

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ СКОРОПОРТЯЩЕГОСЯ СЫРЬЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

**И. А. ИПАТЬЕВА**

*Высшая школа бизнеса, Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Россия*

В статье рассматриваются особенности управления скоропортящимся сырьем на производственном предприятии. Автор проводит анализ применимости классической модели определения оптимальной партии поставки к скоропортящемуся сырью. В работе приведены систематизация и анализ модификаций модели EOQ с учетом их применимости в различных ситуациях, устанавливаются мотивы, демонстрируются современные тенденции и виды модификаций классической модели определения оптимальной партии поставки. Используемая методология заключается в метаанализе публикаций, рассматривающих варианты модификации модели EOQ, учитывающей малый срок хранения запаса. Затем с помощью морфологического метода формулируется закономерность создания индивидуальных моделей и приводится численный пример. В результате исследования выявлены ключевые темы модификаций модели и тенденции на вводимые в нее ограничения.

*Ключевые слова:* запас скоропортящегося сырья, модель EOQ, оптимальная партия поставки, потери, порча запаса, производство.

*JEL:* C61, D51, D81.

В условиях современных экономических отношений любые предприятия вне зависимости от масштабов и сферы деятельности сталкиваются с факторами, влияющими на их конкурентоспособность. Производственные предприятия, работающие со скоропортящимся сырьем, являются

наиболее зависимыми от своевременности, качества и надежности поставок необходимых материальных ресурсов.

Строгие ограничения по срокам хранения сырья предполагают следование тенденциям по отказу от содержания высокого уровня запасов, которые при зависимом

Адрес организации: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Высшая школа бизнеса, Россия, 119049, Москва, ул. Шаболовка, 26–28.

© И. А. Ипатьева, 2021

<https://doi.org/10.21638/spbu18.2021.409>

спросе могут перейти в категорию неликвидных. Вопрос о снижении уровня неопределенности при формировании заказов на хранение запаса и минимизации риска возникновения неликвидов для многих компаний становится первоочередным. Возможность моделирования подобных ситуаций позволит с большей эффективностью осуществлять контроль запасов сырья.

Современная практика управления запасом в большей степени основывается на классической модели определения партии поставки EOQ (Economic order quantity), разработанной Харрисом–Уилсоном. Среди допущений данной модели выделяется то обстоятельство, что запас может храниться на складе неограниченный период времени вплоть до момента его использования в производстве. Иными словами, модель не приспособлена для применения к скоропортящемуся запасу. Поэтому с момента формирования классической модели многие исследователи приводят попытки модифицировать ее в соответствии с индивидуальными параметрами.

Актуальность исследования заключается в том, что, несмотря на широкое освещение вопросов снабжения производства и управления запасами в научной литературе, применение инструментов моделирования совместно с пониманием повышения надежности цепи поставок скоропортящихся запасов остается не до конца изученным. Это ограничивает возможность реализации материальных и сопутствующих потоков производственного предприятия.

Цель исследования — анализ существующих моделей и модификаций снабжения производственного предприятия скоропортящимся сырьем с учетом его специфических факторов, а также их ранжирование по критерию минимизации суммарных годовых затрат.

В статье проводится анализ модификаций модели определения оптимальной партии поставки на производственном предприятии и оценивается их эффективность по критериям снижения стоимости формирования запаса, его содержания и мини-

мизации затрат, связанных с порчей и утилизацией запаса.

Практическая значимость работы состоит в том, что рассматриваемые модели проанжированы по возрастанию суммарных годовых затрат. Это помогает при принятии решения о выборе модели. Научная новизна исследования заключается в том, что в нем предложена модифицированная модель процесса снабжения производственного предприятия скоропортящимся сырьем, учитывающая затраты, связанные с порчей части запаса.

Статья представлена тремя разделами. В первом разделе анализируются исследования, определяющие методы управления запасом скоропортящегося сырья, выделяются направления модификаций модели EOQ, формулируются гипотезы. Во втором — дается описание методологии исследования. В заключительной части продемонстрированы результаты работы, описывается формирование модифицированной модели, а также приводится численный пример.

## 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ФОРМУЛИРОВКА ГИПОТЕЗ

На современном этапе развития логистики вопросы организации логистических цепочек в условиях работы со скоропортящимися грузами привлекают большее внимание специалистов, чем ранее. Это объясняется тем, что к запасам скоропортящегося сырья нельзя применять методы и модели в существующем виде, без адаптации к специфике производства.

Анализируя публикационную активность в российских и международных базах научного цитирования, можно проследить динамику возрастания интереса к данной теме. Например, до 2006 г. исследования носили непостоянный характер и представляли скорее частные случаи разработок в сфере снабжения в целом, нежели являлись продолжительными и целенаправленными в плане изучения осо-

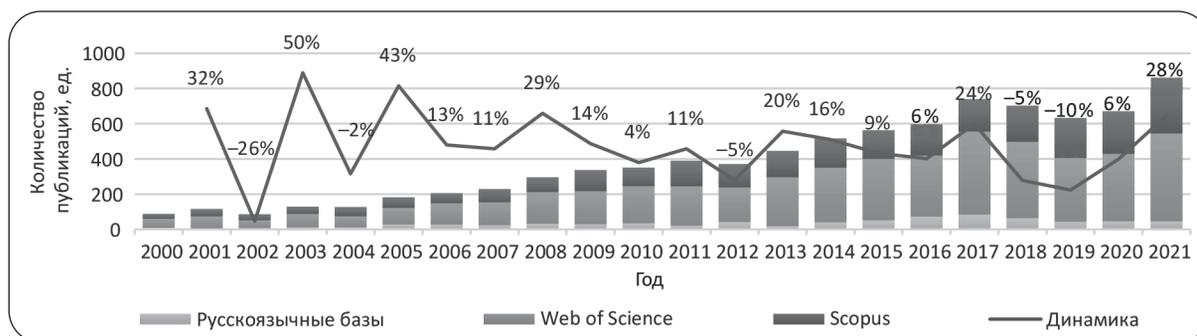


Рисунок. Динамика числа исследований управления запасами скоропортящегося сырья, %, 2000–2021 гг.

Составлено по: Web of science. URL: <https://www.webofscience.com/wos> (дата обращения: 19.02.22); Scopus. URL: <https://www.scopus.com/search/> (дата обращения: 19.02.22); eLibrary. URL: <https://elibrary.ru/> (дата обращения: 20.02.22).

бенностей работы с запасом скоропортящегося сырья.

В 2010–2021 гг. число публикаций по рассматриваемой проблеме возросло в 3 раза по сравнению с первым десятилетием XXI в. При этом наиболее часто вопрос об особенностях управления запасами с малым сроком хранения обсуждается зарубежными исследователями, причем число таких работ почти в 8 раз превышает аналогичные исследования на русском языке (рисунок).

Анализ современной отечественной литературы, затрагивающей вопросы управления скоропортящимся запасом, показывает, что исследователи обращаются к следующим проблемам.

Во-первых, ставится задача перевозки подобных грузов с точки зрения используемого транспорта, установки холодильного оборудования и устройств контроля температур, влажности и прочего на местах хранения и в пути следования. Так, в [Захаров, Сидоров, Козлов, 2017] ведутся разработки снижения энергоемкости автотранспортных систем (АТС), перевозящих скоропортящиеся грузы, за счет чего можно увеличить энергоэффективность перевозок и сохранить заданный температурный режим кузова на протяжении маршрута. В [Баканова, Еремкин, 2015] разработана методика

оценки эффективности воздухораспределения в местах хранения скоропортящегося сырья, основываясь на статистических законах распределения и др.

