

## ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ

**И. А. Ипатьева**<sup>1</sup>

НИУ «Высшая школа экономики» (Москва, Россия)

**И. П. Эльяшевич**<sup>2</sup>

НИУ «Высшая школа экономики» (Москва, Россия)

УДК: 338.984

## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ: ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ С 2016 ПО 2021 Г.

*В данной статье проводится обзор современных исследований в области модификации моделей управления запасом, среди которых основное внимание уделяется моделям определения оптимальной партии поставки (ЕОQ) для скоропортящегося запаса в соответствии с различными критериальными ограничениями. Авторами проведен метаанализ 160 научных публикаций, в которых приводятся модификации исследуемых моделей за период с 2016 по 2021 г. Результатом работы стали систематизация и классификация моделей в соответствии с типом спроса, характером скоропортящегося запаса, динамикой его порчи, по ключевой теме, исходя из которой задаются ограничения модели. Авторы формулируют выводы о существующих решениях и их применимости в различных ситуациях, определяют мотивы, современные тенденции и виды модификаций модели определения оптимальной партии поставки, определяют потенциальные направления развития.*

**Ключевые слова:** модели управления запасами, скоропортящиеся запасы, срок хранения, срок годности, потери запаса, порча запаса, естественная убыль, модель ЕОQ.

Цитировать статью: Ипатьева, И. А., & Эльяшевич, И. П. (2022). Модели и методы управления запасами скоропортящихся сырья и материалов: обзор публикаций с 2016 по 2021 г. *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, (3), 177–231. <https://doi.org/10.38050/013001052022310>.

---

<sup>1</sup> Ипатьева Ирина Адьевна — аспирант Высшей школы бизнеса, Департамента операционного менеджмента и логистики, НИУ «Высшая школа экономики»; e-mail: [iipateva@hse.ru](mailto:iipateva@hse.ru), ORCID: 0000-0001-8852-3364.

<sup>2</sup> Эльяшевич Иван Павлович — д.э.н., профессор Высшей школы бизнеса, Департамента операционного менеджмента и логистики, НИУ «Высшая школа экономики»; e-mail: [ielyashevich@hse.ru](mailto:ielyashevich@hse.ru), ORCID: 0000-0002-5645-2327.

**I. A. Ipateva**

HSE University (Moscow, Russia)

**I. P. Elyashevich**

HSE University (Moscow, Russia)

JEL: C61, D51, D81

## **PERISHABLE RAW MATERIALS AND SUPPLIES STOCKS MANAGING MODELS AND METHODS: LITERATURE REVIEW FROM 2016 TO 2021**

*This article provides an overview of current research in the field of modifying inventory management models, among which the focus is on models for determining the economic order quantity (EOQ) for perishable stock in accordance with various criteria restrictions. The authors implement a meta-analysis of 160 scientific publications, in which modifications of the studied models are foreseen for the period from 2016 to 2021. The result was systematization and classification of each model in accordance with the type of demand, the perishable stock nature, and its deterioration dynamics, as well as the key topic, based on which the limitations of the model are set. The authors formulate conclusions about existing solutions and their applicability in various situations, determine the motives, trends and modifications types of the base model for determining the optimal delivery batch, and determine potential development directions.*

**Keywords:** inventory management models, perishable inventory, shelf life, decay, deteriorate, spoil, waste, outdate, EOQ model.

To cite this document: Ipateva, I. A., & Elyashevich, I. P. (2022). Perishable raw materials and supplies stocks managing models and methods: literature review from 2016 to 2021. *Moscow University Economic Bulletin*, (3), 177–231. <https://doi.org/10.38050/013001052022310>.

### **Введение**

Предприятия, работающие с товарно-материальными ценностями (готовой продукцией, запасами незавершенного производства, сырьем и материалами), которые имеют малые сроки хранения, являются наиболее зависимыми от своевременности, качества и надежности поставок.

Строгие ограничения по срокам хранения предполагают поддержание тенденций по уходу от содержания высокого уровня запасов, которые при зависимом спросе могут перейти в категорию неликвидных. Для многих компаний остро встал вопрос об избавлении от неопределенности при формировании заказов на поддержание запаса, максимальном снижении неликвидов. Возможность моделирования подобных ситуаций позволяет с большей эффективностью осуществлять контроль запасов.

Разработка моделей управления запасами в большей степени основывается на концепции их оптимизации, которая подразумевает при-

знание целесообразности содержания запасов в оптимальном (чаще всего по критерию минимума совокупных затрат) размере. В данной статье сделан акцент на скоропортящиеся запасы, которые характеризуются малым сроком хранения, требуют особых условий работы и подвержены порче.

В этом случае можно говорить о необходимости концепции минимизации запаса, исходящей из предположения, что высокий уровень запасов имеет ряд негативных последствий, увеличивает текущие затраты, снижает время реакции на требование потребителя, увеличивает себестоимость и снижает прибыль на инвестированный капитал. Значительная часть моделей формирования запаса и их модификации основываются на определении оптимального размера заказа (EOQ). Для этого традиционно используется формула Харриса — Уилсона, которая предполагает, что запас может храниться длительное время до момента использования в производстве или передаче конечным пользователям.

Исследователями предложено множество модификаций классической формулы для скоропортящегося запаса, которые предлагают введение в модель ряда ограничений по требуемым параметрам. Начало их формирования было положено Т. М. Whitin (1957), который предложил модель управления запасами для предметов моды, подверженных устареванию, Р. М. Ghare (1963), который определил экспоненциальный спад качества запаса, van Zyl, в 1964 г. разработавший одну из первых моделей управления скоропортящимся запасом для двух периодов (Nahmias, 2011).

Развитие и распространение модификаций связано с дифференциацией потребностей фирм в различных сферах и разнообразием факторов, оказывающих влияние на эффективность и надежность цепей поставок.

Целью статьи является систематизация и анализ исследований, разрабатывающих подобные модели по критериям классификации запаса, выделению ключевых тем, сферы производства, географии, определению современных и потенциальных тенденций развития.

Запасы принято классифицировать по трем группам: подверженные моральному устареванию, подверженные износу/порче и хранящиеся на протяжении длительного периода времени. В данной работе основное внимание уделяется скоропортящимся запасам, подверженным физической порче, поскольку первый вид запаса после устаревания не переупорядочивается (Goyal & Giri, 2001).

Структура работы представлена рядом разделов. Вначале приводится методология исследования, которая определяет критерии и способ отбора публикаций по теме. Оценивается исследовательский вклад разных стран, период публикаций. Далее описываются теоретические основы, определяется, что понимается под скоропортящимся запасом; проводится анализ предшествующих обзоров, сопоставляются полученные ранее результаты. Затем формируется классификация модификаций модели EOQ по типу

спроса. В заключительной части представлен обзор ключевых тем, приводятся результаты анализа отобранных публикаций.

## **Методология.**

### **Этап поиска и первого чтения**

На первом этапе был проведен поиск и предварительный отбор публикаций по тематике управления скоропортящимся запасом и использованию модифицированных моделей EOQ. Поиск проводился в библиографических базах данных научного цитирования Web of Science и Scopus в периодических журналах, имеющих квартиль Q3–Q1 с помощью ключевых слов: “EOQ”, “Economic Order Quantity”, “deteriorate\* AND inventory”, “perish\* AND inventory”, “shelf life AND inventory”, “decay AND inventory”. Для того чтобы убедиться, что среди выборки нет пропущенных исследований, был проведен поиск с использованием дополнительных ключевых слов: “spoil\* AND inventory” и “waste AND inventory”, где AND — логическая связь между ключевыми словами.

В Приложении в табл. П1 приведена статистика публикации исследований по wybranым ключевым словам в рецензируемых журналах. Основная часть исследований использует ключевые слова “perish\*” (42% публикаций) и “waste” (21%).

На начальном этапе было найдено 205 публикаций, из которых были исключены монографии, главы монографий, официальные и технические документы.

Отдельной группой были выделены обзоры публикаций по анализируемой теме, последние из которых датируются 2016 г. С тех пор был опубликован ряд новых работ, в которых выводятся новые модели и направления модификаций, что обосновывает необходимость данного обзора. Исходя из этого для дальнейшего анализа был определен период с 2016 по 2021 г.

## **Проверка соответствия отобранных статей**

### **и статистика журналов**

На данном этапе отобранные публикации были просмотрены второй раз, каждая была изучена и проанализирована в соответствии с решаемой проблемой, с критериальными функциями, определяемыми в моделях. Те, что оказались не соответствующими тематике обзора (публикации, охватывающие вопросы управления запасами ТБО, материалов, пригодных для восстановления), были исключены. В результате для анализа было отобрано 160 статей, перечень которых приводится в Приложении в табл. П7.

В Приложении в табл. П2 приведен перечень релевантных статей, опубликованных в анализируемый период. С помощью данной статистики можно отследить, как менялось количество опубликованных статей в жур-

налах с различной специализацией. Всего в выборку вошли публикации из 82 журналов. В таблицу были включены журналы, где было представлено две и более статьи.

Как видно из результатов, между журналами нет согласованности в сфере публикации статей с моделями управления скоропортящимся запасом. Основная часть приходится на журналы, специализирующиеся на исследованиях в области промышленности, машиностроения и инжиниринга (37%), операционного менеджмента (30%). Отдельная категория статей была опубликована в журналах, освещающих вопросы информационных технологий и систем (9%) и вопросы развития математической науки (9%). В первые пять категорий вошли исследования в области экологической безопасности и «зеленых» технологий (9%).

Наиболее продуктивным с точки зрения разработки модификаций моделей управления скоропортящимся запасом является период 2019–2020 гг., что может быть следствием увеличивающейся потребности в устойчивых системах управления запасом в период экономической нестабильности, вызванной распространением пандемии коронавируса.

На рис. 1 представлено распределение опубликованных научных работ из разных стран. Значительный вклад в исследование вопросов управления скоропортящимся запасом вносит Индия, за которой следуют Китай, Иран, США и Тайвань. В Индии объем публикаций увеличивается с каждым годом, что может быть связано с возрастанием объемов производства в стране и увеличением нагрузки на цепочки поставок.

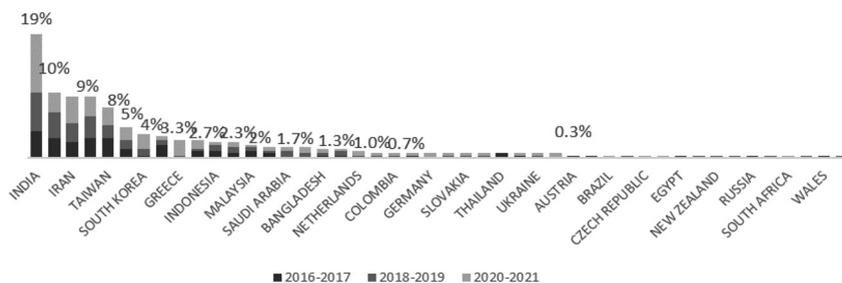


Рис. 1. Количество научных работ, опубликованных в разных странах (по авторам) (%)  
 Источник: составлено авторами.

## Сортировка и классификация публикаций

В рамках третьего этапа все отобранные публикации были классифицированы в соответствии с видом скоропортящегося запаса и характером спроса. Были определены ключевые темы и виды ограничений моделей, в соответствии с которыми статьи были соотнесены по группам. Модификации формулы EОQ связаны с использованием различных

критериальных функций, в которых используются те характеристики, которые авторы выносят в качестве критериев классификаций, применяемых в исследовании. Результаты сортировки отображены в Приложении в табл. ПЗ–П5.

### **Теоретические основы. Скоропортящийся запас и его особенности**

Под скоропортящимися запасами, как правило, понимаются готовая продукция, запасы незавершенного производства, сырье и материалы, имеющие тенденцию к снижению их качества, а именно ухудшению микробиологических показателей, физико-химических и органолептических свойств начиная с момента производства, уменьшению объема и количества запаса и требующих специфичных условий хранения и перевозки.

Среди отобранных работ большинство авторов при формировании моделей исходили из двух ключевых факторов: срока хранения и особенностей спроса.

В различные периоды исследователями предлагались классификации запаса и, соответственно, моделей управления запасом, основанные на сроке его хранения, в зависимости от особенностей порчи и иных критериев.

Goyal & Giri (2001) все запасы подразделяют на три метакатегории: подверженные физическому истощению, подверженные моральному устареванию и не подверженные порче. Скоропортящийся запас может быть отнесен как в первую, так и во вторую группу, в зависимости от его особенностей.

Ряд исследователей (Nahmias, 1982; Janssen et al., 2016) выделяют две группы исходя из определенности срока годности на запасы с фиксированным и неопределенным сроком службы. В первом случае определена крайняя точка использования продукта, причем качество запаса имеет тенденцию к постоянному ухудшению до момента достижения этой точки. Во втором срок полезного использования определяется как случайная величина с заданным распределением вероятностей.

В иных работах приводится классификация скоропортящихся запасов в зависимости от срока годности по трем ключевым категориям (Goyal & Giri, 2001; Bakker et al., 2012; Raafat, 1991).

К первой относятся запасы с фиксированным сроком службы. Такие продукты имеют детерминированный срок годности, иначе говоря, если продукт остается неиспользованным до окончания срока службы, он считается непригодным и подлежит утилизации. В системе управления данной категорией запасов приоритетным является подбор оптимальной политики заказа, которая тесно связана с особенностями потребления, как, например, FIFO (в производстве) или LIFO (в основном в розничных продажах).

Вторая категория — запасы со случайным временем хранения. Их особенностью является невозможность точно определить срок хранения, и в моделях он считается случайной величиной. Анализ стохастической системы сложнее иных моделей и требует учета фактора мгновенных поставок. Исходя из этого формирование устойчивых и эффективных моделей с учетом различных ограничений является наиболее интересным для исследователей.

В последнюю категорию входят запасы, которые распадаются в соответствии с пропорциональным уменьшением с точки зрения их полезности или физического количества (химические вещества и проч.).

Raafat (1991) аналогично определяет виды скоропортящегося запаса. Однако при этом приводит классификацию исходя из соотношения времени хранения и их ценности. Так, были выделены запасы с постоянной полезностью, которая всегда одинакова до истечения срока годности; запасы с повышающейся полезностью, когда конечный продукт спустя время приобретает большую ценность, и запасы, характеризующиеся снижением полезности с истечением времени.

Amorim et al. (2013) предлагают унифицированную структуру скоропортящегося запаса, который определяется на основе трех измерений: физической порчи, изменении ценности для потребителя и ограничений органов власти (в данном случае имеются в виду ограничения сроков использования запаса со стороны правомочных органов, который может быть короче фактического, устанавливаемый с целью повышения безопасности использования запаса, например, для банков крови).

При этом во всех классификациях скоропортящегося запаса основной концепцией является полезность продукта с точки зрения его физического состояния или привлекательности для потребителя.

В управлении скоропортящимся запасом ключевую роль играет спрос. Согласно его характеристике, все модели подразделяются на модели с детерминированным или стохастическим спросом. При этом спрос может быть многовариантным и зависимым от ряда факторов, таких как уровень запасов, остаточный срок годности запаса, ценовые и временные факторы и др.

