0	19,6	38,5	38,5	22,6
олово	73,7	70,3	68,6	92,6	90,9	89,2	174,9	174,9	102,9
свинец	4,4	4,2	4,1	5,6	5,5	5,4	10,6	10,6	6,2
цинк	6,2	6,0	5,8	7,8	7,7	7,6	14,8	14,8	8,7
никель	39,6	37,7	36,8	49,7	48,8	47,9	93,9	93,9	55,2

Источник: расчеты автора по исходным данным.

Как следует из данных табл. 4, применение модели, основанной на задаче линейного программирования, определяет сокращение для среднестатистической посреднической фирмы ежедневных альтернативных издержек хранения до 3,5 тыс. руб. при работе с никелем, оловом и до 0,4 тыс. руб. – при реализации прочих цветных металлов. В исследуемом сегменте удельный вес дней с ненулевыми продажами в общем количестве дней работы обычно составляет не более 90%, что отражает «рваный» характер спроса (заказов). Следовательно, экономический эффект от снижения недополученных по депозитам процентов за счет применения модели (3) можно оценить по наименее дорогому металлу в ассортименте не менее, чем 1,5 млн руб. в год

для компаний, специализирующихся на никеле и олове, и не менее, чем 130 тыс. руб. в год – для фирм, занимающихся продажами прочих цветных металлов. Подобное сокращение не выглядит незначительным для работающих в отрасли предприятий малых форм хозяйствования, имеющих не более 20–30 млн руб. на расчетном счете.

Установление страхового товарного запаса по максимальному значению спроса (объема заказов) в модели (3) при уровне обслуживания (сервиса) 0,99 закономерным образом приводит к снижению альтернативных издержек хранения относительно моделей (2) и (3). При использовании модели, основанной на задаче линейного программирования, торговое предприятие недополучит прибыль от процентов на 12–70 тыс. руб. в день меньше при реализации олова и никеля и на 0,9–16 тыс. руб. в день при специализации на других металлах. Тогда снижение альтернативных издержек хранения за счет применения модели (3) в среднем за год по наименее дорогому металлу составит не менее 4–23 млн руб. для фирм, торгующим никелем и оловом, и не менее 0,3–5,2 млн руб. для компаний, реализующих другие металлы.

Данные табл. 4 показывают, что при переходе от уровня обслуживания (сервиса) 0,90 к уровню обслуживания (сервиса) 0,95 альтернативные издержки повышаются в среднем на 1–2 тыс. руб. в день, в то время как рост уровня обслуживания (сервиса) до 0,99 сопровождается двухкратным увеличением альтернативных издержек хранения. Подобный результат говорит о нелинейном, ускоряющемся росте альтернативных издержек хранения при увеличении уровня обслуживания (сервиса). Повышение недополученных процентов по капиталу при установлении более высоких стандартов обслуживания отражает своеобразную «цену робастности» для фирмы. Чем больше уверенность в бесперебойности поставок, тем больше альтернативные издержки.

Таким образом, в рассматриваемом примере типичному предприятию в оптовой торговле цветными металлами для обеспечения уровня обслуживания (сервиса) 0,90 и 0,95 рекомендуется использовать модели (2) и (3), основанные на вероятностных неравенствах Чебышева и Кантелли соответственно, так как их применение гарантирует робастность решения при небольшой разнице в альтернативных издержках в сравнении с моделью (3). При уровне обслуживания (сервиса) 0,99 модель (3), в основе которой лежит задача линейного программирования, целесообразно использовать только при уверенности в верхней границе спроса (объема заказов) в целях более эффективного использования оборотных средств. Применение моделей (1) и (2), хотя и обеспечит высокую надежность, неизбежно приведет к существенному увеличению альтернативных издержек хранения, в особенности при работе с дорогостоящими и капиталоемкими видами цветных металлов (например, олово, никель).

Заключение

Многочисленные и разнообразные методические подходы к моделированию страхового товарного запаса определяют широкие возможности для его оценки на практике. Однако специфика оптовой торговли цветными металлами, заключающаяся в дискретности и «рваном» характере спроса (объема заказов), его неизвестном распределении, дороговизне дефицита и значительных альтернативных издержках хранения, ограничивает перечень возможных моделей и методов оптимизации страхового товарного запаса. В качестве доступных и наиболее вероятных для использования в отрасли моделей можно выделить следующие: 1) модель, основанная на неравенстве Чебышева; 2) модель, основанная на неравенстве Кантелли; 3) модель, в основе которой лежит задачи линейного программирования с ограничением на моменты дискретной случайной величины.