Во-вторых, поднимается вопрос о проектировании АТС, сводящихся к формированию маршрутов поставок. Например, в [Кондратьев, 2007] разработаны методологические и методические положения управления процессом поставки скоропортящихся продуктов питания. В [Еськова, 2012] сформулирована математическая модель для создания оптимальных маршрутов поставок с акцентом на снижение возвратов из-за несвоевременной доставки, которая является причиной увеличения риска порчи сырья до момента его использования.

В-третьих, значительное внимание обращается на вопросы сохранения свежести в пути следования. Так, структурная схема системы проверки состояния скоропортящегося груза во время его перевозки в контейнерах и алгоритм работы такой системы были описаны в [Филиппова и др., 2016; Филиппова и др., 2017].

В то же время в российской литературе практически нет работ, затрагивающих проблемы формирования и использования методов моделирования процессов снабжения в условиях работы с сырьем, имеющим

малые сроки хранения. Из доступных к изучению можно выделить исследования: [Оханова, 2009], в котором предложен алгоритм, позволяющий определить показатели оптимальной партии размера заказа с учетом естественной убыли, при моделировании процесса снабжения; [Лившиц, Ульянова, 2016], где разработана модель одновременного производства и сбыта скоропортящейся продукции; [Лебедь и др., 2015] — с исследованием зависимости распределения скоропортящейся продукции; [Лукинский, Плетнева, 2010] — с моделью оптимальной партии поставки, учитывающей коэффициент естественной убыли запаса, и др.

Важно обратить внимание на труды специалистов, использующих метод имитационного моделирования при работе со скоропортящейся продукцией. Например, в [Исмаилов, 2015] проведена оценка эффективности использования энергосберегающих технологий при перевозке скоропортящегося груза в рефрижераторах; в [Соляник, Белоконь, 2017] представлено моделирование процесса транспортировки в цепи поставок кондитерских изделий и определены эффективный подвижной состав и необходимое количество транспортных средств и др.

Мировой научный опыт в данной сфере склоняется к решению индивидуальных кейсов соответствующей тематики, где в различных аспектах упоминаются методы, способы и рекомендации работы со скоропортящимися продуктами.

В [Stanger et al., 2012] проведены исследования 277 клиник Великобритании и выявлены необходимые условия для эффективного управления запасами крови (которая также входит в число скоропортящихся продуктов), а именно: строгий контроль над целевыми уровнями запасов и схем заказов, которые определяются исходя из запланированных ежедневных операций; формирование графиков максимального заказа, определяющих выдачу только требуемой крови; прозрачность кадастров; регулярный мониторинг сроков годности

и использование политики OUFO (oldest unit first out) — потребления более ранней партии запаса первой.

Авторы работы [Cai, Zhou, 2014] рассуждают о способах доставки на внешний или локальный рынок продуктов в зависимости от времени их производства и возможного времени перевозки на транспортных средствах с установленным графиком отправки. Ключевые вопросы касаются принятия управленческих решений относительно того, когда отправить груз (сразу на локальный рынок или дождаться соответствующего рейса, но этим сократить срок хранения продукта) и как организовать производство в соответствии с графиком отправок рейсов.

Отдельно необходимо назвать работы, в которых приводятся обзор существующих с 1990-х гг. моделей и методов управления запасами и их классификация по характеристикам срока хранения [Goyal, Giri, 2001; Bakker et al., 2012; Chaudhary et al., 2018].

Наиболее интересны для изучения исследования, касающиеся разработки и совершенствования моделей управления запасами скоропортящегося сырья с учетом различных ограничений. Данные модели можно разделить на четыре ключевые категории в соответствии с [Goyal, Giri, 2001], занимающие основную часть всех работ.

Во-первых, управление кредитом и оплатой, что является наиболее обсуждаемой темой за последние пять лет. Вопрос использования торгового кредита, когда скоропортящийся товар должен быть отгружен немедленно, а оплата еще не поступила, анализируется в [Jaggi, Aggarwal, 1994; Aggarwal, Jaggi, 1995; Sarbjit, Shivraj, 2009; Min et al., 2010; Liao et al., 2012; Soni, 2013; Agi, Soni, 2020; Huang, 2019].

Во-вторых, создание централизованной или децентрализованной цепи поставок с широким обменом информацией. В большинстве случаев рассматривается производственная эшелонированная цепь поставок и модификации модели управления запасами [Cai, Zhou, 2014; Chakraborty et

al., 2015; Pourmohammad-Zia et al., 2021; He, Huang, Li, 2020].

В-третьих, исследования моделей управления запасами с проблемой ценообразования, скидок и уценки скоропортящихся товаров [Hui-Ming, Yu, 1997; Cárdenas-Barryn et al., 2010; Taleizadeh et al., 2013; Chakraborty et al., 2013; Mahata et al., 2014; Chung et al., 2015]. Скидки на объем заказа описываются в моделях [Suryawanshi, Dutta, 2021; Yang, 2021].

В-четвертых, изучение инфляции и современной стоимости денег [Liao et al., 2000; Chang, 2004; Jaggi et al., 2006; Bhunia, Shaikh, 2015; Das et al., 2015; Kumar et al., 2012]; рассмотрение моделей транспортировки скоропортящихся продуктов, распределительных сетей и центров [Jaggi et al., 2011; Liao et al., 2012]. Авторы в своих моделях учитывают ограничения на объемы складов и анализируют функции спроса.

Помимо выделенных категорий, многие исследователи занимаются вопросами дефицита и уровня обслуживания потребителей. Ряд авторов допускают задержку в поставках [Ghosh, Chaudhuri, 2006; Lo et al., 2007; Ghosh et al., 2011], тогда как коллеги учитывают их полное отставание в течение одного или нескольких периодов [Bhunia, Shaikh, 2015].

Самой малочисленной из представленных групп исследований можно назвать разработку многоименных моделей ввиду сложности их формирования в сравнении с одноименными. Данное направление развивается в [Ghosh et al., 2011; Chakraborty et al., 2013; Das et al., 2015].

Как видно, в рамках управления логистикой скоропортящихся продуктов выделяются ключевые группы проблемных вопросов. Исходя из полученных данных, можно вести речь о том, что наибольшее внимание за последние годы уделяется задачам формирования финансового потока и управления отложенными платежами в логистике скоропортящихся товаров. Этот вопрос актуален, поскольку ключевым кри-

терием является своевременность поставки и потребление перевозимых грузов до момента истечения его срока годности. На одном уровне с указанными задачами стоит вопрос о формировании централизованной цепи поставок или, наоборот, предпочтении децентрализованной системы, управляемой за счет обширного обмена информацией на всем пути прохождения груза.

Затем следует вопрос, касающийся особенностей ценообразования, а именно — способах уценки товара, который с момента своего производства неизбежно начинает терять свои свойства. На одном уровне находятся вопросы изменения стоимости денег во времени, особенностей работы с анализируемым продуктом, а также транспортные проблемы, куда входят задачи проектирования транспортных сетей, подбор транспортных средств и использование охлаждающего, вентилирующего и прочего оборудования.

Таким образом, значительная часть рассмотренных модификаций формулы определения оптимального размера заказа связана с использованием различных критериев функций, устанавливающих ограничения, которые вносятся в базовую модель. Например, в отношении того, как учитываются кредитные условия, необходимость выплаты банковских процентов, задержки платежей и проч.