В ряде работ выделенные факторы зависимости спроса оцениваются только для детерминированного спроса, а стохастический спрос оценивается как спрос с известным или произвольным распределением вероятностей (Goyal & Giri, 2001; Bakker et al., 2012; Li et al., 2010). Иные исследователи предполагают, что данные факторы так же могут быть характерны и для стохастического спроса (Janssen et al., 2016; Chaudhary et al., 2018; Amorim et al., 2013). В рамках данной работы многовариантность принимается характерной как для детерминированного, так и для стохастического спроса.

## Обзоры моделей управления скоропортящимся запасом

Модификации модели определения оптимальной партии поставки начались с момента ее появления. На сегодняшний день вариативность направлений модификации и разнообразие учитываемых параметров и ограничений превышает несколько сотен. Не удивительно, что за это время был составлен ряд обзоров публикаций, которые включают в себя как анализ только модификаций модели EOQ, так и более широкий анализ моделей управления скоропортящимся запасом.

Один из первых обзоров был составлен Е. А. Silver (1981), который определяет разрыв между теоретическими основами и практикой управления запасом в рамках предприятия. В рамках обзора рассматривается запас как подверженный порче, так и способный храниться длительный период времени. Классификацию моделей он проводит в соответствии с теми категориями проблем, которые должны быть решены. Всего было выделено девять ключевых групп моделей, к которым относятся модели для одного или нескольких видов сырья, с детерминированным или стохастическим спросом, для одного или нескольких периодов, с постоянными и изменяющимися во времени параметрами, в зависимости от характера поставок, по структуре затрат на закупку, допустимости дефицита и допоставок, по условиям хранения, модели с одной или несколькими точками сбыта.

Первый обзор, полностью посвященный вопросам определения эффективной политики управления скоропортящимся запасом, был сформирован S. Nahmias (1982). В исследовании рассматриваются модели для двух видов запаса: с фиксированным сроком годности и со сроком годности, определяемым с помощью нисходящей экспоненциальной функции.

Основываясь на классификации Е. А. Silver (1981), F. Raafat (1991) провел исследование моделей управления запасом, который неизбежно и непрерывно начинает терять свои свойства с момента его производства. При этом рассмотренные им модели имели дополнительное ограничение в виде объема запаса, находящегося в наличии на складе.

Десять лет спустя был опубликован обзор Goyal & Giri (2001), в рамках которого основное внимание уделено запасам, подверженным физической порче. Goyal и Giri предложена новая классификация моделей в зависимости от характеристик срока годности и характеристик спроса. В первом случае выделяются модели запасов с фиксированным и случайным сроком службы, а также моделей с запасом, подверженным распаду в соответствии с пропорциональным снижением их качества или количества. С точки зрения спроса были выделены модели со стохастическим и детерминированным спросом, предполагающим единократный, изменяющийся во времени, зависящий от цены или от наличия запасов спрос.

Основываясь на работе Goyal и Giri, Bakker et al. (2012) продолжают их обзор публикаций с 2001 по 2011 г. К первому обзору Bakker добавляет

новые ключевые темы, такие как вопросы заменимости сырья в цепочке поставок, допустимость дефицита или задержек поставки, двух- и многокомпонентные модели, децентрализованное планирование.

Продолжение обзора модификаций в соответствии с классификацией Goyal & Giri и Bakker представлено в работе Janssen et al. (2016), с временным периодом публикаций 2012–2015 гг. Авторы отмечают рост объема публикаций в данной тематике, а также объединение и увеличение возможных ключевых тем и параметров в рамках одной модели. Кроме того, авторы используют расширенную классификацию типов спроса на скоропортящийся запас. Если предшествующие обзоры стохастический спрос рассматривали только как спрос с определенными параметрами распределения или произвольными, то в данном случае к нему применяются такие параметры, как остаточный срок хранения, стоимость запасов, остаточный уровень запаса.

Иную классификацию предложили Li et al. (2010). Исследования авторы распределили по двум категориям: исследования производственных моделей и моделей в рамках цепочки поставок. В качестве ключевых факторов были определены спрос и темп порчи запаса, который может быть постоянным или определяться одной из функций времени (линейно возрастающей, двух- или трехпараметрическим распределением Вейбула, или иной). Кроме того, была выделена группа других факторов, таких как скидки, допустимость дефицита, инфляция и временная стоимость денег.

Karaesmen et al. (2011) провели исследование моделей для запасов, характеризующихся постепенным ухудшением качества, а также подверженностью моральному устареванию. В результате были определены и проанализированы сложные модели, учитывающие многоэтапность и многолокационность запасов, новые критерии классификации: многоклиентные, дискретные и непрерывные модели.

Wang (2013) рассмотрел различные режимы управления запасами в цепочке поставок и их применимость в соответствии с условиями внешней среды. Все модели были подразделены на одно-, двух- и многоэтапные.

Один из последних обзоров был проведен Chaudhary et al. (2018). Данная работа, как и предыдущие, базируется на распределении моделей в соответствии с характеристиками спроса, скорости порчи и политике пополнения запаса. Однако авторы уделяют внимание аспектам эволюции моделей и методам моделирования.

В отдельную группу можно выделить обзоры моделей, которые специализируются на той или иной отрасли. Среди них значительную долю занимают обзоры управления запасами банков крови (Prastacos, 1984; Pierskalla, 2004; Stanger et al., 2012; Beliën & Forcé, 2012; Lowalekar & Ravichandran, 2014). В рамках подобных исследований проводится оценка применимости моделей управления скоропортящимися запасами и их модификаций

к управлению запасами крови; анализируются модели, модифицированные с учетом особенностей функционирования банков крови и их цепочек поставок.

Иная группа обзоров посвящена исследованиям в области моделирования управления запасом в рамках производственных процессов. Alfares & Ghaithan (2019) проводят анализ и классификацию моделей EOQ и моделей оптимального объема производства (EPQ). Основное внимание уделяется моделям, основанным на предположении о переменных затратах на хранение в зависимости от времени хранения, от стоимости запасов и др. Glock & Grosse (2021) так же анализируют модели определения размеров партий. Однако в качестве ограничения для модели приняты контролируемые темпы производства, которые фиксируют такие характеристики, как горизонт планирования, объем вероятного изменения производственного цикла, влияние контролируемых производственных показателей. Amorim et al. (2013) определяют связи между концептуальным уровнем порчи запаса и методами математического моделирования. Авторами была предложена новая классификация скоропортящегося запаса, и распределение моделей по категориям было сформировано на ее основе. В рамки исследования включены как модели управления производственным запасом, так и публикации, затрагивающие вопросы распределения.

Akkerman et al. (2010) проводят обзор моделей в области распределения продуктов питания. Особенностью данного направления является то, что в качестве ключевых вопросов определены такие характеристики, как качество, безопасность и устойчивость. Ahumada & Villalobos (2009) представили обзор исследований моделей управления цепочками поставок сельскохозяйственной продукции. Они определили эффективные модели для агропродовольственной сферы как для скоропортящихся продуктов, так и для продуктов с длительным сроком хранения.

В Приложении в табл. П6 представлены рассмотренные обзоры, расположенные в порядке возрастания временного периода, который охватывает обзор. Исходя из таблицы можно проследить эволюцию и расширение перечня ключевых тем, а также усложнение классификации моделей. Часть статей, ранее рассматриваемых при оценке обзоров, не включена в таблицу, поскольку они ставят иную цель исследования и не являются развернутыми обзорами (Pahl et al., 2007; Pierskalla, 2005; Prastacos, 1984; Nahmias, 2011).

### **Классификация моделей в соответствии со спросом и сроком жизни запаса**

Выше было определено, что ключевыми критериями классификации моделей являются тип спроса на запас и срок его хранения. Исходя из этого в табл. 1 все проанализированные модели были распределены по четырем

категориям в соответствии с параметрами, закладываемыми авторами моделей. В Приложении в табл. П3 приведены источники для каждой категории классификации. В рамках одной статьи авторами могут рассматриваться несколько типов спроса и видов запаса.

Наиболее часто встречающимся кластером моделей является учитывающий постоянный спрос и заранее известный период полезного использования запаса. К наиболее сложным моделям с множеством параметров можно отнести учитывающие переменный спрос и случайный срок жизни запаса.

Для рассмотренных моделей характерной чертой является уточнение параметров спроса в соответствии с факторами зависимости. Данные факторы и распределение объема публикаций приведены в табл. 2. Источники представлены в Приложении в табл. П4.

Таблица 1

**Классификация моделей управления скоропортящимся запасом  
в зависимости от типа спроса и срока хранения**

Срок годности запаса	Тип спроса	
	Детерминированный	Стохастический
Фиксированный	(1.1) 121	(1.2) 32
Случайный	(2.1) 11	(2.2) 13
Всего	132	45

*Источник:* составлено авторами.

Как видно из приведенной статистики, наиболее распространены модели с однородным спросом, в которых, как правило, рассматривается один период заказа. Иная значительная по объему группа включает модели, зависящие от срока годности запаса, цены на запас, его хранение и пополнение.

Таблица 2

**Классификация моделей управления скоропортящимся запасом  
в зависимости от функции распределения спроса**

№	Функции распределения спроса	Количество публикаций
1	Однородный/постоянный	52
2	Зависит от уровня запасов	22
3	Изменяется во времени	31
4	Зависит от цены	38
5	Зависит от возраста запаса	39
6	Иная зависимость	18

*Источник:* составлено авторами.

В категорию «Иные» вынесены единичные модели, которые определяют зависимость спроса от кредитного периода и его условий (Li, Yang et al., 2021; Feng et al., 2020; Mahata et al., 2020; Otrodi et al., 2019; Tiwari et al., 2018; Li, Teng et al., 2019); от рекламы и расходов на продвижение (Udayakumar et al., 2021; Avinadav, 2020; Dye, 2020; Chernonog, 2020; Shah & Vaghela, 2017; Avinadav et al., 2017); от экологичности поставок и углеродного следа (Rani et al., 2019; Xiao et al., 2018); от уровня инфляции (Paul et al., 2019); от инвестиций в технологии сохранения запаса (Mohammadi et al., 2019); от периода и объема просроченных поставок (Kuppalakshmi et al., 2021) и от кластера запасов (Tsao et al., 2021).

### **Классификация моделей в соответствии с ключевыми темами. Описание ключевых тем**

Модели, которые разрабатываются в отобранных публикациях помимо определения типа спроса и скорости ухудшения запаса, определяют дополнительные параметры и ограничения. В табл. 3 представлено распределение публикаций по ключевым темам в соответствии с проанализированными моделями. В рамках одной модели авторами могут быть рассмотрены несколько параметров и их вариаций. Детальное распределение ключевых тем в моделях представлено в Приложении в табл. П5.

Наиболее востребованные модели формируются с применением финансовых инструментов — ценообразования и уценки, определения стоимости запаса с учетом временной стоимости денег. На втором месте вопросы управления полным или частичным дефицитом. В обзоре впервые были выделены новые направления исследований, связанные с созданием экологичных и устойчивых моделей. Данные темы подробнее рассматриваются в последующих разделах.

*Таблица 3*

#### **Основные и новые темы в статьях за 2016–2021 гг.**

<b>№</b>	<b>Ключевая тема</b>	<b>Количество публикаций</b>
1	Ценообразование, скидка, уценка. Инфляция и временная стоимость денег	61
2	Торговое кредитование, задержка платежа, просроченные платежи, аванс и предоплата, схемы оплаты	51
3	Дефицит, потерянные продажи, недопоставки, отставание, дозаказ	35
4	Многоскладские модели, стоимость владения запасом, складская емкость	23
5	Экологичность и устойчивые цепочки поставок	19

№	Ключевая тема	Количество публикаций
6	EPQ, производство	18
7	Инвестиции в рекламу и технологии сохранения	17
8	Многоэшелонные модели	13
9	Многопродуктовые модели, дифференцированный товар, товары заменители	12
10	Возвратная логистика, утилизация, восстановление, пожертвования	11
11	Многопериодные модели	8
12	Маршрутизация и транспортные проблемы	7
13	Централизованный/децентрализованный обмен информацией	6
14	Сбои, поломки оборудования, ремонт	4
15	Иное (совместное планирование поставщика и потребителя, система очередей, банки крови, политика проверки качества при приемке и проч.)	25

*Источник:* составлено авторами.

### **Модели, учитывающие ценообразование, скидки и временную стоимость денег**

Проблемы ценообразования занимают лидирующую позицию среди актуальных тем и представлены в 34% проанализированных работ.

Основными направлениями в рамках данной темы являются определение стоимости закупки и продажи скоропортящегося запаса, представленные в работах (Agi & Soni, 2020; Huang, 2019; Feng et al., 2017, Önal et al., 2016; Afshar-Nadjafi et al., 2016; Lu et al., 2016; Herbon, 2016).

Спрос на скоропортящийся запас в значительной степени зависит от свежести продукта. Для стимулирования продаж запаса в соответствии с неполным остаточным сроком использования, ликвидации избыточного объема и снижения риска порчи предприятия могут предлагать клиентам ценовую скидку. Модификации модели EOQ с учетом политики ценообразования и дифференциации стоимости, динамического изменения размера скидки в зависимости от остаточного срока годности и уценки разрабатываются в работах (Saren et al., 2020; Kamaruzaman & Omar, 2020; Huang, 2019; Feng et al., 2017; Chen, 2017; Hsiao et al., 2017; Afshar-Nadjafi et al., 2016; Lu et al., 2016; Herbon, 2016). Дополнительные скидки на объем заказа рассматриваются в моделях (Suryawanshi & Dutta, 2021; Yang, 2021).

Вопрос ценообразования может рассматриваться с двух позиций: со стороны производителя, который определяет стоимость запаса в соот-

ветствии со спросом, объемами закупаемых партий, и со стороны розничного продавца, который сталкивается с необходимостью организации сбыта скоропортящейся продукции. Становятся распространенными основывающиеся на зависимом ценообразовании в деловой среде схемы оплаты, включающие кредитование, которое может рассматриваться в качестве альтернативы скидке. Предоставление поставщиком торгового кредита в моделях ценообразования рассмотрены (Yang, 2021; Sayal et al., 2021; Saren et al., 2020; Otrodi et al., 2019; Mahata et al., 2019; Jaggi et al., 2017; Singh et al., 2017). Частичная допустимая задержка платежа со стороны ритейлера, когда поставщик предоставляет торговый кредит, раскрыта в работах (Udayakumar et al., 2021; Tiwari et al., 2018; Pramanik et al., 2019). Обратная ситуация, когда розничный продавец пополняет запасы и формирует цену продажи, используя предоплату, разрабатывается в статьях (Feng et al., 2022; Li, Teng et al., 2021; Shi et al., 2021; Khan et al., 2020; Feng et al., 2020; Chang et al., 2019; Li, Liu et al., 2019; Tavakoli & Taleizadeh, 2017; Li, Chan et al., 2018).

Анализ обнаружил модели совместного ценообразования поставщика/производителя и розничного продавца (Choudhury et al., 2021; Otrodi et al., 2019; Mohammadi et al., 2019). В данном случае могут рассматриваться двухуровневые торговые кредиты, совместная оптимизация процессов при инвестировании в технологии сохранения запаса и проч.