Апробация предложенных моделей на отраслевых данных показывает, что при уровне обслуживания (сервиса) 0,90 и 0,95 разумно использовать модели, основанные на неравенствах Чебышева и Кантелли, так как они обеспечивают более высокую надежность при минимальной разнице в результатах в сравнении с моделью, основанной на задаче линейного программирования. Переход от универсальной вероятностной границы к распределенной робастной оптимизации целесообразен при уровне обслуживания (сервиса) 0,99, так как точная оценка максимального уровня спроса позволяет прийти к менее осторожному и консервативному решению в целях избежания «затоваривания» и сокращения альтернативных издержек хранения.

В последующих исследованиях по проблематике будут актуальными следующие вопросы: 1) апробация и систематический анализ результатов применения предложенных моделей на исходных данных других отраслей, имеющих те же особенности, что и оптовая торговля цветными металлами; 2) методическая проработка процесса внедрения предложенных моделей в управленческую и хозяйственную практику торговых предприятий, работающих в отрасли.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Булатов С.В.* Повышение эффективности управления запасными частями на автотранспортном предприятии при наличии страхового запаса // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 9 (106). С. 43–48. [*Bulatov S.V.* Improvement of the efficiency of duplicates at a motor transport enterprise if an insurance reserve is available // Bulletin of Bryansk state technical university. 2021. No. 9 (106). Pp. 43–48. (In Russ.).] EDN: ABRJSL. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-9-43-48.
2. *Земсков А.В., Лян Я., Клыков М.С.* Оптимизация страховых запасов материально-технической продукции в организациях транспортного строительства // Научно-

техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2014. № 1. С. 127–129. [*Zemskov A.V., Ljan Ja., Klykov M.S.* Optimization of safety stocks of material and technical products in transport construction organizations // Scientific, technical and economic cooperation of Asia-Pacific countries in the 21st century. 2014. No. 1. Pp. 127–129. (In Russ.).] EDN: SGSRDH.

3. *Кацович Д.М., Найдис О.А.* Совершенствование системы управления запасами с помощью внедрения динамического нормирования // Логистика. 2023. No. 7–8 (200–201). С. 20–25. [*Kacovich D.M., Najdis O.A.* Improving the inventory management system through the implementation of dynamic standardization // Logistics. 2023. No. 7-8 (200-201). Pp. 20–25. (In Russ.).] EDN: EUAMJG. DOI: 10.54959/22197222_2023_07_08_20.
4. *Миксюк С.Ф., Анкуда Е.В.* Управление запасами в закупочной логистике в корпоративной информационной системе: концептуальный подход // Белорусский экономический журнал. 2020. № 1 (90). С. 138–147. [*Miksyuk S.F., Ankuda E.V.* Inventory management in procurement logistics in corporate information system: a conceptual approach // Belarusian Economic Journal. 2020. No. 1 (90). Pp. 138–147. (In Russ.).] EDN: ZLLSJO.
5. *Сковорода Е.В.* Модель формирования страхового запаса материальных ресурсов предприятий химической промышленности // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. 2018. № 2 (214). С. 69–73. [*Skvoroda E.V.* Model of formation of insurance stock of material resources of enterprises of chemical industry // Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management. 2018. No. 2 (214). Pp. 69–73. (In Russ.).] EDN: YPTTZB.
6. *Соломаха Г.М., Тулуева В.А., Хижняк С.В.* Детерминированные модели управления запасами на производственном предприятии при изменяющихся характеристиках спроса, поставки и хранения // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2015. № 1. С. 51–66. [*Solomakha G.M., Tulueva V.A., Khizhnyak S.V.* Deterministic models of inventory management in a manufacturing enterprise with changing characteristics of demand, supply and storage // Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics. 2025. No. 1. Pp. 51–66. (In Russ.).] EDN: WYWNCY. DOI: 10.26456/vtpmk729.
7. *Чендылова Е.Б.* Методика расчета страховых запасов готовой продукции в горнодобывающей отрасли // Экономика промышленности. 2013. № 2. С. 83–88. [*Chendilova E.B.* Method of calculating safety stock of finished goods in the mining industry // Russian Journal of Industrial Economics. 2013. No. 2. Pp. 83–88. (In Russ.).] EDN: QJFATP.
8. *Эльяшевич И.П.* Гармонический анализ при управлении запасами в логистике и цепях поставок // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2023. № 4. С. 223–246. [*Elyashevich I.P.* Harmonic analysis in inventory management in logistics and supply chains // Lomonosov Economics Journal. 2023. Vol 58. No. 4. Pp. 223–246. (In Russ.).] EDN: RHDDZV. DOI: 10.55959/MSU0130-0105-6-58-4-10.
9. *Amirjabbari B., Bhuiyan N.* Determining Supply Chain Safety Stock Level and Location // Journal of Industrial Engineering and Management. 2014. Vol. 7. No. 1. Pp. 42–71. DOI:10.3926/jiem.543.
10. *Arrow K., Harris T., Marschak J.* Optimal Inventory Policy. 1951. Econometrica. Vol. 19. No. 3. Pp. 250–272. DOI: 10.2307/1906813.