Несмотря на признание большинством специалистов важности корректного управления логистическими операциями, связанными со скоропортящейся продукцией, постоянного контроля и особенно внимательного отношения к продуктам с низким сроком хранения (поскольку несоблюдение норм хранения и перевозки какого-либо груза подобной категории может привести к тому, что он перейдет в разряд опасных для здоровья, а в ряде случаев — и для жизни людей), многие практики по-прежнему обращаются к интуитивному управлению логистической системой в поставках скоропортящихся грузов, что является недопустимым. Поэтому тема мо-

делирования систем снабжения производственных предприятий скоропортящимся сырьем и материалами до сих пор актуальна и требует разработки моделей и методов, которые можно было бы эффективно внедрять и использовать в практической деятельности.

Проблема данного исследования заключается в повышении надежности цепи поставок и снижении суммарных затрат на снабжение производственного предприятия скоропортящимся сырьем и материалами. Целесообразно предположить, что достижение минимума затрат возможно за счет использования модификаций классической модели ЕОQ, которые определяют такой размер оптимальной партии и такую периодичность поставок, при которых достигается максимально допустимое сокращение уровня порчи запаса.

Основываясь на этом предположении, в рамках проведенного исследования были выдвинуты следующие гипотезы.

*Гипотеза Н1: ввод ограничений модели в соответствии с определенной критериальной функцией минимизирует затраты, связанные с порчей скоропортящихся запасов.*

*Гипотеза Н2: ввод ограничений в соответствии с определенной критериальной функцией приводит к снижению уровня страхового запаса вплоть до его отсутствия.*

Для того чтобы доказать или опровергнуть выдвинутые гипотезы, необходимо проанализировать существующие аналитические модификации модели ЕОQ, выделенные на первом этапе изучения научной литературы.

Подходы к моделированию процессов снабжения различаются в зависимости от их целей, класса и решаемых задач. Одним из инструментов, с помощью которого разрабатываются усложненные формулы, является морфологический метод исследования рациональных систем [Лукинский, Плетнева, 2010], который дает возможность синтезировать новые варианты модели, адаптированные под определенный ряд ус-

ловий, и оценить их эффективность. Его реализация предполагает описание всех систем исследуемой совокупности для выявления морфологических признаков процесса. На основе этого проводится анализ различных вариантов в зависимости от конкретной ситуации.

В настоящее время рядом авторов приняты попытки провести адаптацию моделей управления запасами для группы скоропортящихся продуктов, а также учесть различные ограничения. В табл. 1 представлен анализ подобных модификаций в соответствии с функцией снижения качества запаса и перечнем задач, которые призваны решать данные модели. Модели, использующие методы программного и имитационного моделирования, в настоящей работе не рассматриваются.

Исходя из анализа, можно сделать вывод о том, что основные изменения вносятся в модели, охватывающие отдельные логистические операции и функции, где приводится синтез систем с учетом наиболее важных характеристик. Среди них — учет инфляции, стоимости товара, вероятности дефицита, особенностей маршрутизации и т. д.

Модели, охватывающие две и более логистические операции или функции, включают в себя модификации более сложных процессов, таких как работа эшелонированных моделей (как правило, их рассчитывают до третьего эшелона), многоэшелонные поставки и др.

Реже всего встречаются модели логистических систем, которые используются при выявлении сбоя и поломок на всем протяжении цепи поставок и оценивают ее надежность. Данные модели призваны сформировать интегрированные и бесперебойные цепи поставок с эффективной системой управления запасами.

Обзор исследований показывает, что интерес к оптимизации процесса управления запасами скоропортящегося сырья является актуальным на сегодняшний день. Отечественные исследования сосредоточены на вопросах сохранения запаса

Таблица 1

## Модификации модели EOQ для запасов скоропортящегося сырья

№ модели	Модификация модели EOQ	Динамика снижения качества	Описание	Источник
1	Расширенный коэффициент порчи запасов	Переменная	Расширяется постоянный коэффициент снижения качества запасов до двухпараметрического распределения Вейбулла	[Covert, Philip, 1973]
2	Экономическое упорядочивание скоропортящегося ассортимента с учетом торгового кредита	Постоянная	При наличии торгового кредита и использовании подхода дисконтированных денежных потоков (DCF) определяются точные сроки денежных потоков, связанных с системой управления запасами	[Jaggi, Aggarwal, 1994]
3	Допустимая задержка платежей	Постоянная	Осуществляется экономия за счет отсроченных платежей, когда стоимость закупки высока, а снижение качества товара непрерывно	[Aggarwal, Jaggi, 1995]
4	Временная скидка с цены	Постоянная	Определяется размер партии заказа с учетом скидки и минимизации риска его потери из-за истечения срока хранения до продажи при приобретении слишком большого объема	[Hui-Ming, Yu, 1997]
5	Учет инфляции при допустимой задержке платежа	Постоянная	Имеет место влияние уровня инфляции, уровня снижения качества, уровня потребления, зависящего от первоначального запаса и задержки платежа	[Liao et al., 2000]
6	Допустимая задержка платежей при больших объемах	Постоянная	Применяется в условиях инфляции, когда поставщик предлагает допустимую задержку, если объем заказа больше или равен определенному количеству	[Chang, 2004]
7	Двухпараметрическое снижение объема запасов, распределение Вейбулла, спрос зависит от цены	Пропорциональная	Скорость ухудшения пропорциональна по времени и соответствует распределению Вейбулла. Форма зависимости спроса от цены — степенная	[Mukhopadhyay et al., 2005]
8	Спрос, вызванный инфляцией	Постоянная	EOQ в условиях инфляции с использованием подхода дисконтированных денежных потоков	[Jaggi et al., 2006]
9	Конечный временной горизонт с квадратичным, зависящим от времени спросом, дефицит допустим	Пропорциональная	Скорость ухудшения пропорциональна времени, дефицит возникает в каждом цикле. Временной горизонт делится на конечное число равных циклов пополнения	[Ghosh, Chaudhuri, 2006]
10	Интегрированная модель производства и управления запасом с точки зрения производителя и продавца	Постоянная	Модель предполагает различную степень износа, частичное отставание, инфляцию, несовершенные производственные процессы и многочисленные поставки	[Lo et al., 2007]