В отдельную группу выделяются модели, учитывающие инфляцию, временную стоимость денег и ожидаемое повышение цен (9%). Включение данных параметров может оптимизировать модель с точки зрения финансовых вложений на приобретение запаса, целевой функцией здесь является снижение общей стоимости запасов и затрат на их хранение.

Инфляционный эффект рассматривается в моделях, допускающих задержку платежа и предоставление торговых кредитов (Udayakumar et al., 2021; Chakraborty et al., 2018; Mahata et al., 2019; Tiwari et al., 2016). В данном случае поставщику важно понимать, как изменится стоимость отгруженного товара, когда оплата за него будет отсрочена во времени. Кроме того, модели анализируют противоположную ситуацию и допускают полный или частичный дефицит (Barman et al., 2021; Udayakumar et al., 2021; Chakraborty et al., 2018; Sundararajan et al., 2019; Paul et al., 2019; Tiwari et al., 2016).

## **Кредитование и дифференцированные методы оплаты**

К оптимизации модели EOQ с допущением различных форм оплаты обращается множество авторов — 32% публикаций.

Кредитование предполагает, что поставщик может предоставить клиенту оговоренный период времени для погашения задолженности по расходам на приобретение запаса. В классической схеме клиент осуществляет

оплату заказа сразу, однако в ситуации, когда поставщик готов допустить задержку платежа, он ожидает, что сможет продать больший объем продукции на протяжении периода погашения. Для покупателя это означает снижение издержек и мотивирует увеличение спроса. В зависимости от особенностей торгово-кредитных отношений в проанализированных источниках выделяется несколько видов моделей.

Значительная часть работ описывает каскадное использование торговой кредитной политики, когда поставщик кредитует дистрибьютора, а он в свою очередь кредитует розничного продавца. Такая схема известна как двухуровневый торговый кредит (Sepahri, 2021; Lin et al., 2021; Shi et al., 2021; Mahata et al., 2020; Otrodi et al., 2019; Tiwari et al., 2018; Zhu, 2018; Lashgari et al., 2016). Торговый кредит может предоставляться на весь объем заказа или на определенную часть (Taleizadeh et al., 2021; Sepahri, 2021; Mahata et al., 2020; Tiwari et al., 2018; Li, Liu et al., 2019; Li, Teng et al., 2019; Pramanik et al., 2019; Diabat et al., 2017; Mahata & De, 2017; Wu et al., 2016).

Широко используемой становится схема оплаты аванс — наличные — кредит (ACC), которая представляет собой комбинацию авансовых, денежных и кредитных платежей (Feng et al., 2022; Li, Teng et al., 2021; Shi et al., 2021; Li, Yang et al., 2021; Chang et al., 2019; Li, Liu et al., 2019).

Обратная ситуация, когда розничный продавец требует от клиента предварительной полной или частичной оплаты расходов на приобретение запаса, рассматривается в моделях авансовых платежей и предоплаты (Ghosh et al., 2021; Khan et al., 2020; Feng et al., 2020; Khakzad & Gholamian, 2020; Shi et al., 2020; Al-Amin et al., 2020; Chan & Hsu, 2018; Tavakoli & Taleizadeh, 2017; Li, Chan et al., 2017; Diabat et al., 2017).

Расчет торгового кредита основан на анализе дисконтированных денежных потоков, который также учитывает временную стоимость денег. Поэтому некоторые авторы при оценке модели учитывают инфляционное воздействие (Udayakumar et al., 2021; Chakraborty et al., 2018; Mahata et al., 2019; Tiwari et al., 2016).

Иная категория моделей предполагает, что заем может быть получен в кредитной организации. В таком случае в модель включается необходимость выплаты процентов (Sayal et al., 2021; Pramanik et al., 2019).

Наиболее распространены модели, сочетающие политику кредитования и ценообразования (встречается в 37% работ посвященных кредитной политике) (п. 4.2), дефицит и задержку поставок (33%), емкость складских площадей (20%).

В моделях данной группы могут рассматриваться одно- или двухуровневые системы, когда запаса розничного продавца недостаточно для удовлетворения спроса покупателя в связи с порчей его части или запаздыванием нового заказа. В таком случае дефицит удовлетворяется в рамках кредитного периода (Jani et al., 2021; Udayakumar et al., 2021; Kumar, Kumar,

2020; Gupta et al., 2020; Cárdenas-Barrón et al., 2020; Mahata et al., 2020; Chan & Hsu, 2018; Chakraborty et al., 2018; Tiwari et al., 2018; Li, Liu et al., 2019; Mohanty et al., 2018; Zhu, 2018; Tavakoli & Taleizadeh, 2017; Sharma, 2016; Lashgari et al., 2016; Tiwari et al., 2016).

Кредитование в условиях ограниченных складских площадей рассматривается в работах (Khan et al., 2020; Cárdenas-Barrón et al., 2020). Вопросы задержек поставки в условиях двух складов проанализировано (Yang, 2021; Kumar, Kumar, 2020; Gupta et al., 2020; Al-Amin et al., 2020; Chakraborty et al., 2018; Jaggi et al., 2017; Tiwari et al., 2016; Shabani et al., 2016).

### **Модели, включающие дефицит и потерянные продажи**

В 22% работ модели допускают полный или частичный дефицит. В ряде моделей рассматриваются ситуации, когда дефицит приводит к отсроченным продажам, иначе говоря, клиент готов дождаться новой поставки. В других дефицит становится причиной потерянных продаж. Тем не менее полный или частичный дефицит влияет на сроки выполнения заказа и удовлетворения клиентского спроса. Варианты формирования партии поставки с отставанием пополнения запаса в одном из периодов рассматриваются (Jani et al., 2021; Kurade, Latpate, 2021; Patriarca et al., 2021; Gupta et al., 2020; Cárdenas-Barrón et al., 2020; Kumar, 2019; Chakraborty et al., 2018; Sundararajan et al., 2019; Mishra, 2016; Lashgari et al., 2016). Возможность дозаказа недостающего объема предлагают (Li, Liu et al., 2019; Zhang et al., 2016).

Дефицит в большей степени встречается в моделях, предполагающих кредитование (49% работ с дефицитом), ценообразование (17%) и временную стоимость денег (14%).

Особое место занимают многоэлементные модели. Модификации для многопродуктовых поставок в условиях дефицита представлены работами (Barman et al., 2021; Mirkhorsandi & Pasandideh, 2020; Pattnaik & Gahan, 2018). Поставки, учитывающие наличие двух складов, анализируются (Kumar, Kumar, 2020; Gupta et al., 2020; Chakraborty et al., 2018; Tiwari et al., 2016).

Kuppulakshmi et al. (2021) рассматривают формирование оптимальной партии поставки в условиях локдауна на рынке рыбной продукции, где одним из главных критериев выступает уровень неудовлетворенного спроса и объем возвратов. При определении стоимости владения запасом авторы включают размер штрафов за невыполненный заказ.

### **Модели, включающие производственный аспект**

Оптимизация партии заказа может рассматриваться в контексте производственных предприятий. Авторы включают особенности ценообразования и возможность обращения к кредитованию (Choudhury et al.,

2021; Saren et al., 2020; Chang et al., 2019). Ряд авторов обращаются к двум (Mawandiya et al., 2020; Avinadav, 2020; Ullah et al., 2019) и трехэшелонным цепочкам поставок (Chang et al., 2019). Потерянные продажи и дефицит с точки зрения производителя рассматривают (Mirkhorsandi & Pasandideh, 2020; Rout et al., 2019; Sayal et al., 2018). Vahdani et al. (2021) и Mawandiya et al. (2020) анализируют ситуации перепроизводства и наличия излишков на складах.

Hanukov et al. (2021) анализирует возможность предварительного производства продукта при спросе, зависящем от запасов. Моделирование реализуется с помощью системы очередей, сокращающей время ожидания заказа для клиентов и наращивающей спрос.

### **Устойчивые и экологичные модели**

Одним из новых направлений является создание экологических и устойчивых моделей. Потребность в создании «зеленых» цепочек поставок продиктована, с одной стороны, возрастающими ограничениями по уровню вредных выбросов при транспортировке и производстве и налоговыми отчислениями. С другой стороны, уровень потерь скоропортящегося запаса напрямую влияет на суммарные затраты на его создание за счет затрат на утилизацию и восполнение потерь.

Основные направления разработки основаны на эффективной маршрутизации запасов с минимальными углеродными выбросами (Liu & Lin, 2020; Shamayleh et al., 2019; Liu & Lin, 2018; Rahimi et al., 2017).

Модель оптимизируется и в контексте производственных предприятий. Sepehri et al. (2021) и Karmakar et al. (2017) учитывают эффект использования технологий сохранения продукта и консервации. Karmakar et al. (2017) была получена функциональная связь между уровнем загрязнения окружающей среды и темпами производства. Iqbal & Sarkar (2019) разрабатывают системы прямой и обратной цепочки поставок. Choudhury et al. (2021) формулируют интегрированную модель, учитывающую количественные потери в результате промышленного загрязнения.

Вопросы устойчивости рассматриваются в работах (Sepehri et al., 2021; Sepehri, 2021; Shi et al., 2020; Shamayleh et al., 2019; Xiao et al., 2018; Galal & El-Kilany, 2016; Sepehri & Sazvar, 2016). Данные модификации призваны обеспечить принятие оптимального и наиболее эффективного решения и характеризуются нахождением баланса между финансовыми, экологическими и социальными критериями.

### **Многоэлементные и многоуровневые модели**

Многоэлементные модели являются расширенной на несколько периодов, видов продукции и т.д. вариацией моделей для одного элемента (23% публикаций).

Многопродуктовые модели предполагают поставку нескольких видов наименований продукта в рамках одного заказа. Наиболее часто данный вид встречается совместно с вопросами ценообразования (Barman et al., 2021; Maiti, 2020; Taleizadeh & Rasuli-Baghban, 2018; Pattnaik & Gahan, 2018; Chen & Bell, 2017) и производства (Mirkhorsandi & Pasandideh, 2020; Iqbal & Sarkar, 2019; Acevedo-Ojeda et al., 2020). Ali et al. (2021) рассматривают сложность формирования многопродуктовой цепочки поставок в трех-эшелонных сценариях, в рамках нескольких локаций и неопределенного спроса. Herbon (2017) анализирует ситуации с наличием нескольких партий запаса с различным остаточным сроком хранения. Chen & Bell (2017) предлагают модель с вариативным продуктом, параметры которой будут изменяться в зависимости от возможных предложений предприятия и гибкости клиента.

Модели, предполагающие использование нескольких складов, базируются на моделях, использующих только собственный склад, и рассматривают вероятность привлечения арендованных площадей в связи с ограниченной мощностью первого. В данном случае могут рассматриваться проблемы повышения затрат на транспортировку в связи с удалением арендованного склада, увеличения времени поставки, маршрутизацию и проч. Наиболее часто многоскладские модели сочетаются с вопросами ценообразования и предоставления скидки (Yang, 2021; Saxena et al., 2020; Jaggi et al., 2017), кредитования (Yang, 2021; Kumar, Kumar, 2020; Gupta et al., 2020; Al-Amin et al., 2020; Chakraborty et al., 2018; Jaggi et al., 2017; Tiwari et al., 2016; Shabani et al., 2016) и инфляцией (Chakraborty et al., 2018; Palanivel & Uthayakumar, 2016; Tiwari et al., 2016). Модели, учитывающие допустимость дефицита, рассмотрены выше.

В данную группу включены многоэшелонные или многоуровневые модели цепочек поставок, которые включают не только владельца запаса, но и контрагентов, оказывающих влияние на процесс поставки и распределения скоропортящегося запаса. В обзоре представлены двухуровневые модели управления запасом для поставщика и розничного ритейлера (Sepehri, 2021; Chernonog, 2020; Galal & El-Kilany, 2016; Zhu, 2018), для производителя и дистрибьютора (Mawandiya et al., 2020; Avinadav, 2020; Ullah et al., 2019). Трехуровневые модели рассмотрены для цепочки поставщик — производитель — розничный продавец в работах (Li, Teng et al., 2021; Ali et al., 2021; Sebatjane & Adetunji, 2020; Chang et al., 2019; Li, Teng et al., 2019; Tiwari et al., 2018).

Как отдельная категория рассматриваются многопериодные модели, которые определяют оптимальную партию поставки и транслируют ее изменение в зависимости от иных параметров на более длинный горизонт планирования, включающий более одной поставки (Çalışkan, 2021a; As'ad et al., 2021; Nguyen & Chen, 2022; Çalışkan, 2021b; Khakzad & Gholamian, 2020; Tripathi, 2020; Mahata et al., 2019; Zhu, 2018).

## **Модели, учитывающие инвестирование**

В процессе развития предприятие может инвестировать средства в новое оборудование, расширение складских площадей и проч. В рамках оптимизации модели ЕОQ исследователи учитывают влияние инвестиций. Среди проанализированных публикаций выделено два основных направления: инвестиции в рекламу и продвижение продукта, а также инвестиции в технологии сохранения скоропортящегося продукта и консервации.

Инвестирование в рекламу позволяет поставщику управлять спросом и оказывать влияние на цены и политику пополнения запаса контрагента (Khan et al., 2020; Dye, 2020; Chernonog, 2020; Pattnaik & Gahan, 2018; Shah & Vaghela, 2017; Avinadav et al., 2017; Gahan & Pattnaik, 2017).

Иной вид инвестиций в технологии сохранения продукта позволяет оказывать влияние на срок жизни запаса, продлевая его и сокращая долю запаса, подвергнувшегося порче. Для данных моделей целевой функцией становится максимизация общей прибыли за единицу времени (Barman et al., 2021; Jani et al., 2021; Macías-López et al., 2021; Ullah et al., 2019; Kumar, 2019; Mohammadi et al., 2019; Mohanty et al., 2018; Karmakar et al., 2017; Tsao, 2016).

## **Модели возвратной логистики и утилизации**

Вопросам утилизации испорченного запаса и методам снижения отходов уделяется значительное внимание. Vahdani et al. (2021) и Pourmohammad-Zia & Karimi (2020) оценивают риски перепроизводства и порчи излишков на складах и в модель управления запасом включены затраты на его утилизацию. Díaz et al. (2020) рассматривают утилизацию непригодного к использованию запаса, возникшего вследствие линейно уменьшающейся вероятности покупки в течение жизненного цикла продукта. Mohammadi et al. (2019) и Muriana (2017) исследуют методы сокращения уровня возникновения отходов. Некоторые модели могут предполагать возврат невостребованного запаса, подверженного моральному или физическому устареванию (Kuppulakshmi et al., 2021; Mawandiya et al., 2020; Liu & Lin, 2020; Iqbal & Sarkar, 2019).

Krommyda et al. (2020) и Mallidis et al. (2020) рассматривают ситуацию, когда ритейлер может прибегнуть не только к уценке запаса со сроком годности, приближающимся к окончанию, но и к пожертвованиям, что приносит компании прямой доход в виде повышения репутации и налоговых вычетов. Целью данных моделей является определение интервала повторного заказа, момента уценки первоначальной цены продажи продукта и объема пожертвования или продажи по уцененной стоимости для максимизации прибыли.

## **Централизованный и децентрализованный обмен информацией**

Обмен информацией в рамках цепочек поставок скоропортящейся продукции оказывает влияние на скорость принятия решений, от чего зависит эффективность реализации запаса до момента истечения его срока годности. Во всех моделях в данной группе исследуется совместная ключевая тема ценообразования и предоставления скидки на продукт.