11. *Apollonio N.* Cantelli's Bounds for Generalized Tail Inequalities // Axioms, 2025. Vol. 14. No. 43. Pp. 1–18. DOI: 10.3390/axioms14010043.
12. *Barros L., Cortez P., Sameiro-Carvalho M.* A systematic literature review about dimensioning safety stock under uncertainties and risks in the procurement process // Operations Research Perspectives. 2021. No. 8. Pp. 1–25. DOI: 10.1016/j.orp.2021.100192.
13. *Bazyar A., Taghizade G.* A Multi-objective Multi-item Capacitated Lot-sizing Model with Safety Stock and Shortage Costs based on Just-in-time Approach // Global Journal of Economic and Finance Research. 2025. Vol. 2. No. 4. Pp. 171–180. DOI: 10.55677/GJEFR/01-2025-Vol02E4.
14. *Chen B.* Data-Driven Inventory Control with Shifting Demand // Production and Operations Management. 2021. Vol. 30. No. 5. Pp. 1–38. DOI: 10.1111/poms.13326.
15. *Cinfrignini A., Petturiti D., Stabile G.* Newsvendor problem with discrete demand and constrained first moment under ambiguity // Decisions in Economics and Finance. 2024. No. August. Pp. 1–34. DOI: 10.1007/s10203-024-00477-7.
16. *Díaz D., Marta R., Ortega G., Ponce H.* A Machine Learning Approach for Modeling Safety Stock Optimization Equation in the Cosmetics and Beauty Industry // Advances in Computational Intelligence. 2021. MICAI 2021. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 13067. Springer, Cham. Pp. 173–186. DOI: 10.1007/978-3-030-89817-5_13.
17. *Farahinejad K., Gholamian M.* Optimizing the Safety Stock with Guaranteed Service Model in Reverse Logistics Considering Internal and External Returns // International Journal of Supply and Operations Management. 2019. Vol. 6. No. 3. Pp. 188–199. DOI: 10.22034/2019.3.1.
18. *Fleuren T., Merzifonluoglu Y., Hendriks M., Sotirov R.* Integrated production and safety stock planning in high-tech manufacturing: a comparative study at ASML // Flexible Services and Manufacturing Journal. 2025. No. November. Pp. 1–44. DOI: 10.1007/s10696-025-09634-5.
19. *Ghosh S., Mukhoti S.* Non-parametric generalised newsvendor model // Annals of Operations Research. 2021. No. 321. Pp. 241–266. DOI: 10.1007/s10479-022-05112-5.
20. *Gijsbrechts J., Boute R., Mieghem J., Zhang D.* Can Deep Reinforcement Learning Improve Inventory Management? Performance on Lost Sales, Dual-Sourcing, and Multi-Echelon Problems // Manufacturing & Service Operations Management. 2021. Vol. 24. No. 3. Pp. 1349–1368. DOI: 10.1287/msom.2021.106.
21. *Gotoh J., Takano Y.* Newsvendor solutions via conditional value-at-risk minimization // European Journal of Operational Research. 2006. No. 179. Pp. 80–96. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.03.022.
22. *Kelle P.* On the safety stock problem for random delivery processes // European Journal of Operational Research. 1984. Vol. 17. No. 2. Pp. 191–200.
23. *Kim D., Farmaciawaty D., Nizar A.* Strategic Safety Stock Level for High Import Dependence Manufacturing Supply Chain for Enhanced Force Majeure Preparedness // Eduvest – Journal of Universal Studies. 2025. Vol. 5. No. 7. Pp. 9080–9097. DOI: 10.59188/eduvest.v5i7.51630.
24. *Khokhar M., Zia S., Khan S., Saleem S., Siddiqui A., Abbas M.* Decision Support System for Safety Stock and Safety Time Buffers in Multi-Item Single-Stage Industrial Supply Chains // International Journal of Information Systems and Social Change. 2023. Vol. 14. No. 1. Pp. 1–13. DOI: 10.4018/IJISSC.324933.