№ модели	Модификация модели ЕОQ	Динамика снижения качества	Описание	Источник
11	Переменный коэффициент снижения качества с учетом торгового кредита	Переменная	Для товаров с линейным спросом, скорость снижения качества которых увеличивается со временем. Учитывается эффект допустимой задержки платежа	[Sarbjit, Shivraj, 2009]
12	Разовый дисконт с допустимой задержкой платежа	Постоянная	Временная скидка с фиксированным процентом и минимальным количеством дополнительных единиц для покупки. Включены как фиксированные, так и линейные затраты на возврат	[Cárdenas-Barryn et al., 2010]
13	Спрос, зависящий от текущего запаса и задержки платежей	Постоянная	Розничный продавец пользуется фиксированным кредитным периодом от поставщика и также предлагает кредит своим клиентам	[Min et al., 2010]
14	Учет естественной убыли, многопродуктовые поставки	Постоянная	Предлагается расчет партии поставок с учетом естественной убыли для одно- и многономенклатурных поставок	[Лукинский, Плетнева, 2010]
15	Конечное производство, повторный заказ при дефиците	Постоянная	Модель для случая спроса, зависящего от цены, частичного повторного заказа, который определяется продолжительностью времени ожидания следующего пополнения и потерей продаж	[Ghosh et al., 2011]
16	Два склада, линейный тренд спроса в условиях инфляции с различными темпами ухудшения товара	Переменная	Помогает определить целесообразность аренды склада с учетом инфляции и закупки больших объемов	[Jaggi et al., 2011]
17	Два склада, торговый кредит связан с объемом заказа	Экспоненциальная	Торговые кредиты как альтернатива ценовым скидкам для заказов большего объема. Принимается решение об аренде дополнительного склада	[Liao et al., 2012]
18	Поставщик, предлагающий специальные продажи (скидка)	Постоянная	Покупатель может принять одно из следующих решений и заказать: а) определенное количество, чтобы воспользоваться скидкой; б) объем обычной модели ЕОQ по сниженной цене; с) объем обычной модели ЕОQ по обычной цене	[Taleizadeh et al., 2013]
19	Допустимая задержка платежа для товаров с мгновенным снижением качества	Мгновенная	Уровень спроса как многовариантная функция цены и уровня запасов. Допустима задержка платежа	[Soni, 2013]
20	Частичный повторный заказ и частичная последовательная предоплата	Постоянная	Учет ситуации, когда часть стоимости покупки должна быть оплачена заранее	[Taleizadeh, 2014]

Окончание табл. 1

№ модели	Модификация модели EOQ	Динамика снижения качества	Описание	Источник
21	Нормы спроса на свежесть и запас сырья	Постоянная	Модель заказа, в которой указывается потребность в свежей продукции в зависимости от даты изготовления и отображаемого объема	[Chen et al., 2016]
22	Поведение потребителей	Постоянная	Спрос — линейно убывающая функция возраста продуктов. Устанавливается оптимальная продолжительность цикла у продавца	[Dobson et al., 2017]

в пути следования и на складе до момента его использования в производстве. Зарубежные авторы обращаются к вопросам оптимизации и индивидуализации модели определения оптимальной партии поставки, что позволит оперировать только необходимым объемом скоропортящегося сырья и избежать необоснованных затрат на закупку и утилизацию излишков.

## 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование состоит из двух ключевых этапов. На первом этапе осуществлены поиск публикаций по тематике формирования модификаций модели EOQ и их отбор в соответствии с заявленными критериями. На втором — на основе отобранных моделей показан численный эксперимент, модели ранжируются по критерию увеличения затрат, а также приведен пример формирования индивидуальной модели.

**Отбор публикаций и проверка соответствия.** На первом этапе проводится отбор и анализ научной литературы, в которой рассматриваются вопросы модификаций модели определения оптимальной партии поставки в зависимости от различных условий внешней среды. Поиск публикаций по тематике исследования осуществлялся в известных базах научного цитирования (Web of Science, Scopus

и eLibrary). Поиск моделей, используемых при работе со скоропортящимися материалами, основывался на следующих ключевых словах: “perish\* AND inventory”, “deteriorate\* AND inventory”, “shelf life AND inventory”, “spoil\* AND inventory”, “outdate\* AND inventory”, где “AND” — логическая связь между поиском по двум словам.

Далее отобранная литература была просмотрена еще раз и отсортирована в соответствии с этапами работы. Теоретические, обзорные статьи и исследования, не рассматривающие модификации модели EOQ применительно к скоропортящейся продукции, не принимались к анализу. С учетом результатов поиска были прослежены этапы эволюции подходов к определению процесса снабжения и закупок, проанализированы подходы и концепции моделирования процессов снабжения производственного предприятия, а также определена наиболее актуальная проблематика, оценены допущения моделей, над совершенствованием которых ведутся современные исследования.

**Формулировка модели и проведение расчетов.** На втором этапе исследования используется морфологический метод создания математических моделей для индивидуальных кейсов. В статье предпринята попытка представить модификацию модели определения оптимальной партии поставки на основе введения в классиче-

скую модель эффекта убыли скоропортящегося запаса. Для полученной модели предложен метод расчета уровней текущего и страхового запасов. Затем приводится сравнительный анализ отобранных моделей с помощью численного примера расчета.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве основного подхода при модификации классической модели ЕОQ, как правило, выступает морфологический метод. Вид усовершенствованной модели зависит от полноты описания элементов в уравнении затрат.

В отличие от базовой модели, ЕОQ при учете эффекта порчи несвоевременно используемого запаса функция затрат будет включать потери, вызванные порчей товара, —  $C_y$  [Лукинский, Плетнева, 2010]:

$$\frac{C_p D}{q} + \frac{C_h q}{2} + D(C_z + C_y(q)) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $D$  — объем спроса на запас, подверженный порче;  $q$  — объем партии поставки;  $C_p$  — затраты на поставку;  $C_h$  — затраты на хранение;  $C_z$  — затраты на организацию заказа.

Таким образом, опираясь на выводы, сделанные Харрисом–Уилсоном, найдем значение  $q$ , при котором затраты данной функции будут минимальны:

$$q = \sqrt{\frac{2DC_p}{C_h + C_z + C_y}}. \quad (2)$$

При расчете данного показателя предположим, что значения затрат на поставку и хранение единицы запаса являются константой и определяются только объемом поставляемой партии.

Затраты, связанные с порчей, будут зависеть от полноты удовлетворения спроса на скоропортящийся товар. Исходя из это-

го, можно определить два варианта возможных ситуаций (3).

Во-первых, предположим, что предприятие, которое использует скоропортящиеся сырье и материалы, заказывает партии в размере, превышающем ЕОQ на  $\gamma$  %, характеризующие норму порчи для потребляемого вида продукции и призванные гарантировать отсутствие дефицита. Тогда  $C_y$  будет заключать в себе затраты на управление непотребленным запасом. И во-вторых, когда партия заказа равна классическому ЕОQ, тогда существует риск возникновения нехватки продукта. Приведем равенство:

$$C_y(q) = \begin{cases} C_{y1} = q_p C_p + q_y \cdot C_z, \\ \text{если } D < q - q_p \\ C_{y2} = C_{y1} + q_d \cdot C_d, \\ \text{если } D \geq q - q_p \end{cases}, \quad (3)$$

где  $C_{y1}$  — потери, включающие в себя затраты на утилизацию испорченного запаса, потерю прибыли в результате уценки, у. е.;  $C_{y2}$  — потери от порчи, в том числе упущенная прибыль в результате дефицита, затраты на утилизацию испорченного запаса и др., у. е.;  $C_d$  — издержки из-за дефицита на единицу продукции в год (могут быть представлены в виде штрафов за каждую единицу времени дефицита), у. е.;  $\Delta C_z = C_z - C_{ost}$ , где  $C_{ost}$  — стоимость запаса после уценки, у. е.;  $q_p$  — объем потерь из поставленной партии в результате порчи, ед.;  $q_y$  — объем запаса, уцененного в связи с порчей, ед.;  $q_d$  — объем единиц дефицита запаса.

Ряд специалистов предложили создание страхового запаса в размере  $\gamma$ , соответствующем нормам порчи.