За исследуемый период больше внимания было уделено централизованным цепочкам поставок, нежели децентрализованным без обмена информацией (Maiti, 2020; Singh et al., 2017; Sepehri & Szavvar, 2016).

В остальных работах рассматриваются два сценария, в которых анализируются преимущества и недостатки как для централизованной, так и децентрализованной структуры (Pourmohammad-Zia et al., 2021; He et al., 2020). Mohammadi et al. (2019) рассматривают три сценария, включая подход с совместным управлением.

## **Модели, учитывающие транспортные проблемы**

Вопросы, касающиеся транспортных проблем, могут затрагивать маршрутизацию; скорость и время поставки, зависящие от местоположения элементов цепи; распределение запаса и сбои, возникающие в процессе транспортировки. При анализе было определено два ключевых направления модификаций модели оптимальной партии заказа — маршрутизация и изменение стоимости доставки.

Вопросы маршрутизации зачастую учитывают экологический аспект и уровень выбросов в атмосферу. Liu & Lin (2020) рассматривают возможность формирования онлайн-системы распределения запасов с одновременными поставками и возвратами. Shamaileh et al. (2019) определяют устойчивые методы распределения запаса, чувствительного к изменению температуры. Rahimi et al. (2017) включают в модель уровень удовлетворенности клиента. Taleizadeh и Rasuli-Baghdan (2018) предлагают модель групповой маршрутизации для нескольких видов запаса. Продолжая тему многоэлементных моделей, Palak et al. (2018) предложили многоэтапную модель для нескольких видов транспорта.

Вопросы изменения стоимости доставки рассмотрены Nestorenko et al. (2020). Авторы разрабатывают четыре вида модели в соответствии с изменением стоимости на различных этапах.

## **Модели, учитывающие сбои и поломки оборудования**

Для скоропортящегося запаса время реализации процессов является одним из ключевых показателей, при нарушении которого вероятность порчи запаса до момента его продажи или потребления в производстве

значительно возрастает. Модели, которые учитывают вероятность сбоя, случайной поломки оборудования со стохастическим временем ремонта, представлены в работах (Poursoltan et al., 2020; Luong & Karim, 2017; Hidayat et al., 2016). Suryawanshi & Dutta (2021) формируют модель, включающую стратегии упреждающего планирования для минимизации воздействия сбоев и концепцию дополнительных количественных скидок на размеры заказа.

### **Модели, включающие другие темы**

В категорию «Иные» были включены работы, где рассматриваются темы, не выделенные в отдельную группу. В данном разделе рассмотрены модели, предполагающие совместное управление запасом и доходами со стороны производителя и дистрибьютора (Choudhury et al., 2021; Huang et al., 2019; Otrodi et al., 2019; Mohammadi et al., 2019). Paknejad et al. (2019) и Alamri et al. (2016) разрабатывают модели, предполагающие проверку качества поступившего запаса со стороны покупателя, когда товары соответствующего качества принимаются для использования на последующем этапе, а иные отклоняются. Zeng et al. (2019) проводят анализ тенденций потребительского спроса и предполагают гибкость во времени переупорядочивания запаса. Yang et al. (2019) оценивают эффект несовместимости хранения некоторых видов товаров вместе, что приводит к сокращению срока полезного использования. Hanukov формулирует модели клиентских очередей на пополнение запаса, когда скоропортящийся товар произведен до момента поступления заказа (Hanukov et al., 2020; Hanukov et al., 2021; Hanukov et al., 2019).

### **Выводы**

В статье проведен анализ модификаций модели ЕОQ для скоропортящихся запасов за 2016–2021 гг., представлен обзор 160 публикаций.

Увеличение объема научных публикаций по теме показывает ее актуальность и заинтересованность исследователей в ее развитии. За выбранный период выявлены новые направления исследований и современные тенденции. Публикации классифицированы по двум критериям: по типу спроса и виду скоропортящегося запаса и по ключевой теме модификации.

В ряде исследований факторы зависимости спроса определяются только для детерминированного спроса. Однако в большинстве моделей данные факторы применяются и к стохастическому. Исходя из этого в работе рассматриваются подкатегории для обеих групп. Таким образом, были определены новые типы зависимости как инвестиции в технологии сохранения запаса, экологичность поставок и уровень выброса вредных веществ.

Большая часть оптимизационных решений разработана для моделей с детерминированным спросом и фиксированным периодом жизни запаса. Однако все больше внимания уделяется более сложным стохастическим моделям с многофакторным спросом, поскольку они более точно позволяют формулировать надежные решения.

В предыдущих обзорах исследователи акцентировали внимание на отсутствии и недостаточности моделей с нелинейным сроком порчи запаса. В данном обзоре найдены работы, которые опираются на нестандартные функции, описывающие изменяющееся во времени ухудшение качества запаса (функции, учитывающие временной лаг начала порчи; функции распределения Вейбулла и др.).

В зависимости от экономической ситуации изменяется набор ключевых тем и ограничений. Данный обзор выявил тенденцию к их усложнению и многофакторности. С одной стороны, это отражается в переходе от одноэлементных к многоэлементным и многопериодным моделям. С другой стороны, это проявляется в мультипликативном сочетании ограничений, которые позволяют максимально приблизить ее к действительности. В предыдущих обзорах рассматривались модели, сочетающие в среднем две ключевые темы, в данном обзоре могут учитываться три-четыре критерия. Большая часть исследователей обращается к интеграции ценообразования, скидок, торговых кредитов, а также полного или частичного дефицита в одном или нескольких периодах.

Одной из новых ключевых тем, получившей развитие, является формирование экологически безопасных моделей. «Зеленые» технологии становятся востребованными на рынке и в контексте скоропортящегося запаса, необходимости сокращения отходов, приобретают особое значение. Данное направление исследуется в рамках нескольких категорий. Во-первых, снижение углеродного следа при осуществлении поставок и уровня выбросов на производстве. Во-вторых, инвестиции в технологии сохранения запаса, которые призваны сократить скорость порчи и снизить объемы отходов, требующих утилизации. Совместно с тенденцией экологизации формируются устойчивые модели, предполагающие изменение принципа формирования цепочки поставок в рамках новой парадигмы.

Появляются публикации, которые затрагивают вопросы возвратной логистики, включающей затраты на утилизацию, восстановление (если это возможно), а также штрафы, вызванные локдауном. Поскольку направление является новым и актуальным, следует ожидать его дальнейшего развития.

Обзор иллюстрирует динамику направлений развития в области оптимизации моделей управления скоропортящимся запасом. Данная работа призвана облегчить исследователям поиск необходимых моделей управления скоропортящимся запасом, поскольку авторами подробно разобраны ключевые темы и их представленность в научных журналах и публикациях.

Авторы ожидают, что статья позволит стимулировать развитие исследований модификаций модели ЕОQ в направлениях, слабо представленных в текущем времени, но имеющим особый интерес и актуальность.

### Список литературы

Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European journal of Operational research*, 196 (1), 1–20.

Akkerman, R., Farahani, P., & Grunow, M. (2010). Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. *OR spectrum*, 32 (4), 863–904.

Alfares, H. K., Ghaithan, A. M. (2019). EOQ and EPQ Production-Inventory Models with Variable Holding Cost: State-of-the-Art Review. *Arabian Journal for Science And Engineering*, 44 (3), 1737–1755.

Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C., & Almada-Lobo, B. (2013). Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25 (3), 389–413.

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.

Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217 (1), 1–16.

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* 15 (3), 306–346.

Ghare, P. M. (1963). A model for an exponentially decaying inventory. *J. ind. Engng*, 14, 238–243.

Glock, C. H., Grosse, E. H. (2021). The impact of controllable production rates on the performance of inventory systems: A systematic review of the literature. *European Journal of Operational Research* 288 (3), 703–720.

Goyal, S. K., & Giri, B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of operational research*, 134 (1), 1–16.

Janssen, L., Claus, T., Sauer, J. (2016). Literature review of deteriorating inventory models by key topics from 2012 to 2015. *International Journal of Production Economics*, 182, 86–112.

Karaesmen, I. Z., Scheller-Wolf, A., & Deniz, B. (2011). Managing perishable and aging inventories: review and future research directions. *Planning production and inventories in the extended enterprise*, 393–436.

Li, R., Lan, H., & Mawhinney, J. R. (2010). A review on deteriorating inventory study. *Journal of Service Science and Management*, 3 (01), 117.

Lowalekar, H., & Ravichandran, N. (2014). Blood bank inventory management in India. *Opsearch*, 51(3), 376–399.

Nahmias, S. (2011). *Perishable inventory systems*. Springer Science & Business Media, 160.

Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations research*, 30 (4), 680–708.

Pahl, J., Woodruff, D. L., & Voss, S. (2007). Production Planning and Deterioration Constraints: A Survey. *The Development of Collaborative Production and Service Systems*

in *Emergent Economies*. Proceedings of the 19th International Conference on Production Research, 6.

Prastacos, G. P. (1984). Blood inventory management: an overview of theory and practice. *Management science*, 30 (7), 777–800.

Pierskalla, W. P. (2005). Supply chain management of blood banks. *Operations research and health care*, 103–145.

Raafat, F. (1991). Survey of literature on continuously deteriorating inventory models. *Journal of the Operational Research society*, 42 (1), 27–37.

Stanger, S. H., Yates, N., Wilding, R., & Cotton, S. (2012). Blood inventory management: hospital best practice. *Transfusion medicine reviews*, 26 (2), 153–163.

Silver, E. A. (1981). Operations research in inventory management: A review and critique. *Operations Research*, 29 (4), 628–645.

Wang, K. (2013). The research of inventory management modes based on supply chain management. *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012) Proceedings*, 1319–1329.

Whitin, T. M. (1957). *Theory of inventory management*. Princeton University Press.

## Приложение

Таблица П1

### Обзор количества публикаций по журналам в соответствии с основными ключевыми словами

Journal	Perish	Deteriorate	Shelf life	Decay	Waste	Spoil
International Journal of Production Economics	9	5	2	-	3	-
Computers Industrial Engineering	8	1	2	2	5	-
Annals of Operations Research	8	2	1	2	2	-
European Journal of Operational Research	9	1	2	-	-	1
Journal of Cleaner Production	-	2	1	-	10	-
Mathematics	3	3	-	1	2	1
Applied Mathematical Modelling	2	1	-	1	4	-
Rairo Operations Research	2	1	1	1	2	-
International Journal of Systems Science Operations Logistics	2	2	1	-	1	-
Journal of The Operational Research Society	3	1	1	-	-	-
Mathematical Problems in Engineering	2	2	1	-	-	-
International Journal of Production Research	3	-	1	-	1	-
Journal of Management Analytics	2	2	-	-	-	-
Journal of Industrial and Management Optimization	1	3	-	-	-	-
Scientia Iranica	1	1	-	1	1	-
Opsearch	-	3	-	-	1	-
International Journal of Management Science and Engineering Management	2	1	-	-	-	-
Journal of Advances in Management Research	2	-	1	-	-	-
Aip Conference Proceedings	1	1	1	-	-	-
Operational Research	-	-	-	1	2	-
International Transactions in Operational Research	2	-	-	-	-	-

Journal	Perish	Deteriorate	Shelf life	Decay	Waste	Spoil
Journal of Industrial and Production Engineering	2	-	-	-	-	-
Operations Research Perspectives	2	-	-	-	-	-
2–17 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications Iciea	1	-	1	-	-	-
2–19 5th International Conference on Industrial and Business Engineering Icibe	1	1	-	-	-	-
Advances in Intelligent Systems and Computing	1	-	-	1	-	-
Green Process Material and Energy A Sustainable Solution for Climate Change	1	-	1	-	-	-
International Journal of Environmental Research and Public Health	1	-	1	-	-	-
International Journal of Industrial Engineering Computations	1	1	-	-	-	-
International Journal of Logistics Research And Applications	1	-	1	-	-	-
Operations Research and Decisions	1	1	-	-	-	-
Production Engineering Research and Development	1	1	-	-	-	-
Symmetry Basel	1	1	-	-	-	-
Inventions	-	1	-	1	-	-
Advances and Applications in Mathematical Sciences	-	-	-	2	-	-
Arabian Journal for Science and Engineering	1	-	-	-	1	-
International Journal of System Assurance Engineering and Management	1	-	-	-	-	1
Waste Management	-	-	1	-	1	-
Logforum	-	-	-	-	2	-
Other	25	9	2	3	2	2

Источник: составлено авторами.

**Релевантные исследовательские статьи,  
опубликованные за период 2016–2021 гг.**

<b>Journal</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>Total</b>
International Journal of Production Economics	2	4	1	1	5	0	13
Annals of Operations Research	0	3	1	1	4	3	12
Computers Industrial Engineering	1	2	3	2	3	0	11
European Journal of Operational Research	2	1	0	3	1	2	9
Journal Of Cleaner Production	0	1	0	2	1	1	5
Applied Mathematical Modelling	1	2	0	0	0	1	4
Mathematics	0	0	0	1	1	2	4
Journal of Management Analytics	0	0	0	1	2	1	4
Journal of The Operational Research Society	1	0	0	1	1	1	4
Opsearch	1	1	0	2	0	0	4
Rairo Operations Research	0	0	0	2	1	0	3
International Journal of Systems Science Operations Logistics	0	0	0	0	1	2	3
International Journal of Production Research	2	0	0	0	1	0	3
Journal of Industrial and Management Optimization	1	0	0	2	0	0	3
Scientia Iranica	1	0	1	0	1	0	3
Mathematical Problems in Engineering	1	1	0	0	0	1	3
Operational Research	0	0	0	0	2	1	3
International Journal of Management Science and Engineering Management	0	1	1	1	0	0	3
International Journal of System Assurance Engineering and Management	1	0	0	0	0	1	2

Окончание табл. П2

<b>Journal</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>Total</b>
Journal of Advances in Management Research	0	0	1	0	0	1	2
Journal of Industrial and Production Engineering	1	0	0	0	0	1	2
Advances and Applications in Mathematical Sciences	0	0	0	0	2	0	2
Operations Research Perspectives	0	0	0	0	2	0	2
Arabian Journal for Science and Engineering	0	0	0	1	1	0	2
International Transactions in Operational Research	0	1	0	0	1	0	2
Symmetry Basel	0	0	0	1	1	0	2
Advances in Intelligent Systems and Computing	0	0	1	1	0	0	2
Logforum	0	1	1	0	0	0	2
Aip Conference Proceedings	0	2	0	0	0	0	2
Others	5	6	7	9	4	13	44
Total	20	26	17	32	35	31	160

Источник: составлено авторами.