25. *Mercadier M., Strobel F.* A one-sided Vysochanskii-Petunin inequality with financial applications // European Journal of Operational Research. 2021. Vol. 295. No. 1. Pp. 374–377. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.02.041.
26. *Modares A., Farimani N., Emroozi V.* Developing a Newsvendor Model based on the Relative Competence of Suppliers and Probable Group Decision-making // Industrial Management Journal. 2022. Vol. 14. No. 1. Pp. 115–142. DOI: 10.22059/IMJ.2022.331988.1007872.
27. *Moncayo-Martínez L., Reséndiz-Flores E., Mercado D., Sánchez-Ramírez C.* Placing Safety Stock in Logistic Networks under Guaranteed-Service Time Inventory Models: An Application to the Automotive Industry // Journal of Applied Research and Technology. 2014. Vol. 12. No. 3. Pp. 538–550. DOI: 10.1016/s1665-6423(14)71633-5.
28. *Nurbandini R., Sadirsan E.* Optimization of Re-Order Point (ROP) and Safety Stock (SS) for RON 92 Fuel (Pertamax) Using the Economic Order Quantity (EOQ) Method at Pertashop Ulak Bandung, Muara Enim Regency // Journal of Management and Energy Business. 2025. Vol. 5. No. 1. Pp. 79–87. DOI: 10.54595/jmeb.v5i1.105.
29. *Panas E., Ninni V.* The Distribution of London Metal Exchange Prices: A Test of the Fractal Market Hypothesis // European Research Studies. 2010. Vol. 13. No. 2. Pp. 193–210. DOI: 10.35808/ersj/284.
30. *Prékopa A.* The discrete moment problem and linear programming // Discrete Applied Mathematics. 1990. Vol. 27. No. 3. Pp. 235–254. DOI: 10.1016/0166-218X(90)90068-N.
31. *Scarf H.* A min-max solution of an inventory problem. In: Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production // Stanford University Press*, California, 1958. Pp. 201–209. DOI: 10.1057/9781137024381_3.
32. *Watkins C., McAleer M.* Pricing of non-ferrous metals futures on the London Metal Exchange // Applied Financial Economics. 2006. Vol. 16. No. 12. Pp. 853–880. DOI: 10.1080/09603100600756514.
33. *Zhang J., Xie W., Sarin S.* Robust Multi-Product Newsvendor Model With Substitution Under Cardinality-Constrained Uncertainty Set // European Journal of Operational Research. 2020. Vol. 293. No. 1. Pp. 1–58. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.12.023.

* Stanford University (США) признан нежелательной организацией в России.

Дата поступления рукописи: *09.02.2026 г.*
Дата принятия к публикации: *02.04.2026 г.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Больдясов Алексей Ильич – аналитик рынка, ООО «ПромХимРесурс-Д», Дзержинск, Россия
ORCID: 0000-0002-7307-900X
alex.b13@rambler.ru

ABOUTH THE AUTHOR

Alexey I. Boldiasov – Market Analyst, PromKhimResurs-D LLC, Dzerzhinsk, Russia
ORCID: 0000-0002-7307-900X
alex.b13@rambler.ru

OPTIMAL SAFETY STOCK CALCULATING IN THE NON-FERROUS METALS WHOLESALE TRADE

The work is devoted to the development of models of optimal insurance inventory for trading enterprises specializing in the wholesale of non-ferrous metals. The approaches to optimizing the insurance stock in the literature have been identified: heuristic; level of service; robust optimization; the "Newsvendor" model and its variations; multi-criteria and targeted optimization; cost minimization; loss minimization; use of digital tools. The insurance inventory in the industry is the minimum amount of inventory that guarantees the required level of service during the time before the replenishment of commodity resources or the organization of transit delivery to the customer with an unknown discrete, integer distribution of demand (order volume). Two models based on the universal estimation of probability bounds by Chebyshev and Cantelli inequalities, respectively, and a distributed robust optimization model based on a linear programming problem with a constraint on moments and an upper bound on a random variable are proposed. Empirical research based on real data shows that with a service level of 0,90 and 0,95, the difference in results between the compared models is only 1–2 tons, which makes a more conservative solution preferable, since it is universal for any distribution. In the example under consideration, with a service level of 0,99 corresponding to the minimum probability of shortage, models based on probabilistic inequalities can obtain an insurance stock of 70 to 100 tons, while a model based on a linear programming problem recommends keeping an insurance stock equal to the maximum value of demand (order volume). In this case, the solution is a compromise between the high opportunity costs of storing insurance inventory and the loss of robustness to ignorance of distribution due to the introduction of an upper limit on demand (order volume).

Keywords*: wholesale trade, non-ferrous metals, insurance stock, service level, robust optimization, Chebyshev inequality, Cantelli inequality, linear programming.*

JEL: L81, L61, M21.