Однако необходимо учитывать, что страховой запас также подвержен убыли и при спросе, соответствующем прогнозному, он будет списан и утилизирован. Функцию минимизации затрат на содержание страхового запаса при недопущении случаев

дефицита можно выразить следующим образом:

$$\frac{C_p}{T_{opt}} + \frac{1}{2} C_h \cdot (q + \mu \cdot q_{sh}) + \frac{1}{2} C_z \times \\ \times (q \cdot (1 - \mu) + \mu \cdot q_{sh}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $T_{opt}$  — оптимальная периодичность между поставками;  $q_{sh}$  — объем страхового запаса;  $t_t$ ,  $t_{st}$  — периоды времени использования текущего и страхового запасов в течение времени  $T_{opt}$ ;  $\mu = \frac{t_{st}}{T_{opt}}$  — доля времени хранения страхового запаса до момента его списания, ( $0 \leq \mu \leq 1$ );  $1 - \mu = \frac{t_t}{T_{opt}}$  — доля времени использования текущего запаса.

При этом

$$q_{sh} = D \cdot T_{opt} \cdot \mu. \quad (5)$$

Тогда зависимость можно представить таким образом:

$$\frac{C_p}{T_{opt}} + \frac{1}{2} C_h \cdot (q + D \cdot T_{opt} \cdot \mu^2) + \\ + \frac{1}{2} C_z \cdot (q \cdot (1 - \mu) + D \cdot T_{opt} \cdot \mu^2) \rightarrow \min. \quad (6)$$

На основе полученных результатов суммарные затраты  $C_{ob}$  выглядят в виде функции:

$$C_{ob} = \frac{C_p}{T_{opt}} + \frac{1}{2} (q \cdot D \cdot T_{opt} \cdot \mu^2) \times \\ \times (C_h + C_z \cdot (1 - \mu)). \quad (7)$$

Следовательно, важно определить параметр  $T_{opt}$ . Для этого необходимо понимать, что  $\mu$  располагается в промежутке ( $0 < \mu < 1$ ), когда страховой запас планируется на промежутке  $T_{opt}$ . Если  $\mu = 0$ , то страховой запас не планируется и стратегия управления запасами придерживается классического подхода Харриса–Уилсона:

$$T_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p}{D \cdot C \cdot \mu}}, \quad (8)$$

$$q = \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot D}{C_h \cdot \mu}}. \quad (9)$$

Для нахождения  $\mu$ , при котором общие издержки минимальны, определим, что объем закупки страхового запаса зависит от издержек на его закупку и хранение. Поэтому минимальными издержки в период времени  $T$  будут при следующем  $\mu$ :

$$\mu = \frac{C_h}{C_h + C_z}. \quad (10)$$

Тогда объем закупки  $qt$  в период времени  $T$  с учетом страхового запаса составит:

$$q_t = q + q_{sh} = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p \cdot D \cdot (C_h + C_z)}{C_h^2}} + \\ + \frac{D \cdot T_{opt} \cdot C_h}{C_h + C_z}. \quad (11)$$

В рамках данного примера авторской модификации модели рассматривается только возможность определить оптимальную партию поставки, исходя из затрат, связанных с порчей части запаса. В научной литературе разрабатываются модификации, которые включают иные критериальные функции и их сочетание. Далее в работе проанализировано 22 модификации и дано их сравнение в зависимости от вводимого ограничения и сферы применения.

Для этого были заданы основные параметры, используемые в моделях и представленные в табл. 2. Полученные результаты расчетов содержатся в табл. 3, где в первой строке приведен расчет для основной модели Харриса–Уилсона, не учитывающей особенности запасов, подверженных порче. Далее следуют результаты для исследуемых моделей, расположенные в порядке увеличения суммарных затрат. Номера моделей в табл. 1, 3 и 4 совпадает. Нумерация модели, включающая подпун-

Таблица 2

## Показатели для расчета

№	Показатель	Величина
1	Объем спроса, ед./год	2 000
2	Затраты на закупку, у.е.	50
3	Затраты на хранение запасов, у.е./год	150
4	Коэффициент убыли	0,07
5	Время пополнения, дни	4
6	Скидка за единицу товара, %	0,5
7	Уровень инфляции, %	7
8	Запасы в наличии, ед.	35
9	Допустимый дефицит, ед.	35
10	Рассматриваемый период, дни	7
11	Норма спроса, ед.	0,95
12	Спрос, реализуемый с собственного склада, ед.	0,8
13	Возвратный спрос, ед.	0,2
14	Страховой запас, ед.	0,14
15	Штрафы при дефиците запаса, ед.	25

кты (4.1, 4.2 и т. д.), показывает, что в рамках работы автором было представлено два варианта модели для одной критериальной функции.

Для получения сопоставимых результатов затраты по трем ключевым направлениям определялись согласно формулам, представленным в [Лукинский, Плетнева, 2010]:

$$C_p = D \cdot \left( \frac{\lambda \cdot C_n}{S_o^*} + \gamma \cdot C_n \right), \quad (12)$$

$$C_h = D \cdot \frac{h \cdot S_o^*}{2}, \quad (13)$$

$$C_y = D \cdot C_n \cdot \gamma \cdot S_o^*, \quad (14)$$

где  $S_o^*$  — рассчитанная партия экономического заказа;  $\lambda$  — ежедневный расход;

$C_n$  — цена за единицу продукции;  $h$  — затраты на хранение единицы продукта в день.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы.

Результаты сравнения расчета моделей из-за порчи и базовой модели показывают, что учет затрат, связанных с особенностями скоропортящейся продукции, значительно повышает суммарные затраты (в данном примере увеличение происходит более чем в пять раз в зависимости от модели).

Наиболее эффективной с затратной точки зрения оказалась модель, представленная в [Лукинский, Плетнева, 2010], в основе которой лежит оценка естественной убыли продукции, нормируемой коэффициентом.

Пример показывает, что сокращению суммарных затрат при заданных параметрах

Таблица 3

Сопоставление результатов расчета оптимального размера заказа модификаций модели EOQ

№ модели	Оптимальная партия заказа $S_0$ , ед.	Количество заказов в год, N	Периодичность поставок T, дни	Затраты на поставку, у.е.	Затраты на хранение, у.е.	Затраты, связанные с убылью, у.е.	Суммарные затраты, у.е./год
Модель Харриса–Уилсона	36,51	55	7	5477,2	499,8	—	5977,02
14	8,86	226	2	12719,1	121,3	11320,4	24160,9
20	6,63	302	1	16572,8	90,7	8468,2	25131,8
10	12,19	164	2	9594	166,9	15574,4	25335,3
2	5,75	348	1	18896,2	78,8	7351,5	26326,5
8	5,56	360	1	19527,5	76,0	7097,2	26700,8
9	16,37	122	3	7472,1	224,0	20909,3	28605,4
3	18,55	108	3	6744,4	253,9	23692,4	30690,6
21	3,53	566	1	29979,4	48,4	4512,7	34540,5
19	3,42	585	1	30923,4	46,8	4369,1	35339,2
17	25,65	78	5	5231,0	351,0	32761,8	38343,8
22	27,12	74	5	5015,6	371,3	34650,0	40036,8
5	32,71	61	6	4376,7	447,8	41793,3	46617,8
16	35,06	57	6	4169,2	479,9	44791,3	49440,5
1	2,18	916	0,4	47732,3	29,9	2788,2	50550,4
15	38,89	51	7	3884,6	532,3	49680,6	54097,5
7	41,04	49	7	3748,0	561,7	52428,6	56738,3
12.2	43,03	46	8	3633,8	589,0	54970,4	59193,1
6	45,24	44	8	3518,7	619,2	57791,8	61929,7
4.1	46,86	43	8	3441,1	641,4	59866,2	63948,6
13	66,05	30	12	2812,5	904,1	84378,7	88095,3
18	76,12	26	14	2609,4	1042,0	97249,4	100900,8
12.1	78,03	26	14	2576,9	1068,0	99682,9	103327,8
4.2	79,5	25	14	2552,9	1088,1	101556,0	105197,0
11	106,59	19	19	2228,7	1458,9	136164,9	139852,5

Примечание: модель Харриса–Уилсона не предполагает учет возможной порчи запаса сырья.