**Классификация моделей управления скоропортящимся запасом  
в зависимости от типа спроса и срока хранения — источники**

№ в классификационной таблице	Авторы модели
1.1	<p>Acevedo-Ojeda et al. (2020), Afshar-Nadjafi et al. (2016), Agi &amp; Soni (2020), Alamri et al. (2016), Amran &amp; Fatima (2017), As' ad et al. (2021), Avinadav (2020), Avinadav et al. (2017), Barman et al. (2021), Bounkhel et al. (2019), Çalışkan (2020), Çalışkan (2021), Çalışkan (2021), Cardenas-Barron et al. (2018), Chakraborty et al. (2018), Chan &amp; Hsu (2018), Chang et al. (2019), Chen (2017), Chen et al. (2016), Chernonog (2020), Choudhury et al. (2021), Demirag et al. (2017), Dewi et al. (2019), Diabat et al. (2017), Diaz et al. (2020), Dobson et al. (2017), Dye (2020), Feng et al. (2022), Feng et al. (2017), Feng et al. (2020), Ghosh et al. (2021), Gupta et al. (2020), Hanukov et al. (2019), Hanukov et al. (2021), He et al. (2020), Herbon (2016), Herbon (2017), Hidayat et al. (2016), Huang (2019), Jaggi et al. (2017), Kamaruzaman &amp; Omar (2020), Karmakar et al. (2017), Kaur &amp; Panda (2019), Kaur &amp; Kumar (2018), Khakzad &amp; Gholamian (2020), Khan et al. (2020), Khanam &amp; Ali (2019), Krommyda et al. (2020), Kumar, Kumar (2020), Kumar (2019), Kumar (2019), Lashgari et al. (2016), Li, Teng et al. (2021), Li, Chan et al. (2017), Li, Liu et al. (2019), Li, Teng et al. (2019), Li, Yang et al. (2021), Lin et al. (2021), Liu &amp; Lin (2019), Liu &amp; Lin (2020), Lu et al. (2016), Luong &amp; Karim (2017), Macías-López et al. (2021), Mahata &amp; De (2017), Mahata et al. (2019), Mahata et al. (2020), Mallidis et al. (2020), Marchi et al. (2020), Mirkhorsandi &amp; Pasandideh (2020), Mishra (2016), Mohammadi et al. (2019), Mohammadi et al. (2019), Mondal et al. (2021), Muriana (2017), Nestorenko et al. (2020), Nobil et al. (2019), Önal et al. (2016), Önal et al. (2020), Otrodi et al. (2019), Paknejad et al. (2018), Palak et al. (2018), Palanivel &amp; Uthayakumar (2016), Pando et al. (2018), Pattnaik &amp; Gahan (2018), Pourmohammad-Zia &amp; Karimi (2020), Pourmohammad-Zia et al. (2021), Pramanik et al. (2019), Rabta (2017), Rahimi et al. (2017), Rani et al. (2019), Saxena et al. (2020), Sayal et al. (2018), Sayal et al. (2019), Sebatjane &amp; Adetunji (2020), Sepehri (2021), Sepehri et al. (2021), Shah &amp; Vaghela (2017), Sharma (2016), Shi et al. (2020), Shi et al. (2021), Singh et al. (2017), Siriruk &amp; Dungkhokruad (2017), Taleizadeh &amp; Rasuli-Baghban (2018), Taleizadeh et al. (2021), Tavakoli &amp; Taleizadeh (2017), Tiwari et al. (2016), Tiwari et al. (2018), Tripathi (2020), Tsao (2016), Tsao et al. (2021), Tuan et al. (2017), Udayakumar et al. (2021), Ullah et al. (2019), Vahdani et al. (2021), Wu et al. (2016), Wu et al. (2017), Xiao et al. (2018), Yang (2021), Yang et al. (2019), Zhang et al. (2016), Zhu (2018)</p>
1.2	<p>Cárdenas-Barrón et al. (2020), Chen &amp; Bell (2017), Galal &amp; El-Kilany (2016), Hanukov et al. (2020), He et al. (2018), Hidayat et al. (2016), Huang et al. (2019), Jani et al. (2021), Karimi et al. (2019), Kumar, Kumar (2020), Kuppulakshmi et al. (2021), Kurade, Latpate (2021), Maiti (2020), Mawandiya et al. (2020), Mirkhorsandi &amp; Pasandideh (2020), Mohanty et al. (2018), Mondal et al. (2021), Muriana (2016), Paknejad et al. (2019), Patriarca et al. (2021), Paul et al. (2019), Rabta (2017), Rajendran &amp; Ravindran (2017), Saren et al. (2020), Sayal et al. (2019), Sayal et al. (2021), Shah et al. (2021), Shamayleh et al. (2019), Suryawanshi &amp; Dutta (2021), Wu et al. (2018), Zeng et al. (2019), Zhang et al. (2019)</p>

№ в классификационной таблице	Авторы модели
2.1	Acevedo-Ojeda et al. (2020), Al-Amin et al. (2020), Ali et al. (2021), Iqbal & Sarkar (2019), Lin et al. (2021), Mondal et al. (2021), O'Neill & Sanni (2018), Rabta (2017), Rout et al. (2019), Sundararajan et al. (2019), Taleizadeh & Rasuli-Baghban (2018)
2.2	Ali et al. (2021), Gahan & Pattnaik (2017), Hsiao et al. (2017), Kazemi et al. (2016), Li, Liu et al. (2019), Mondal et al. (2021), Nguyen & Chen (2022), Poursoltan et al. (2020), Rabta (2017), Rout et al. (2019), Sepehri & Sazvar (2016), Shabani et al. (2016), Sundararajan et al. (2019)

*Источник:* составлено авторами.

**Классификация моделей управления скоропортящимся запасом  
в зависимости от функции распределения спроса — источники**

№ в классификационной табл.	Авторы модели
1	Acevedo-Ojeda et al. (2020), Alamri et al. (2016), Amran & Fatima (2017), As' ad et al. (2021), Çalışkan (2020), Çalışkan (2021a), Çalışkan (2021b), Cardenas-Barron et al. (2018), Chen (2017), Dewi et al. (2019), Diabat et al. (2017), Ghosh et al. (2021), Hanukov et al. (2019), Hidayat et al. (2016), Huang et al. (2019), Iqbal & Sarkar (2019), Karmakar et al. (2017), Kaur & Panday (2019), Khakzad & Gholamian (2020), Khanam & Ali (2019), Kumar, Kumar (2020), Lashgari et al. (2016), Lin et al. (2021), Liu & Lin (2019), Liu & Lin (2020), Luong & Karim (2017), Mahata & De (2017), Marchi et al. (2020), Mondal et al. (2021), Muriana (2017), Nobil et al. (2019), Paknejad et al. (2019), Palanivel & Uthayakumar (2016), Patriarca et al. (2021), Pattnaik & Gahan (2018), Pourmohammad-Zia & Karimi (2020), Pourmohammad-Zia et al. (2021), Poursoltan et al. (2020), Pramanik et al. (2019), Rahimi et al. (2017), Sepehri (2021), Shi et al. (2020), Tavakoli & Taleizadeh (2017), Tiwari et al. (2016), Tsao (2016), Tuan et al. (2017), Ullah et al. (2019), Vahdani et al. (2021), Wu et al. (2016), Yang et al. (2019), Zhang et al. (2016), Zhu (2018)
2	Agi & Soni (2020), Bounkhel et al. (2019), Cárdenas-Barrón et al. (2020), Chakraborty et al. (2018), Chen et al. (2016), Dye (2020), Feng et al. (2017), Hanukov et al. (2021), He et al. (2018), Kamaruzaman & Omar (2020), Kaur & Kumar (2018), Kuppulakshmi et al. (2021), Lu et al. (2016), Macías-López et al. (2021), Maiti (2020), Mishra (2016), Önal et al. (2016), Paknejad et al. (2018), Palak et al. (2018), Pando et al. (2018), Singh et al. (2017), Tripathi (2020)
3	Afshar-Nadjafi et al. (2016), Ali et al. (2021), Cárdenas-Barrón et al. (2020), Herbon (2017), Karimi et al. (2019), Kazemi et al. (2016), Krommyda et al. (2020), Kumar (2019), Li, Liu et al. (2019), Li Liu et al. (2019), Mallidis et al. (2020), Mishra (2016), Mohanty et al. (2018), Nguyen & Chen (2022), Rout et al. (2019), Sayal et al. (2018), Sayal et al. (2019), Sayal et al. (2021), Sepehri et al. (2021), Sepehri & Sazvar (2016), Shabani et al. (2016), Shah et al. (2021), Shamayleh et al. (2019), Sharma (2016), Shi et al. (2021), Sundararajan et al. (2019), Suryawanshi & Dutta (2021), Wu et al. (2017), Wu et al. (2018), Zeng et al. (2019), Zhang et al. (2019)
4	Agi & Soni (2020), Al-Amin et al. (2020), Avinadav (2020), Avinadav et al. (2017), Barman et al. (2021), Chan & Hsu (2018), Chang et al. (2022), Chernonog (2020), Choudhury et al. (2021), Dye (2020), Feng et al. (2022), Feng et al. (2017), Feng et al. (2020), Herbon (2017), Huang (2019), Jaggi et al. (2017), Jani et al. (2021), Kamaruzaman & Omar (2020), Khan et al. (2020), Li, Teng et al. (2021), Li, Chan et al. (2017), Li, Teng et al. (2019), Li, Yang et al. (2021), Lu et al. (2016), Macías-López et al. (2021), Mahata et al. (2019), Mohammadi et al. (2019), Önal et al. (2016), O'Neill & Sanni (2018), Otrodi et al. (2019), Saren et al. (2020), Saxena et al. (2020), Sebatjane & Adetunji (2020), Sepehri et al. (2021), Sundararajan et al. (2019), Taleizadeh & Rasuli-Baghban (2018), Udayakumar et al. (2021), Xiao et al. (2018)

№ в классификационной табл.	Авторы модели
5	Agi & Soni (2020), Avinadav (2020), Avinadav et al. (2017), Chan & Hsu (2018), Chang et al. (2019), Chen et al. (2016), Choudhury et al. (2021), Demirag et al. (2017), Díaz et al. (2020), Dobson et al. (2017), Dye (2020), Feng et al. (2022), Feng et al. (2017), Galal & El-Kilany (2016), Gupta et al. (2020), Hanukov et al. (2020), He et al. (2020), Herbon (2016), Huang (2019), Kamaruzaman & Omar (2020), Krommyda et al. (2020), Kumar (2019), Li, Teng et al. (2021), Li, Chan et al. (2017), Li, Teng et al. (2019), Macías-López et al. (2021), Mawandiya et al. (2020), Mirkhorsandi & Pasandideh (2020), Mohammadi et al. (2019), Muriana (2016), Nestorenko et al. (2020), Önal et al. (2020), Saren et al. (2020), Sebatjane & Adetunji (2020), Siriruk & Dungkhookruad (2017), Sundararajan et al. (2019), Taleizadeh & Rasuli-Baghban (2018), Taleizadeh et al. (2021), Yang (2021)
6	Avinadav (2020), Avinadav et al. (2017), Chernonog (2020), Dye (2020), Feng et al. (2020), Kupplakshmi et al. (2021), Li, Teng et al. (2019), Li, Yang et al. (2021), Mahata et al. (2020), Mohammadi et al. (2019), Otrodi et al. (2019), Paul et al. (2019), Rani et al. (2019), Shah & Vaghela (2017), Tiwari et al. (2018), Tsao et al. (2021), Udayakumar et al. (2021), Xiao et al. (2018)

*Источник:* составлено авторами.

## Представленность ключевых тем в публикациях

Автор	Ключевая тема														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Feng et al. (2022)	+	+					+								
Li, Teng et al. (2021)	+	+						+							
Barman et al. (2021)	+		+				+		+						
Shah et al. (2021)					+										
Pourmohammad-Zia et al. (2021)	+												+		
Ali et al. (2021)								+	+						
Taleizadeh et al. (2021)		+													
Sepehri et al. (2021)					+	+									
Kuppulakshmi et al. (2021)	+			+						+					
Tsao et al. (2021)		+													
Choudhury et al. (2021)	+				+	+									+
Suryawanshi & Dutta (2021)	+													+	
Vahdani et al. (2021)				+		+				+					
Jani et al. (2021)		+	+				+								
Shi et al. (2021)	+	+													
Macías-López et al. (2021)	+			+			+								+
Yang (2021)	+	+		+											
Sepehri (2021)		+			+			+							
Ghosh et al. (2021)		+													
Lin et al. (2021)		+													
Li, Yang et al. (2021)		+													
Çalışkan (2021)											+				
Sayal et al. (2021)	+	+													
Khan et al. (2021)	+	+		+			+								
Mondal et al. (2021)		+													
As'ad et al. (2021)					+						+				
Mallidis et al. (2020)										+					
Kurade, Latpate (2021)			+												
Patriarca et al. (2021)			+												

Автор	Ключевая тема														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Çalışkan (2020)				+											
Hanukov et al. (2020)	+														+
He et al. (2020)	+												+		
Mawandiya et al. (2020)						+		+		+					
Mirkhorsandi & Pasandideh (2020)			+			+			+						
Nestorenko et al. (2020)	+												+		
Önal et al. (2020)	+								+						+
Saren et al. (2020)	+	+				+									
Feng et al. (2020)	+	+													
Udayakumar et al. (2021)	+	+	+												
Kumar, Kumar (2020)		+	+	+											
Poursoltan et al. (2020)						+									+
Saxena et al. (2020)	+			+											
Krommyda et al. (2020)	+									+					
Nguyen & Chen (2022)												+			
Çalışkan (2021)												+			
Avinadav (2020)						+		+							
Gupta et al. (2020)		+	+	+											
Pourmohammad-Zia & Karimi (2020)										+					
Dye (2020)	+							+							
Liu & Lin (2020)						+				+		+			
Hanukov et al. (2021)						+									+
Cardenas-Barron et al. (2018)															+
Khakzad & Gholamian (2020)		+										+			
Shi et al. (2020)		+				+									
Marchi et al. (2020)						+									
Tripathi (2020)	+			+								+			
Al-Amin et al. (2020)		+		+											
Agi & Soni (2020)	+														
Maiti (2020)	+			+					+					+	

Автор	Ключевая тема														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chernonog (2020)	+						+	+							
Cárdenas-Barrón et al. (2020)		+	+	+											
Kamaruzaman & Omar (2020)	+														
Mahata et al. (2020)		+	+												
Sebatjane & Adetunji (2020)	+							+							
Rani et al. (2019)					+										
Shamayleh et al. (2019)					+							+			
Liu & Lin (2019)					+							+			
Bounkhel et al. (2019)						+									
Ullah et al. (2019)						+	+	+							
Chan & Hsu (2018)		+	+												
Huang (2019)	+														
Huang et al. (2019)															+
Iqbal & Sarkar (2019)					+	+			+	+					
Kumar (2019)							+								
Kumar (2019)			+												
Otrodi et al. (2019)	+	+													
Paknejad et al. (2019)															+
Zeng et al. (2019)															+
Zhang et al. (2019)															+
Li, Liu et al. (2019)			+	+											+
He et al. (2018)		+													
Chakraborty et al. (2018)	+	+	+	+											
O'Neill & Sanni (2018)															+
Xiao et al. (2018)					+										
Tiwari et al. (2018)	+	+	+					+							
Taleizadeh & Rasuli-Baghban (2018)	+								+			+			
Díaz et al. (2020)										+					
Chang et al. (2020)	+	+				+		+							
Khanam & Ali (2019)		+	+												