Таблица 4

## Корректировка результатов расчета оптимального размера заказа: модели со скидкой

№ модели	Оптимальная партия заказа $S_0$ , ед.	Количество заказов в год, N	Периодичность поставок T, дни	Затраты на поставку, у.е.	Затраты на хранение, у.е.	Затраты, связанные с убылью, у.е.	Суммарные затраты, у.е./год
18	76,12	54	7	2637,17	510,13	47611,97	50759,27
12.1	78,03	54	7	2605,20	510,63	47658,77	50774,59
12.2	43,03	55	7	3641,81	501,44	46801,27	50944,51
4.2	79,5	54	7	2581,63	511,02	47694,78	50787,43
11	106,59	53	7	2263,72	518,13	48358,49	51140,33

трах расчета в первую очередь способствуют уменьшению размера партий и увеличению частоты поставок. При такой политике управления запасами затраты на поставку несколько выше, чем в моделях с более длительным периодом, тем не менее это позволяет существенно сократить издержки на хранение и реализовать скоропортящийся товар до момента снижения его качества и необходимости прибегать к уценке или утилизации. Среди моделей, поддерживающих подобную тенденцию, чья периодичность поставки не превышает пяти дней, следующие: 14, 20, 10, 2, 8, 9, 3, 21, 17, 22, 1.

Наиболее затратными оказались модели, используемые для учета скидки, предоставляемой поставщиком. В данном случае модели 18, 12.1, 12.2, 4.2, 11 нельзя рассматривать наряду с остальными, поскольку расчет оптимального заказа актуален только для одной партии, реализуемой по специальной цене, когда последующие будут соответствовать классической модели EOQ. Корректировка расчетов в соответствии с особенностью использования моделей данного типа приведена в табл. 4.

На основе новых показателей можно сделать вывод о том, что модели, учитывающие скидку в одной из партий поставок, имеют незначительные расхождения в объемах закупки и суммарных затратах (кроме модели 11, где предлагается реализовать

закупку по более низким ценам не на один, а на два периода). Принимая во внимание такую модификацию, видно, что суммарные затраты снизились практически в два раза по сравнению с предыдущими результатами, при этом приобретаемая периодичность поставок базовой модели.

В моделях 5, 16, 15, 6, 4.1 и 13 период поставок увеличился от 6 до 12 дней, что привело к снижению затрат на поставку, но в то же время увеличило затраты на хранение запаса в течение более длительного периода, а также расходы на управление процессами убыли товаров (уценка и продажа товара с более низким качеством, чем в начале срока, ликвидация и утилизация неликвидных запасов и др.). Среди них наиболее затратным оказался подход 13, суммарные затраты в рамках которого превысили результат анализа издержек базовой модели в 14,7 раза. Его особенностью является учет двойного кредитования в условиях работы со скоропортящимися продуктами. При этом, согласно допущениям модели, спрос зависит от текущего уровня запаса. Иными словами, необходимость поддерживать высокий уровень запаса скоропортящегося сырья на складе для реализации спроса потребителей обосновывает высокие издержки, связанные с порчей товара.

В то же время, несмотря на включение фактора убыли запаса  $C_{y(q)}$  в классическую

Таблица 5

## Сопоставление показателей моделей без учета/с учетом страхового запаса

Показатель	Модель ЕОQ		
	Без учета страхового запаса	С учетом страхового запаса	
		Формула (9)	Формула (11)
Оптимальная партия заказа $q$ , ед.	36,51	39,07	43,84
Количество заказов в год, $N$	54,77	51,19	45,62
Периодичность поставок $T$ , дни	6,66	7,13	8,00
Суммарные затраты, у. е.,	5977,02	54320,33	60192,17
в том числе:			
— организация поставок	5477,23	3872,50	3590,36
— хранение	499,80	534,78	600,02
— убытки от убыли, ед.	—	49913,04	56001,80

модель оптимального размера заказа, нельзя игнорировать возникновение дефицита. Для его удовлетворения используются модели отложенного спроса, когда клиент ожидает требуемый ему товар в числе последующей поставки либо поставки из дополнительного источника (модели с двумя складами или модели, учитывающие допоставку, повторные заказы). В этой связи необходимо рассмотреть формирование страхового запаса для скоропортящейся продукции, поскольку данная тема остается дискуссионной.

При управлении запасами скоропортящегося продукта встает вопрос о рациональности содержания страхового запаса и определении его размера. Необходимо сопоставить расходы на его хранение при условии экспоненциального спада его качества с момента производства и расходы от неудовлетворенного спроса, которые, помимо упущенной прибыли, могут дать отсроченный эффект в виде потери лояльности потребителя.

Далее проведем сравнение результатов расчета согласно ранее выведенным формулам, которые включают увеличенную партию поставки, предполагающую фор-

мирование страхового запаса (9) и (11), и оценим динамику изменения уровня затрат. Такое сопоставление представлено в табл. 5, а исходные данные взяты из табл. 2.

Согласно приведенным расчетам, организация страхового запаса с учетом убыли продукции повышает суммарные расходы (в данном примере) на 9,76%.

Для определения эффективности и необходимости страхового запаса следует оценить издержки от его организации ( $C_{sh}$ ) и издержки от дефицита запаса ( $C_d$ ). Тогда организация страхового запаса рациональна, если  $C_d > C_{sh}$ . В ином случае важно оценивать и другие факторы, такие как латентные издержки дефицита, которые невозможно измерить в данный момент, но в перспективе потеря лояльности клиента способна оказать более значительное влияние на прибыльность компании.

Таким образом, гипотеза  $H1$  не нашла подтверждения. Затраты, связанные с порчей запаса, зависят от размера оптимальной партии и периодичности заказа, которые в ряде моделей при введении критериальных функций приводят к их увеличению. Иными словами, при высоких затратах на

одну перевозку или, например, при высокой стоимости дефицита и низкой стоимости запаса будет более приоритетной единоразовая закупка крупной партии, которая сформирована исходя из информации о том, что часть будет подвергнута порче.

Тем не менее гипотеза *H2* подтвердилась, поскольку увеличение частоты поставок позволяет создать такую цепочку поставок, в которой вновь поступающий запас полностью потребляется на производстве до момента истечения срока его хранения (например, в моделях 2, 5, 20, 21).

## ВЫВОДЫ

В рамках исследования были установлены параметры и ограничения модификаций модели определения оптимальной партии поставки, проведен сравнительный анализ отобранных моделей, а также продемонстрирован численный пример расчета.

Результаты анализа подтвердили гипотезу *H2* о том, что модифицированная модель EOQ, выведенная с учетом ввода ограничений в соответствии с критериальными функциями, являющимися целевыми для предприятия, устанавливает такой размер

оптимальной партии и такую периодичность поставок, при которых достигается максимально возможное сокращения уровня порчи запаса. Однако при этом не в каждом индивидуальном случае максимально возможная минимизация уровня порчи запаса является эффективной (например, при высокой стоимости каждой последующей перевозки), поскольку данный показатель необходимо рассматривать совместно с уровнем суммарных затрат. Иными словами, каждая из представленных моделей должна применяться в соответствии с особенностями политики управления запасами и учитывать те особенности и ограничения, от которых зависит эффективность формирования цепи поставок конкретного предприятия.

В данной работе рассматривалась только ключевая модель управления запасами. Перспективы дальнейших исследований видятся в расширении анализа влияния изменения модели на иные показатели управления запасами. Предполагается более обширно оценить влияние критериев модификации модели на эффективность управления запасами скоропортящегося сырья, формирование суммарных затрат и уровень порчи запаса с целью их минимизации.

## ЛИТЕРАТУРА НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

- Баканова С. В., Еремкин А. И. 2015. Методика оценки эффективности воздухораспределения и определения воздухообмена в помещениях хранения скоропортящейся продукции. *Региональная архитектура и строительство* (2): 130–135.
- Еськова И. 2012. Особенности доставки скоропортящихся молочных продуктов в условиях мегаполиса. *Логистика* (10): 44–46.
- Захаров Д. А., Сидоров С. А., Козлов П. А. 2016. *Снижение энергоемкости и повышение эффективности перевозок скоропортящихся грузов автомобилями-рефри-*

*жераторами*. Монография. Тюмень: Издательство Тюменского индустриального университета.

- Исмаилов Р. Р. 2015. Выбор наилучшей энергосберегающей технологии перевозок скоропортящейся продукции на основе имитационного моделирования. *Успехи в химии и химической технологии* 29 (2): 77–79.
- Кондратьев А. В. 2007. *Повышение эффективности доставки скоропортящихся пищевых продуктов автомобильным транспортом* (докторская диссертация). М.: Московский автомобильно-дорожный

- государственный технический университет.
- Лебедь Е. М., Коцюк М. А., Горяева И. А. 2015. Оптимизация логистической цепи «Доставка — реализация» скоропортящейся продукции. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент* 9 (4): 165–169.
- Лившиц К. И., Ульянова Е. С. 2016. Релейное управление процессом производства в задаче производства и сбыта скоропортящейся продукции. *Новые информационные технологии в исследовании сложных структур*. Материалы 11-й международной конференции. Томск: Издательство Национального исследовательского Томского государственного университета.
- Лукинский В. С., Плетнева Н. Г. 2010. *Проблемы формирования прикладной теории логистики и управления цепями поставок*. Монография. СПб.: СПбГИЭУ.
- Оханов И. В. 2009. *Модели и методы управления закупками продукции, подверженной естественной убыли* (докторская диссертация). СПб.: Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет.
- Соляник Т. Н., Белоконь Ю. А. 2017. Моделирование транспортных процессов в цепи поставок кондитерских изделий. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля* (3): 195–200.
- Филиппова А. И., Осокина Е. Б., Маликова Т. Е., Мордвинцев Г. А. 2016. Система контроля состояния внутренней среды контейнера при перевозке скоропортящегося груза. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук* (12–1): 150–154.
- Филиппова А. И., Осокина Е. Б., Радочинская А. Ж. 2017. Разработка системы мониторинга состояния скоропортящегося груза при морских контейнерных перевозках. *Эксплуатация морского транспорта* (4): 31–35.

## REFERENCES IN LATIN ALPHABET

- Aggarwal S. P., Jaggi C. K. 1995. Ordering policies of deteriorating items under permissible delay in payments. *Journal of the Operational Research Society* 46 (5): 658–662.
- Agi M. A. N., Soni H. N. 2020. Joint pricing and inventory decisions for perishable products with age-, stock-, and price-dependent demand rate. *Journal of the Operational Research Society* 71 (1): 85–99.
- Bakker M., Riezebos J., Teunter R. H. 2012. Review of inventory systems with deterioration since 2001. *European Journal of Operational Research* 221 (2): 275–284.
- Bhunia A. K., Shaikh A. A. 2015. An application of PSO in a two-warehouse inventory model for deteriorating item under permissible delay in payment with different inventory policies. *Applied Mathematics and Computation* 256: 831–850.
- Cai X., Zhou X. 2014. Optimal policies for perishable products when transportation to export market is disrupted. *Production and Operations Management* 23 (5): 907–923.
- Córdenas-Barrin L. E., Smith N. R., Goyal S. K. 2010. Optimal order size to take advantage of a one-time discount offer with allowed backorders. *Applied Mathematical Modelling* 34 (6): 1642–1652.
- Chakraborty D., Jana D. K., Roy T. K. 2015. Multi-item integrated supply chain model for deteriorating items with stock dependent demand under fuzzy random and bifuzzy environments. *Computers Industrial Engineering* 88: 166–180.
- Chakraborty N., Mondal S., Maiti M. 2013. A deteriorating multi-item inventory model with price discount and variable demands via fuzzy logic under resource constraints. *Computers Industrial Engineering* 66 (4): 976–987.
- Chang C. T. 2004. An EOQ model with deteriorating items under inflation when supplier credits linked to order quantity. *In-*

- ternational Journal of Production Economics* **88** (3): 307–316.
- Chaudhary V., Kulshrestha R., Routroy S. 2018. State-of-the-art literature review on inventory models for perishable products. *Journal of Advances in Management Research*.
- Chen S.C., Min J., Teng J.T., Li F. 2016. Inventory and shelf-space optimization for fresh produce with expiration date under freshness-and-stock-dependent demand rate. *Journal of the Operational Research Society* **67** (6): 884–896.
- Chung W., Talluri S., Narasimhan R. 2015. Optimal pricing and inventory strategies with multiple price markdowns over time. *European Journal of Operational Research* **243** (1): 130–141.
- Covert R.P., Philip G.C. 1973. An EOQ model for items with Weibull distribution deterioration. *AIIE Transactions* **5** (4): 323–326.
- Das D., Roy A., Kar S. 2015. A multi-warehouse partial backlogging inventory model for deteriorating items under inflation when a delay in payment is permissible. *Annals of Operations Research* **226** (1): 133–162.
- Dobson G., Pinker E.J., Yildiz O. 2017. An EOQ model for perishable goods with age-dependent demand rate. *European Journal of Operational Research* **257** (1): 84–88.
- Ghosh S.K., Chaudhuri K.S. 2006. An EOQ model with a quadratic demand, time-proportional deterioration and shortages in all cycles. *International Journal of Systems Science* **37** (10): 663–672.
- Ghosh S.K., Khanra S., Chaudhuri K.S. 2011. Optimal price and lot size determination for a perishable product under conditions of finite production, partial backordering and lost sale. *Applied Mathematics and Computation* **217** (13): 6047–6053.
- Goyal S.K., Giri B.C. 2001. Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research* **134** (1): 1–16.
- He Y., Huang H., Li D. 2020. Inventory and pricing decisions for a dual-channel supply chain with deteriorating products. *Operational Research* **20** (3): 1461–1503.
- Huang K. 2019. Inventory optimization of fresh foods based on Shang Mao Cheng Supermarket. *Proceedings of the 2019 5<sup>th</sup> International Conference on Industrial and Business Engineering*, p. 23–27. Association for Computing Machinery: N.Y.
- Hui-Ming W., Yu J. 1997. A deteriorating inventory model with a temporary price discount. *International Journal of Production Economics* **53** (1): 81–90.
- Jaggi C.K., Aggarwal S.P. 1994. Credit financing in economic ordering policies of deteriorating items. *International Journal of Production Economics* **34** (2): 151–155.
- Jaggi C.K., Aggarwal K.K., Goel S.K. 2006. Optimal order policy for deteriorating items with inflation induced demand. *International Journal of Production Economics* **103** (2): 707–714.
- Jaggi C.K., Khanna A., Verma P. 2011. Two-warehouse partial backlogging inventory model for deteriorating items with linear trend in demand under inflationary conditions. *International Journal of Systems Science* **42** (7): 1185–1196.
- Kumar N., Singh S.R., Kumari R. 2012. Three echelon supply chain inventory model for deteriorating items with limited storage facility and lead-time under inflation. *International Journal of Services and Operations Management* **13** (1): 98–118.
- Liao H.C., Tsai C.H., Su C.T. 2000. An inventory model with deteriorating items under inflation when a delay in payment is permissible. *International Journal of Production Economics* **63** (2): 207–214.
- Liao J.J., Huang K.N., Chung K.J. 2012. Lot-sizing decisions for deteriorating items with two warehouses under an order-size-dependent trade credit. *International Journal of Production Economics* **137** (1): 102–115.
- Lo S.T., Wee H.M., Huang W.C. 2007. An integrated production-inventory model with imperfect production processes and Weibull distribution deterioration under inflation. *International Journal of Production Economics* **106** (1): 248–260.
- Mahata P., Gupta A., Mahata G.C. 2014. Optimal pricing and ordering policy for an