Автор	Ключевая тема														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sayal et al. (2019)	+														
Mahata et al. (2019)	+	+									+				
Karimi et al. (2019)			+												
Li, Liu et al. (2019)	+	+	+												
Li, Teng et al. (2019)		+						+							
Rout et al. (2019)			+			+									
Sundararajan et al. (2019)	+		+												
Nobil et al. (2019)						+									
Yang et al. (2019)									+						+
Pramanik et al. (2019)	+	+													
Dewi et al. (2019)			+												
Kaur & Panday (2019)															+
Hanukov et al. (2019)															+
Acevedo-Ojeda et al. (2020)						+			+						
Paul et al. (2019)	+		+												
Mohammadi et al. (2019)	+				+		+			+			+		+
Wu et al. (2018)		+													
Mohanty et al. (2018)		+	+		+		+								
Pando et al. (2018)				+											
Kaur & Kumar (2018)		+													
Paknejad et al. (2018)				+											
Palak et al. (2018)												+			
Pattnaik & Gahan (2018)	+		+				+		+						
Sayal et al. (2018)			+			+									
Zhu (2018)		+	+					+			+				
Tavakoli & Taleizadeh (2017)	+	+	+												
Herbon (2017)									+						
Li, Chan et al. (2017)	+	+													
Wu et al. (2017)															+
Diabat et al. (2017)		+													
Muriana (2017)	+									+					

Автор	Ключевая тема														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rajendran & Ravindran (2017)															+
Chen & Bell (2017)	+								+						
Karmakar et al. (2017)					+	+	+								
Rabta (2017)															+
Luong & Karim (2017)														+	
Demirag et al. (2017)															+
Feng et al. (2017)	+														
Shah & Vaghela (2017)	+						+								
Dobson et al. (2017)			+												
Amran & Fatima (2017)				+											
Avinadav et al. (2017)	+						+								
Chen (2017)	+														
Gahan & Pattnaik (2017)	+						+								
Hsiao et al. (2017)	+														+
Jaggi et al. (2017)	+	+		+											
Mahata & De (2017)		+													
Rahimi et al. (2017)					+							+			
Singh et al. (2017)	+	+											+		
Siriruk & Dungkhoekruad (2017)															+
Tuan et al. (2017)			+												
Mishra (2016)			+												
Muriana (2016)			+												
Önal et al. (2016)	+			+											
Alamri et al. (2016)															+
Afshar-Nadjafi et al. (2016)	+														
Galal & El-Kilany (2016)					+			+							
Sharma (2016)		+	+												
Lashgari et al. (2016)		+	+												
Chen et al. (2016)				+											+
Kazemi et al. (2016)															+

Автор	Ключевая тема														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Palanivel & Uthayakumar (2016)	+			+											
Tiwari et al. (2016)	+	+	+	+											
Lu et al. (2016)	+														
Herbon (2016)	+														
Hidayat et al. (2016)														+	+
Sepehri & Sazvar (2016)	+				+								+		
Shabani et al. (2016)		+		+											
Tsao (2016)		+					+								
Wu et al. (2016)		+													
Zhang et al. (2016)			+												

Источник: составлено авторами.

## Обзоры публикаций моделей управления скоропортящимся запасом

Авторы	Временной горизонт	Количество рецензируемых статей	Категории обзора	Ключевые темы и направления модификации	Критерии классификации
Silver (1981)	1953–1980	51	Определение целей и расходов в системе управления запасами. Методы сокращения разрыва между теорией и практикой	Одно/многопродуктовые, одно/многопериодные модели, модели с одной или несколькими точками сбыта, модели с постоянными и изменяющимися во времени параметрами.	По виду спроса и сырья, количеству периодов, допустимости дефицита, применению финансовых инструментов
Akkerman et al. (2010)	1959–2010	166	Обзор моделей в области распределения продуктов питания	Ключевые вопросы — качество, безопасность и устойчивость	–
Stanger et al. (2012)	1960–2011	55	Анализ исторических кейсов по управлению цепочками поставок крови	Модели управления скоропортящимся запасами и их применимость к управлению запасами крови	–
Raafat (1991)	1963–1990	72	Управление запасом с экспоненциально ухудшающимся качеством	Модели, зависящие от уровня запаса в наличии	По количеству элементов, виду спроса, скорости порчи сырья, количеству периодов, источнику пополнения, наличию скидок и допустимости дефицита

Авторы	Временной горизонт	Количество рецензируемых статей	Категории обзора	Ключевые темы и направления модификации	Критерии классификации
Amorim et al. (2013)	1963–2011	74	Определение связи между концептуальным уровнем порчи запаса и методами математического моделирования	Модели управления скоропортящимся запасом в рамках производства, планирование цепочки поставок	Новая классификация на основе трех измерений: физического износ продукта, ограничения органов власти, ценность для клиента
Lowalekar & Ravichandran (2013)	1963–2012	109	Микромоделирование управления запасами крови в Индии	Модели управления скоропортящимися запасами и их применимость к управлению запасами крови	По политике заказа новой партии поставки, времени хранения, по отношению к дефициту
Nahmias (1982)	1964–1982	67	Анализ оптимальных и неоптимальных политик управления запасом	Модели учета скоропортящихся продуктов с фиксированным сроком службы и с экспоненциальным ухудшением качества	По виду спроса и сырья, количеству периодов, допустимости дефицита, применению финансовых инструментов
Karasmen et al. (2011)	1964–2010	147	Определение и стимулирование исследований управления цепочками поставок скоропортящихся товаров	Многопериодные модели для скоропортящихся запасов и запасов, подверженных моральному устареванию. Исключены модели с экспоненциальным распадом	По типу спроса, многоэтапности и многолокационности. Новое: многопродуктовые, многоклеточные, дискретные и непрерывные модели

Авторы	Временной горизонт	Количество рецензируемых статей	Категории обзора	Ключевые темы и направления модификации	Критерии классификации
Belien & Forcé (2012)	1966–2010	98	Классификация моделей цепочки поставок крови	Модели с фиксированным интервалом между заказами, min-max. Централизованные и децентрализованные, перекрестное распределение	По типу препарата, методу решения, типу проблемы, типу подхода, уровню иерархии, результативности, практическому применению, подходу (точный или эвристический)
Alfares & Ghaitan (2019)	1980–2018	90	Обзор EOQ и EPQ, основанных на предположении о переменных затратах на хранение	Модели управления запасом в зависимости от переменных затрат на хранение	По трем критериям зависимости стоимости владения: от времени, от запасов и множественная
Ahumad & Villalobos (2009)	1982–2008	119	Обзор моделей управления цепочками поставок сельскохозяйственной продукции	Модели для агропродовольственного бизнеса	По используемым подходам к оптимизации, типу моделируемых культур и объема планов
Chaudhary et al. (2018)	1990–2016	418	Обзор и анализ моделей по аспектам эволюции, масштаба, спроса, срока годности, политики пополнения, методам моделирования	Параметры: спрос, цена, скидка, скорость порчи, срок годности, дефицит, политика пополнения. Многоэтапное централизованное управление. Новое: модели, учитывающие поток информации	Классификация на основе характеристик срока годности и спроса

Авторы	Временной горизонт	Количество рецензируемых статей	Категории обзора	Ключевые темы и направления модификации	Критерии классификации
Goyal & Giri (2001)	1990–2000	130	Обзор моделей управления скоропортящимся запасом. Дается характеристика видов скоропортящегося сырья	Допущения по дефициту, скорости пополнения, горизонту планирования, удовлетворению спроса, коэффициент порчи запаса, системе инвентаризации, многоступенчатости	Классификация на основе характеристик срока годности и спроса
Li, Lan et al. (2010)	1991–2008	125	Всесторонний обзор состояния исследований в области управления скоропортящимися запасами	Выделяются исследования в рамках одного/нескольких предприятий и одного/нескольких складов, исследования цепочек поставок	Выделяются три фактора: тип спроса, скорость порчи, другие (скидки, доступимость дефицита, инфляция и т.д.)
Wang (2013)	1996–2011	24	Анализ режимов управления запасом с определенным режимом хранения и неопределенными параметрами	Режимы управления одно-, двух- и многозвенными системами	По многозвенности, по определенности режима хранения, по типу спроса

Окончание табл. П6

Авторы	Временной горизонт	Количество рецензируемых статей	Категории обзора	Ключевые темы и направления модификации	Критерии классификации
Vakker et al. (2012)	2001—2011	227	Обзор моделей, опубликованных после обзора S. K. Goyal, B. C. Giri	Новые виды моделей: характеристики систем, включение ценовых скидок, дефицит/потерянные продажи, многономенклатурные, многооскладские, многоэтапные, задержка платежей	Используется классификация Goyal и Giri на основе характеристик срока годности и спроса
Janssen et al. (2016)	2012—2015	393	Обзор моделей скоропортящихся запасов и совместных ключевых тем публикаций	Впервые выделяются проблема Newsvendor; восстановление систем, разбивка процесса, сбои в работе оборудования; надежность	На основе характеристик срока годности и спроса. Для стохастического спроса применены дополнительные параметры цена, срок хранения, остаток
Glock & Grosse (2021)	2013—2018	131	Обзор моделей с контролируемыми темпами производства	Модели определения размеров партий EPQ, которые учитывают контролируемые темпы производства	По виду модели размера партии (двух-, многоступенчатые, многозаемные)

Источник: составлено авторами.

**Перечень модификаций модели оптимальной партии  
поставки для скоропортящегося сырья отобранных для анализа  
на втором этапе**

№	Источник и авторы моделей
1	Acevedo-Ojeda, A., Contreras, I., & Chen, M. (2020). Two-level lot-sizing with raw-material perishability and deterioration. <i>Journal of the Operational Research Society</i> , 71 (3), 417–432.
2	Afshar-Nadjafi, B., Mashatzadeghan, H., & Khamseh, A. (2016). Time-dependent demand and utility-sensitive sale price in a retailing system. <i>Journal of Retailing and Consumer Services</i> , 32, 171–174.
3	Agi, M. A., & Soni, H. N. (2020). Joint pricing and inventory decisions for perishable products with age-, stock-, and price-dependent demand rate. <i>Journal of the Operational Research Society</i> , 71 (1), 85–99.
4	Al-Amin, K. M., Shaikh, A. A., Panda, G. C., Bhunia, A. K., & Ioannis, K. (2020). Non-instantaneous deterioration effect in ordering decisions for a two-warehouse inventory system under advance payment and backlogging. <i>Annals of Operations Research</i> , 289 (2), 243–275.
5	Alamri, A. A., Harris, I., & Syntetos, A. A. (2016). Efficient inventory control for imperfect quality items. <i>European Journal of Operational Research</i> , 254 (1), 92–104.
6	Ali, S. S., Barman, H., Kaur, R., Tomaskova, H., & Roy, S. K. (2021). Multi-Product Multi Echelon Measurements of Perishable Supply Chain: Fuzzy Non-Linear Programming Approach. <i>Mathematics</i> , 9 (17), 2093.
7	Amran, T. G., & Fatima, Z. (2017). Lagrange multiplier for perishable inventory model considering warehouse capacity planning. <i>AIP Conference Proceedings</i> , 1855, 1, 020021.
8	As'ad, R., Hariga, M., & Shamayleh, A. (2020). Sustainable dynamic lot sizing models for cold products under carbon cap policy. <i>Computers &amp; industrial engineering</i> , 149, 106800.
9	Avinadav, T. (2020). The effect of decision rights allocation on a supply chain of perishable products under a revenue-sharing contract. <i>International Journal of Production Economics</i> , 225, 107587.
10	Avinadav, T., Chernonog, T., Lahav, Y., & Spiegel, U. (2017). Dynamic pricing and promotion expenditures in an EOQ model of perishable products. <i>Annals of Operations Research</i> , 248 (1–2), 75–91.
11	Barman, A., Das, R., & De, P. K. (2021). Optimal pricing, replenishment scheduling, and preservation technology investment policy for multi-item deteriorating inventory model under shortages. <i>International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing</i> , 12 (05), 2150039.
12	Bounkhel, M., Tadj, L., Benhadid, Y., & Hedjar, R. (2019). Optimal Control of Nonsmooth Production Systems with Deteriorating Items, Stock-Dependent Demand, with or without Backorders. <i>Symmetry</i> , 11 (2), 183.
13	Çalışkan, C. (2020). A derivation of the optimal solution for exponentially deteriorating items without derivatives. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 148, 106675.

№	Источник и авторы моделей
14	Çalışkan, C. (2021a). A note about 'on replenishment schedule for deteriorating items with time-proportional demand'. <i>Production Planning &amp; Control</i> , 32 (13), 1158–1161.
15	Çalışkan, C. (2021b). A simple derivation of the optimal solution for the EOQ model for deteriorating items with planned backorders. <i>Applied Mathematical Modelling</i> , 89, 1373–1381.
16	Cardenas-Barron, L. E., Reynoso, J., Edvardsson, B., & Cabrera, K. (2020). Inventory model optimization revisited: Understanding service inventories to improve performance. <i>Scientia Iranica</i> , 27 (3), 1572–1592.
17	Cárdenas-Barrón, L. E., Shaikh, A. A., Tiwari, S., & Treviño-Garza, G. (2020). An EOQ inventory model with nonlinear stock dependent holding cost, nonlinear stock dependent demand and trade credit. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 139, 105557.
18	Chakraborty, D., Jana, D. K., & Roy, T. K. (2018). Two-warehouse partial backlogging inventory model with ramp type demand rate, three-parameter Weibull distribution deterioration under inflation and permissible delay in payments. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 123, 157–179.
19	Chan, Y. L., & Hsu, S. M. (2018). An inventory policy for perishable products with permissible delay in payment. <i>International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing</i> , 888–902.
20	Chang, C. T., Ouyang, L. Y., Teng, J. T., Lai, K. K., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2019). Manufacturer's pricing and lot-sizing decisions for perishable goods under various payment terms by a discounted cash flow analysis. <i>International Journal of Production Economics</i> , 218, 83–95.
21	Chen, J., & Bell, P. C. (2017). Enhancing revenue by offering a flexible product option. <i>International Transactions in Operational Research</i> , 24 (4), 801–820.
22	Chen, P. Y. (2017). Economic order quality model for determining the sales prices of fresh goods at various points in time. <i>Journal of Food Quality</i> .
23	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. <i>Journal of the Operational Research Society</i> , 67 (6), 884–896.
24	Chernonog, T. (2020). Inventory and marketing policy in a supply chain of a perishable product. <i>International Journal of Production Economics</i> , 219, 259–274.
25	Choudhury, M., De, S. K., & Mahata, G. C. (2021). Pollution-sensitive integrated production-inventory management for deteriorating items with quality loss and quantity loss with expiration date. <i>International Journal of Systems Science: Operations &amp; Logistics</i> , 1–23.
26	Demirag, O. C., Kumar, S., & Rao, K. M. (2017). A note on inventory policies for products with residual-life-dependent demand. <i>Applied Mathematical Modelling</i> , 43, 647–658.
27	Dewi, E. K., Dahlui, M., Chalidyanto, D., & Rochmah, T. N. (2020). Achieving cost-efficient management of drug supply via economic order quantity and minimum-maximum stock level. <i>Expert Review of pharmacoeconomics &amp; outcomes research</i> , 20 (3), 289–294.

№	Источник и авторы моделей
28	Diabat, A., Taleizadeh, A. A., & Lashgari, M. (2017). A lot sizing model with partial downstream delayed payment, partial upstream advance payment, and partial backordering for deteriorating items. <i>Journal of Manufacturing Systems</i> , 45, 322–342.
29	Díaz, R. D. S., Paternina-Arboleda, C. D., Martínez-Flores, J. L., & Jimenez-Barros, M. A. (2020). Economic order quantity for perishables with decreasing willingness to purchase during their life cycle. <i>Operations Research Perspectives</i> , 7, 100146.
30	Dobson, G., Pinker, E. J., & Yildiz, O. (2017). An EOQ model for perishable goods with age-dependent demand rate. <i>European Journal of Operational Research</i> , 257 (1), 84–88.
31	Dye, C. Y. (2020). Optimal joint dynamic pricing, advertising and inventory control model for perishable items with psychic stock effect. <i>European Journal of Operational Research</i> , 283 (2), 576–587.
32	Feng, L., Chan, Y. L., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2017). Pricing and lot-sizing policies for perishable goods when the demand depends on selling price, displayed stocks, and expiration date. <i>International Journal of Production Economics</i> , 185, 11–20.
33	Feng, L., Skouri, K., Wang, W. C., & Teng, J. T. (2020). Optimal selling price, replenishment cycle and payment time among advance, cash, and credit payments from the seller's perspective. <i>Annals of Operations Research</i> , 1–22.
34	Feng, L., Wang, W. C., Teng, J. T., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2022). Pricing and lot-sizing decision for fresh goods when demand depends on unit price, displaying stocks and product age under generalized payments. <i>European Journal of Operational Research</i> , 296 (3), 940–952.
35	Gahan, P., & Pattnaik, M. (2017). Optimization in fuzzy economic order quantity (FEOQ) model with promotional effort cost and units lost due to deterioration. <i>LogForum</i> , 13 (1).
36	Galal, N. M., & El-Kilany, K. S. (2016). Sustainable agri-food supply chain with uncertain demand and lead time. <i>International Journal of Simulation Modelling</i> , 15 (3), 485–496.
37	Ghosh, P. K., Manna, A. K., Dey, J. K., & Kar, S. (2021). An EOQ model with backordering for perishable items under multiple advanced and delayed payments policies. <i>Journal of Management Analytics</i> , 1–32.
38	Gupta, M., Tiwari, S., & Jaggi, C. K. (2020). Retailer's ordering policies for time-varying deteriorating items with partial backlogging and permissible delay in payments in a two-warehouse environment. <i>Annals of Operations Research</i> , 295 (1), 139–161.
39	Hanukov, G., Avinadav, T., Chernonog, T., & Yechiali, U. (2019). Performance improvement of a service system via stocking perishable preliminary services. <i>European Journal of Operational Research</i> , 274 (3), 1000–1011.
40	Hanukov, G., Avinadav, T., Chernonog, T., & Yechiali, U. (2020). A service system with perishable products where customers are either fastidious or strategic. <i>International Journal of Production Economics</i> , 228, 107696.
41	Hanukov, G., Avinadav, T., Chernonog, T., & Yechiali, U. (2021). A multi-server system with inventory of preliminary services and stock-dependent demand. <i>International Journal of Production Research</i> , 59 (14), 4384–4402.

№	Источник и авторы моделей
42	He, L., Gao, H., Zhang, X., Wang, Q., & Hu, C. (2018). Optimal Replenishment for Perishable Products with Inventory-Dependent Demand and Backlogging under Continuous and Discrete Progressive Payments. <i>Sustainability</i> , 10 (10), 3723.
43	He, Y., Huang, H., & Li, D. (2020). Inventory and pricing decisions for a dual-channel supply chain with deteriorating products. <i>Operational Research</i> , 20 (3), 1461–1503.
44	Herbon, A. (2016). Optimal piecewise-constant price under heterogeneous sensitivity to product freshness. <i>International Journal of Production Research</i> , 54 (2), 365–385.
45	Herbon, A. (2017). A non-cooperative game model for managing a multiple-aged expiring inventory under consumers' heterogeneity to price and time. <i>Applied Mathematical Modelling</i> , 51, 38–57.
46	Hidayat, Y. A., Kasanah, A. R., & Yudhistira, T. (2016, February). The application of EOQ and lead time crashing cost models in material with limited life time (Case study: CN-235 Aircraft at PT Dirgantara Indonesia). <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i> , 114 (1), 12077.
47	Hsiao, H. I., Tu, M., Yang, M. F., & Tseng, W. C. (2017). Deteriorating inventory model for ready-to-eat food under fuzzy environment. <i>International Journal of Logistics Research and Applications</i> , 20 (6), 560–580.
48	Huang, K. (2019, September). <i>Inventory Optimization of Fresh Foods Based on Shang Mao Cheng Supermarket. Proceedings of the 2019 5th International Conference on Industrial and Business Engineering</i> , 23–27.
49	Huang, Y. D., Wee, H. M., Praharsi, Y., & Lo, C. C. (2019). An integrated vendor–buyer replenishment policy for deteriorating items with fuzzy environment and resource constraint. <i>INFOR: Information Systems and Operational Research</i> , 57 (4), 667–691.
50	Iqbal, M. W., & Sarkar, B. (2019). Recycling of lifetime dependent deteriorated products through different supply chains. <i>RAIRO-Operations Research</i> , 53 (1), 129–156.
51	Jaggi, C. K., Tiwari, S., & Goel, S. K. (2017). Credit financing in economic ordering policies for non-instantaneous deteriorating items with price dependent demand and two storage facilities. <i>Annals of Operations Research</i> , 248 (1–2), 253–280.
52	Jani, M. Y., Betheja, M. R., Chaudhari, U., & Sarkar, B. (2021). Optimal Investment in Preservation Technology for Variable Demand under Trade-Credit and Shortages. <i>Mathematics</i> , 9 (11), 1301.
53	Kamaruzaman, N. A., & Omar, M. (2020). Inventory model for a fresh product when demand depends on freshness, price, inventory level and expiration date under markdown policy. <i>Journal of Intelligent &amp; Fuzzy Systems</i> , 39 (3), 3453–3461.
54	Karimi, M., Sadjadi, S. J., & Bijaghini, A. G. (2019). An economic order quantity for deteriorating items with allowable rework of deteriorated products. <i>Journal of Industrial &amp; Management Optimization</i> , 15 (4), 1857.
55	Karmakar, S., De, S. K., & Goswami, A. (2017). A pollution sensitive dense fuzzy economic production quantity model with cycle time dependent production rate. <i>Journal of cleaner production</i> , 154, 139–150.
56	Kaur, G. & Panday P. (2019) Inventory Management of Essential Supplies for the Indian Army. <i>Pacific business review international</i> , 11 (12).

№	Источник и авторы моделей
57	Kaur, J., & Kumar, A. (2018). Decaying objects of constant demand speed and dependent of time within permitted delay in imbursement of the model of inventory level. <i>Intelligent Communication, Control and Devices</i> , 709–717.
58	Kazemi, N., Olugu, E. U., Abdul-Rashid, S. H., & Ghazilla, R. A. R. (2016). A fuzzy EOQ model with backorders and forgetting effect on fuzzy parameters: An empirical study. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 96, 140–148.
59	Khakzad, A., & Gholamian, M. R. (2020). The effect of inspection on deterioration rate: An inventory model for deteriorating items with advanced payment. <i>Journal of cleaner production</i> , 254, 120117.
60	Khan, M. A. A., Shaikh, A. A., Konstantaras, I., Bhunia, A. K., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2020). Inventory models for perishable items with advanced payment, linearly time-dependent holding cost and demand dependent on advertisement and selling price. <i>International Journal of Production Economics</i> , 230, 107804.
61	Krommyda, I. P., Tatsis, V., & Skouri, K. (2020). Optimal ordering and disposal decisions for products with a fixed shelf life. <i>RAIRO-Operations Research</i> , 54 (5), 1453–1465.
62	Kumar, K., Kumar, S. (2020). Inventory control policy with two-warehouse, various demand, shortages, trade credit and fuzzy environment revisited. <i>Achievements and applications in the mathematical sciences</i> , 19 (10), 987–1016.
63	Kumar, P. (2019). An inventory planning problem for time-varying linear demand and parabolic holding cost with salvage value. <i>Croatian Operational Research Review</i> , 187–199.
64	Kumar, S. (2019). An EOQ model for deteriorating items with time-dependent exponential demand rate and penalty cost. <i>Operations Research and Decisions</i> , 29.
65	Kuppulakshmi, V., Sugapriya, C., & Pillai, N. D. (2021). An inventory model for fish marketing under uncertain lockdown situation and normal backordering situation. <i>Journal of Advances in Management Research</i> .
66	Kurade, S. S., & Latpate, R. (2021). Demand and deterioration of items per unit time inventory models with shortages using genetic algorithm. <i>Journal of Management Analytics</i> , 8 (3), 502–529.
67	Lashgari, M., Taleizadeh, A. A., & Sana, S. S. (2016). An inventory control problem for deteriorating items with back-ordering and financial considerations under two levels of trade credit linked to order quantity. <i>Journal of Industrial &amp; Management Optimization</i> , 12 (3), 1091.
68	Li, J., Liu, L., Hu, H., Zhao, Q., & Guo, L. (2018). An inventory model for deteriorating drugs with stochastic lead time. <i>International journal of environmental research and public health</i> , 15 (12), 2772.
69	Li, R., Chan, Y. L., Chang, C. T., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2017). Pricing and lot-sizing policies for perishable products with advance-cash-credit payments by a discounted cash-flow analysis. <i>International Journal of Production Economics</i> , 193, 578–589.

№	Источник и авторы моделей
70	Li, R., Liu, Y., Teng, J. T., & Tsao, Y. C. (2019). Optimal pricing, lot-sizing and backordering decisions when a seller demands an advance-cash-credit payment scheme. <i>European Journal of Operational Research</i> , 278 (1), 283–295.
71	Li, R., Teng, J. T., & Chang, C. T. (2021). Lot-sizing and pricing decisions for perishable products under three-echelon supply chains when demand depends on price and stock-age. <i>Annals of Operations Research</i> , 1–26.
72	Li, R., Teng, J. T., & Zheng, Y. (2019). Optimal credit term, order quantity and selling price for perishable products when demand depends on selling price, expiration date, and credit period. <i>Annals of operations Research</i> , 280 (1), 377–405.
73	Li, R., Yang, H. L., Shi, Y., Teng, J. T., & Lai, K. K. (2021). EOQ-based pricing and customer credit decisions under general supplier payments. <i>European Journal of Operational Research</i> , 289 (2), 652–665.
74	Lin, F., Wu, P., Shi, J., Tao, J., & Zhuo, X. (2021). Impacts of expiration date on optimal ordering policy for deteriorating items under two-level trade credit: Quantity loss and quality loss. <i>Journal of the Operational Research Society</i> , 1–34.
75	Liu, G. S., & Lin, K. P. (2018). A decision support system of green inventory-routing problem. <i>Industrial Management &amp; Data Systems</i> , 119 (1), 89–110.
76	Liu, G. S., & Lin, K. P. (2020). The Online Distribution System of Inventory-Routing Problem with Simultaneous Deliveries and Returns Concerning CO2 Emission Cost. <i>Mathematics</i> , 8 (6), 1002.
77	Lu, L., Zhang, J., & Tang, W. (2016). Optimal dynamic pricing and replenishment policy for perishable items with inventory-level-dependent demand. <i>International Journal of Systems Science</i> , 47 (6), 1480–1494.
78	Luong, H., & Karim, R. (2017). An integrated production inventory model of deteriorating items subject to random machine breakdown with a stochastic repair time. <i>International Journal of Industrial Engineering Computations</i> , 8 (2), 217–236.
79	Macías-López, A., Cárdenas-Barrón, L. E., Peimbert-García, R. E., & Mandal, B. (2021). An Inventory Model for Perishable Items with Price-, Stock-, and Time-Dependent Demand Rate considering Shelf-Life and Nonlinear Holding Costs. <i>Mathematical Problems in Engineering</i> .
80	Mahata, G. C., & De, S. K. (2017). Supply chain inventory model for deteriorating items with maximum lifetime and partial trade credit to credit-risk customers. <i>International Journal of Management Science and Engineering Management</i> , 12 (1), 21–32.
81	Mahata, P., Mahata, G. C., & De, S. K. (2020). An economic order quantity model under two-level partial trade credit for time varying deteriorating items. <i>International Journal of Systems Science: Operations &amp; Logistics</i> , 7 (1), 1–17.
82	Mahata, P., Mahata, G. C., & Mukherjee, A. (2019). An ordering policy for deteriorating items with price-dependent iso-elastic demand under permissible delay in payments and price inflation. <i>Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems</i> , 25 (6), 575–601.
83	Maiti, A. K. (2020). Multi-item fuzzy inventory model for deteriorating items in multi-outlet under single management. <i>Journal of Management Analytics</i> , 7 (1), 44–68.

№	Источник и авторы моделей
84	Mallidis, I., Vlachos, D., Yakavenka, V., & Eleni, Z. (2020). Development of a single period inventory planning model for perishable product redistribution. <i>Annals of Operations Research</i> , 294 (1), 697–713.
85	Marchi, B., Zanoni, S., & Jaber, M. Y. (2020). Energy Implications of Lot Sizing Decisions in Refrigerated Warehouses. <i>Energies</i> , 13 (7), 1739.
86	Mawandiya, B. K., Jha, J. K., & Thakkar, J. J. (2020). Optimal production-inventory policy for closed-loop supply chain with remanufacturing under random demand and return. <i>Operational Research</i> , 20 (3), 1623–1664.
87	Mirkhorsandi, S. S., & Pasandideh, S. H. R. (2020). A Bi-objective Multi-Product Multi-Constraint EPQ Model in a Stochastic Environment and Partial Shortage. <i>Journal of Advanced Manufacturing Systems</i> , 19 (03), 567–587.
88	Mishra, U. (2016). A waiting time deterministic inventory model for perishable items in stock and time dependent demand. <i>International Journal of System Assurance Engineering and Management</i> , 7 (1), 294–304.
89	Mohammadi, H., Ghazanfari, M., Pishvae, M. S., & Teimoury, E. (2019). Fresh-product supply chain coordination and waste reduction using a revenue-and-preservation-technology-investment-sharing contract: A real-life case study. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 213, 262–282.
90	Mohammadi, H., Ghazanfari, M., Pishvae, M. S., & Teimoury, E. (2019). Fresh-product supply chain coordination and waste reduction using a revenue-and-preservation-technology-investment-sharing contract: A real-life case study. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 213, 262–282.
91	Mohanty, D. J., Kumar, R. S., & Goswami, A. (2018). Trade-credit modeling for deteriorating item inventory system with preservation technology under random planning horizon. <i>Sādhanā</i> , 43 (3), 1–17.
92	Mondal, B., Garai, A., Mukhopadhyay, A., & Majumder, S. K. (2021). Inventory policies for seasonal items with logistic-growth demand rate under fully permissible delay in payment: a neutrosophic optimization approach. <i>Soft Computing</i> , 25(5), 3725–3750.
93	Muriana, C. (2016). An EOQ model for perishable products with fixed shelf life under stochastic demand conditions. <i>European Journal of Operational Research</i> , 255 (2), 388–396.
94	Muriana, C. (2017). A focus on the state of the art of food waste/losses issue and suggestions for future researches. <i>Waste Management</i> , 68, 557–570.
95	Nestorenko, T., Morkunas, M., Peliova, J., Volkov, A., Balezentis, T., & Streimkiene, D. (2020). A New Model for Determining the EOQ under Changing Price Parameters and Reordering Time. <i>Symmetry</i> , 12 (9), 1512.
96	Nguyen, D. H., & Chen, H. (2022). An effective approach for optimization of a perishable inventory system with uncertainty in both demand and supply. <i>International Transactions in Operational Research</i> , 29 (4), 2682–2704.
97	Nobil, A. H., Kazemi, A., & Taleizadeh, A. A. (2019). Single-machine lot scheduling problem for deteriorating items with negative exponential deterioration rate. <i>RAIRO-Operations Research</i> , 53 (4), 1297–1307.