- EPQ inventory system with perishable items under partial trade credit financing. *International Journal of Operational Research* **21** (2): 221–251.
- Min J., Zhou Y.W., Zhao J. 2010. An inventory model for deteriorating items under stock-dependent demand and two-level trade credit. *Applied Mathematical Modelling* **34** (11): 3273–3285.
- Mukhopadhyay S., Mukherjee R.N., Chaudhuri K.S. 2005. An EOQ model with two-parameter Weibull distribution deterioration and price-dependent demand. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* **36** (1): 25–33.
- Pourmohammad-Zia N., Karimi B., Rezaei J. 2021. Dynamic pricing and inventory control policies in a food supply chain of growing and deteriorating items. *Annals of Operations Research*, 1–40.
- Sarbjit S., Shivraj S. 2009. An optimal inventory policy for items having linear demand and variable deterioration rate with trade credit. *Journal of Mathematics and Statistics* **5** (4): 330.
- Soni H.N. 2013. Optimal replenishment policies for non-instantaneous deteriorating items with price and stock sensitive demand under permissible delay in payment. *International Journal of Production Economics* **146** (1): 259–268.
- Stanger S.H., Wilding R., Yates N., Cotton S. 2012. What drives perishable inventory management performance? Lessons learnt from the UK blood supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Suryawanshi P., Dutta P. 2021. Distribution planning problem of a supply chain of perishable products under disruptions and demand stochasticity. *International Journal of Productivity and Performance Management (ahead-of-print)*.
- Taleizadeh A.A. 2014. An EOQ model with partial backordering and advance payments for an evaporating item. *International Journal of Production Economics* **155**: 185–193.
- Taleizadeh A.A., Mohammadi B., Cárdenas-Barryn L.E., Samimi H. 2013. An EOQ model for perishable product with special sale and shortage. *International Journal of Production Economics* **145** (1): 318–338.
- Yang H.L. 2021. Retailer's ordering policy for demand depending on the expiration date with limited storage capacity under supplier credits linked to order quantity and discounted cash flow. *International Journal of Systems Science: Operations Logistics* **8** (2): 136–153.

#### TRANSLATION OF REFERENCES IN RUSSIAN INTO ENGLISH

- Bakanova S.V., Eremkin A.I. 2015. Methods for assessing the efficiency of air distribution and determining air exchange in storage rooms for perishable products. *Regionalnaya Arkhitektura i Stroitelstvo* (2): 130–135. (In Russian)
- Eskova I. 2012. Features of the delivery of perishable dairy products in a metropolis. *Logistika* (10): 44–46. (In Russian)
- Zakharov D.A., Sidorov S.A., Kozlov P.A. 2016. *Reducing Energy Intensity and Increasing the Efficiency of Transportation of Perishable Goods by Refrigerated Vehicles*. Monograph. Tyumen: Tyumen Industrial University Publishing House. (In Russian)
- Ismailov R.R. 2015. Selection of the best energy-saving technology for transportation of perishable goods based on simulation. *Uspekhi v Khimii I Khimicheskoy Tekhnologii* **29** (2): 77–79. (In Russian)
- Kondratyev A.V. 2007. *Increasing the Efficiency of Delivery of Perishable Food Products by Road* (Doctoral dissertation). Moscow: Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University Publ. (In Russian)

- Lebed E.M., Kotsyuk M.A., Goryaeva I.A. 2015. Optimization of the logistics chain “delivery and implementation” of perishable products. *Vestnik Uzhno-Uralskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Ekonomika i Menedzment* 9 (4): 165–169. (In Russian)
- Livshits K.I., Ulyanova E.S. 2016. Relay control of the production process in the production and marketing of perishable goods. *New Information Technologies in the Study of Complex Structures*. Materials of the 11<sup>th</sup> International Conference. Tomsk: Publishing House of the National Research Tomsk State University. (In Russian)
- Lukinskiy V.S., Pletneva N.G. 2010. Problems of Formation of Applied Theory of Logistics and Supply Chain Management. Monograph. St. Petersburg: SPbGIEU Publ. (In Russian)
- Okhanov I.V. 2009. *Models and methods for managing purchases of products subject to natural loss* (Doctoral dissertation). St. Petersburg: St. Petersburg State University of Engineering and Economics Publ. (In Russian)
- Solyanik T.N., Belokon Yu. A. 2017. Modeling of transport processes in the confectionery supply chain. *Vestnik Skhidnoukrainskogo Natsionalnogo Universeta imeni Volodymyra Dalya* (3): 195–200. (In Russian)
- Filippova A.I., Osokina E.B., Malikova T.E., Mordvintsev G.A. 2016. The system for monitoring the state of the internal environment of the container during the transportation of perishable goods. *Actualnie Problemi Gumanitarnikh i Estestvennikh Nauk* (12–1): 150–154. (In Russian)
- Filippova A.I., Osokina E.B., Radochinskaya A.Zh. 2017. Development of a system for monitoring the state of perishable cargo during sea container transportation. *Eksploatatsia Morskogo Transporta* (4): 31–35. (In Russian)

*Статья поступила в редакцию  
17 января 2022 г.  
Принята к публикации  
11 мая 2022 г.*

---

## ***Features of perishable raw materials stock management at the production enterprise***

***I.A. Ipateva***

Graduate School of Business, HSE University, Russia

This article is devoted to the peculiarities of managing the perishable stock of a manufacturing enterprise. The author analyzes the applicability of the classical model for determining the optimal delivery lot for perishable raw materials. In the work, the systematization and analysis of existing modifications of the EOQ model and their applicability in various situations is carried out, motives, current trends, and types of modifications of the classical model for determining the optimal delivery lot are determined. The methodology used is a meta-analysis of publications formulating modifications to the EOQ model, considering the short shelf life of the stock; at the next stage, using the morphological method, the regularity of the formation of individual models is deduced. Finally, a numerical example is given. As a result, the key topics of model modifications were identified, trends in the constraints introduced into the model were identified.

**Keywords:** perishable stock, EOQ model, optimal delivery lot, losses, deterioration of stock, production.

**For citation:** Ipateva I.A. 2021. Features of perishable raw materials stock management at the production enterprise. *Russian Management Journal* 19 (4): 572–591. (In Russian)

*Initial Submission: January 17, 2022  
Final Version Accepted: May 11, 2022*