№	Источник и авторы моделей
98	Önal, M., Kundakcioglu, O. E., & Jain, S. (2020). An EOQ model with deteriorating items and self-selection constraints. <i>Optim. Lett.</i> , 14 (6), 1491–1518.
99	Önal, M., Yenipazarli, A., & Kundakcioglu, O. E. (2016). A mathematical model for perishable products with price-and displayed-stock-dependent demand. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 102, 246–258.
100	O'Neill, B., & Sanni, S. (2018). Profit optimisation for deterministic inventory systems with linear cost. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 122, 303–317.
101	Otrodi, F., Yaghin, R. G., & Torabi, S. A. (2019). Joint pricing and lot-sizing for a perishable item under two-level trade credit with multiple demand classes. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 127, 761–777.
102	Paknejad, J., Nasri, F., & Affisco, J. F. (2018). Shape of power yield distribution: impact on EOQ model with nonlinear holding cost and random quality. <i>International Journal of Management Science and Engineering Management</i> , 13 (4), 237–244.
103	Paknejad, J., Nasri, F., & Affisco, J. F. (2019). A perishable EOQ model subject to distinct demands for conforming and non-conforming items. <i>International Journal of Management Science and Engineering Management</i> , 14 (2), 86–93.
104	Palak, G., Ekşioglu, S. D., & Geunes, J. (2018). Heuristic algorithms for inventory replenishment with perishable products and multiple transportation modes. <i>IISE Transactions</i> , 50 (4), 345–365.
105	Palanivel, M., & Uthayakumar, R. (2016). Two-warehouse inventory model for non-instantaneous deteriorating items with partial backlogging and inflation over a finite time horizon. <i>Opsearch</i> , 53 (2), 278–302.
106	Pando, V., San-José, L. A., García-Laguna, J., & Sicilia, J. (2018). Optimal lot-size policy for deteriorating items with stock-dependent demand considering profit maximization. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 117, 81–93.
107	Patriarca, R., Di Gravio, G., Costantino, F., & Tronci, M. (2020). EOQ inventory model for perishable products under uncertainty. <i>Production Engineering</i> , 14 (5), 601–612.
108	Pattnaik, M., & Gahan, P. (2018). Impact of publicity effort and variable ordering cost in multi-product order quantity model of units lost sales due to deterioration. <i>LogForum</i> , 14 (3).
109	Paul, A., Rajapakshe, T., & Mallik, S. (2019). Socially optimal contracting between a regional blood bank and hospitals. <i>Production and Operations Management</i> , 28 (4), 908–932.
110	Pourmohammad-Zia, N., & Karimi, B. (2020). Optimal replenishment and breeding policies for growing items. <i>Arabian Journal for Science and Engineering</i> , 45 (8), 7005–7015.
111	Pourmohammad-Zia, N., Karimi, B., & Rezaei, J. (2021). Dynamic pricing and inventory control policies in a food supply chain of growing and deteriorating items. <i>Annals of Operations Research</i> , 1–40.
112	Poursoltan, L., Seyedhosseini, S. M., & Jabbarzadeh, A. (2020). An extension to the economic production quantity problem with deteriorating products considering random machine breakdown and stochastic repair time. <i>International Journal of Engineering</i> , 33 (8), 1567–1578.

№	Источник и авторы моделей
113	Pramanik, P., Das, S. M., & Maiti, M. K. (2019). Note on: supply chain inventory model for deteriorating items with maximum lifetime and partial trade credit to credit risk customers. <i>Journal of Industrial &amp; Management Optimization</i> , 15 (3), 1289.
114	Rabta, B. (2017). Sensitivity analysis in inventory models by means of ergodicity coefficients. <i>International Journal of Production Economics</i> , 188, 63–71.
115	Rahimi, M., Baboli, A., & Rezik, Y. (2017). Inventory routing problem for perishable products by considering customer satisfaction and green criteria. <i>Dynamics in Logistics</i> , 445–455.
116	Rajendran, S., & Ravindran, A. R. (2017). Platelet ordering policies at hospitals using stochastic integer programming model and heuristic approaches to reduce wastage. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 110, 151–164.
117	Rani, S., Ali, R., & Agarwal, A. (2019). Fuzzy inventory model for deteriorating items in a green supply chain with carbon concerned demand. <i>Opsearch</i> , 56 (1), 91–122.
118	Rout, C., Kumar, R. S., Chakraborty, D., & Goswami, A. (2019). An EPQ model for deteriorating items with imperfect production, inspection errors, rework and shortages: a type-2 fuzzy approach. <i>Opsearch</i> , 56 (3), 657–688.
119	Saren, S., Sarkar, B., & Bachar, R. K. (2020). Application of various price-discount policy for deteriorated products and delay-in-payments in an advanced inventory model. <i>Inventions</i> , 5 (3), 50.
120	Saxena, P., Sharma, A., & Sharma, K. (2020). Partially backlogged two-warehouse ordering policy with selling price dependent demand under infinite planning horizon. <i>Advances and Applications in Mathematical Sciences</i> , 19 (10), 1061–1074.
121	Sayal, A., Singh, A. P., & Aggarwal, D. (2018). Crisp and fuzzy EOQ model for perishable items with ramp type demand under shortages. <i>International Journal of Agricultural and Statistical Sciences</i> , 14 (1), 441–452.
122	Sayal, A., Singh, A. P., & Aggarwal, D. (2019). An optimization of feoq model for weibull deteriorating items with inflationary condition. <i>Journal of Reliability and Statistical Studies</i> , 33–50.
123	Sayal, A., Singh, A. P., & Chauhan, A. (2021). Crisp and fuzzy economic order quantity model with time dependent demand and permissible delay in payments. <i>Materials Today: Proceedings</i> , 46, 10933–10941.
124	Sebatjane, M., & Adetunji, O. (2020). A three-echelon supply chain for economic growing quantity model with price-and freshness-dependent demand: pricing, ordering and shipment decisions. <i>Operations Research Perspectives</i> , 7, 100153.
125	Sepehri, A. (2021). Optimizing the replenishment cycle and selling price for an inventory model under carbon emission regulation and partially permissible delay in payment. <i>Process Integration and Optimization for Sustainability</i> , 5 (3), 577–597.
126	Sepehri, A., Mishra, U., & Sarkar, B. (2021). A sustainable production-inventory model with imperfect quality under preservation technology and quality improvement investment. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 310, 127332.
127	Sepehri, M., & Sazvar, Z. (2016). Multi-objective sustainable supply chain with deteriorating products and transportation options under uncertain demand and backorder. <i>Scientia Iranica</i> , 23 (6), 2977–2994.

№	Источник и авторы моделей
128	Shabani, S., Mirzazadeh, A., & Sharifi, E. (2016). A two-warehouse inventory model with fuzzy deterioration rate and fuzzy demand rate under conditionally permissible delay in payment. <i>Journal of Industrial and Production Engineering</i> , 33 (2), 134–142.
129	Shah, N. H., & Vaghela, C. R. (2017). Economic order quantity for deteriorating items under inflation with time and advertisement dependent demand. <i>Opsearch</i> , 54 (1), 168–180.
130	Shah, N. H., Patel, E., & Rabari, K. (2022). Investigation of carbon emissions due to COVID-19 vaccine inventory. <i>International Journal of System Assurance Engineering and Management</i> , 13 (1), 409–420.
131	Shamayleh, A., Hariga, M., As' ad, R., & Diabat, A. (2019). Economic and environmental models for cold products with time varying demand. <i>Journal of cleaner production</i> , 212, 847–863.
132	Sharma, B. K. (2016). An inventory model for non-instantaneous deteriorating items with quadratic demand rate and shortages under trade credit policy. <i>Journal of Applied Analysis &amp; Computation</i> , 6 (3), 720–737.
133	Shi, Y., Zhang, Z., Chen, S. C., Cárdenas-Barrón, L. E., & Skouri, K. (2020). Optimal replenishment decisions for perishable products under cash, advance, and credit payments considering carbon tax regulations. <i>International Journal of Production Economics</i> , 223, 107514.
134	Shi, Y., Zhang, Z., Tiwari, S., & Tao, Z. (2021). Retailer's optimal strategy for a perishable product with increasing demand under various payment schemes. <i>Annals of Operations Research</i> , 1–31.
135	Singh, P., Mishra, N. K., Singh, V., & Saxena, S. (2017, July). An EOQ model of time quadratic and inventory dependent demand for deteriorated items with partially backlogged shortages under trade credit. <i>AIP conference proceedings</i> , 1860, 1, 20037.
136	Siriruk, P., & Dungkhokkruad, K. (2017). Ordering quantity decisions for perishable inventory control using simulated annealing. <i>2017 April 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)</i> , 111–115.
137	Sundararajan, R., Prabha, M., & Jaya, R. (2019). An inventory model for non-instantaneous deteriorating items with multivariate demand and backloging under inflation. <i>Journal of Management Analytics</i> , 6 (3), 302–322.
138	Suryawanshi, P., & Dutta, P. (2021). Distribution planning problem of a supply chain of perishable products under disruptions and demand stochasticity. <i>International Journal of Productivity and Performance Management</i> .
139	Taleizadeh, A. A., & Rasuli-Baghban, A. (2018). Pricing and lot sizing of a decaying item under group dispatching with time-dependent demand and decay rates. <i>Scientia Iranica</i> , 25 (3), 1656–1670.
140	Taleizadeh, A. A., Pourmohammad-Zia, N., & Konstantaras, I. (2019). Partial linked-to-order delayed payment and life time effects on decaying items ordering. <i>Operational Research</i> , 1–23.
141	Tavakoli, S., & Taleizadeh, A. A. (2017). An EOQ model for decaying item with full advanced payment and conditional discount. <i>Annals of Operations Research</i> , 259 (1), 415–436.

№	Источник и авторы моделей
142	Tiwari, S., Cárdenas-Barrón, L. E., Goh, M., & Shaikh, A. A. (2018). Joint pricing and inventory model for deteriorating items with expiration dates and partial backlogging under two-level partial trade credits in supply chain. <i>International Journal of Production Economics</i> , 200, 16–36.
143	Tiwari, S., Cárdenas-Barrón, L. E., Khanna, A., & Jaggi, C. K. (2016). Impact of trade credit and inflation on retailer's ordering policies for non-instantaneous deteriorating items in a two-warehouse environment. <i>International Journal of Production Economics</i> , 176, 154–169.
144	Tripathi, R. P. (2020). Innovative investigation of stock-sensitive demand induced economic order quantity (EOQ) model for deterioration by means of inconsistent holding cost functions. <i>SN Applied Sciences</i> , 2 (4), 1–8.
145	Tsao, Y. C. (2016). Designing a supply chain network for deteriorating inventory under preservation effort and trade credits. <i>International Journal of Production Research</i> , 54 (13), 3837–3851.
146	Tsao, Y. C., Zhang, Q., Zhang, X., & Vu, T. L. (2021). Supply chain network design for perishable products under trade credit. <i>Journal of Industrial and Production Engineering</i> , 38 (6), 466–474.
147	Tuan, H. W., Lin, S. C., & Julian, P. (2017). Improvement for amelioration inventory model with Weibull distribution. <i>Mathematical Problems in Engineering</i> .
148	Udayakumar, R., Geetha, K. V., & Sana, S. S. (2021). Economic ordering policy for non-instantaneous deteriorating items with price and advertisement dependent demand and permissible delay in payment under inflation. <i>Mathematical Methods in the Applied Sciences</i> , 44 (9), 7697–7721.
149	Ullah, M., Sarkar, B., & Asghar, I. (2019). Effects of preservation technology investment on waste generation in a two-echelon supply chain model. <i>Mathematics</i> , 7 (2), 189.
150	Vahdani, M., Sazvar, Z., & Govindan, K. (2021). An integrated economic disposal and lot-sizing problem for perishable inventories with batch production and corrupt stock-dependent holding cost. <i>Annals of Operations Research</i> , 1–33.
151	Wu, J., Al-Khateeb, F. B., Teng, J. T., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2016). Inventory models for deteriorating items with maximum lifetime under downstream partial trade credits to credit-risk customers by discounted cash-flow analysis. <i>International Journal of Production Economics</i> , 171, 105–115.
152	Wu, J., Chang, C. T., Teng, J. T., & Lai, K. K. (2017). Optimal order quantity and selling price over a product life cycle with deterioration rate linked to expiration date. <i>International Journal of Production Economics</i> , 193, 343–351.
153	Wu, J., Teng, J. T., & Skouri, K. (2018). Optimal inventory policies for deteriorating items with trapezoidal-type demand patterns and maximum lifetimes under upstream and downstream trade credits. <i>Annals of Operations Research</i> , 264 (1), 459–476.
154	Xiao, X., Zhu, Z., Fu, Z., Mu, W., & Zhang, X. (2018). Carbon footprint constrained profit maximization of table grapes cold chain. <i>Agronomy</i> , 8 (7), 125.
155	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. <i>International Journal of Systems Science: Operations &amp; Logistics</i> , 8 (2), 136–153.

№	Источник и авторы моделей
156	Yang, Y., Chi, H., Tang, O., Zhou, W., & Fan, T. (2019). Cross perishable effect on optimal inventory preservation control. <i>European Journal of Operational Research</i> , 276 (3), 998–1012.
157	Zeba Khanam, Md. Ayub Ali. (2019) Inventory model with advance payment and backlogging. <i>Journal of mechanics of continua and mathematical sciences</i> , 14 (6), 558–569.
158	Zeng, S., Nestorenko, O., Nestorenko, T., Morkūnas, M., Volkov, A., Baležentis, T., & Zhang, C. (2019). EOQ for perishable goods: Modification of Wilson's model for food retailers. <i>Technological and Economic Development of Economy</i> , 25 (6), 1413–1432.
159	Zhang, L., Tian, J., Fung, R. Y., & Dang, C. (2019). Materials procurement and reserves policies for humanitarian logistics with recycling and replenishment mechanisms. <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> , 127, 709–721.
160	Zhang, R. Q., Wu, Y. L., Fang, W. G., & Zhou, W. H. (2016). Inventory Model with Partial Backordering When Backordered Customers Delay Purchase after Stockout-Restoration. <i>Mathematical Problems in Engineering</i> .
161	Zhu, L. (2018). Supply chain inventory model for perishable items under delayed payment. <i>Journal of Interdisciplinary Mathematics</i> , 21 (4), 849–857.

Источник: составлено авторами.