

УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ ПРОДУКЦИИ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРОКОМ ХРАНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СПРОСА¹

О. А. Косоруков

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации,
Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

О. А. Свиридова

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

В статье рассматривается процесс пополнения запасов монопродукта торговой организацией. Предполагается, что продукт имеет ограниченный срок годности, по достижении которого он выбывает из оборота (утилизируется без дополнительных затрат, утилизируется с дополнительными затратами, реализуется по заниженной цене). Ставится вопрос о нахождении экономически обоснованного объема и времени пополнения запасов. Фактором неопределенности модели является спрос, который описывается случайной величиной с известным распределением. Распределение случайной величины спроса может быть как статическим, так и иметь динамическую зависимость от времени. Введен критерий экономической эффективности новой поставки товара, а именно максимизируется математическое ожидание плотности потока прибыли от реализации новой партии. Построена имитационная модель, позволяющая проводить оптимизацию по данному критерию по переменным «объем поставки» и «время поставки». На основе программной реализации предложенной оптимизационной модели приводятся численные примеры расчетов.

Ключевые слова: срок годности, объем заказа, срок поставки, плотность потока прибыли.

MANAGING STOCKS OF PERISHABLE GOODS IN CONDITIONS OF DEMAND UNCERTAINTY

Oleg A. Kosorukov

Lomonosov Moscow State University,
The Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration,
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia

Olga A. Sviridova

Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia

The article studies the process of replenishing stocks of mono-product by the trade organization. It is assumed that it is a perishable product and it is withdrawn from circulation when its service life expires (it is utilized without extra costs, utilized with extra costs, sold with discount). A problem arises about economically reasonable volume and time of stock replenishing. The factor of the model uncertainty is demand, which can be described by a casual value

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00339, <https://rscf.ru/project/24-21-00339/>

with certain distribution. Distribution of demand casual value can be static or possess dynamic dependence on time. The criterion of economic efficiency of product new delivery was introduced, which could maximize mathematic expectation of profit flow density based on a new lot sale. An imitation model was built that gives an opportunity to carry out optimization on this criterion by variables 'volume of delivery' and 'date of delivery'. On the basis of program realization of the proposed optimization model the article provides examples of calculations.

Keywords: service life, order volume, delivery date, profit flow density.

Введение

Управление товарными запасами в розничной торговле играет большую роль в обеспечении успешной деятельности магазинов и сетей. В условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся предпочтений потребителей эффективное управление запасами становится важным инструментом для достижения устойчивого роста и прибыльности. Ключевыми вопросами в процессе управления скоропортящимися товарами являются определение оптимального объема заказа и поддержание оптимального уровня запасов. 28 ноября 2018 г. Президентом России был подписан закон о запрете возврата нереализованной продукции производителю. Закон предполагает запрет на возмещение расходов, связанных с утилизацией или уничтожением нереализованных продовольственных товаров, для ретейлеров и поставщиков соответствующих видов продукции. С принятием закона возрастает необходимость грамотного управления товарными запасами, в частности максимально корректного определения размера заказа скоропортящихся товаров: если закупить слишком много товара, возрастает риск списания из-за истечения срока годности; если закупить мало товара, это может привести к возникновению ситуаций с отсутствием товара на полке и, как следствие, к упущенной прибыли.

Благодаря развитию компьютерных технологий для решения задач оптимизации управления запасами стали широко использовать метод имитационного моделирования. Появились публикации, использующие этот метод для исследования и оптимизации управления запасами [3; 5]. Влияние стратегий управления запасами на экономические показатели предприя-

тия широко освещено в научной литературе [1]. Наибольшую сложность для анализа представляют процессы, содержащие случайные или неопределенные параметры [2; 4; 9].

Учет неопределенностей является сложной задачей, требующей усилий высококвалифицированных специалистов, поэтому лишь часть крупных компаний в Российской Федерации использует математическое моделирование, в частности, стохастическое моделирование, для оптимизации решений, связанных с управлением запасами.

В работах Г. Л. Бродецкого рассматривался широкий спектр моделей оптимизации размеров товарных партий с учетом неопределенности спроса, себестоимости товара и цены реализации. В отличие от рассматриваемых в данной статье постановок им рассматривался сценарный подход к учету неопределенности [2].

Для отдельных видов случайных распределений спроса были разработаны аналитические модели управления запасами, например, для нормального [6] или треугольного распределения [7; 8].

Постановка задачи

Рассмотрим процесс торговых операций некоторым продуктом с фиксированным сроком хранения (использования). Примером такого рода продукции являются продукты питания. Продукты доставляются в торговую сеть определенными партиями, каждая из которых имеет фиксированную дату использования. Предполагается, что при достижении данного срока нереализованная часть партии изымается из торгового оборота. Для определенных видов продукции далее может следовать процесс утилизации, требующий дополнительных финансовых затрат, которые необходимо

учитывать при количественном анализе процесса торгового оборота.

Возможно также рассмотреть случай, когда просроченный остаток партии может быть реализован по демпинговой цене, например, единовременно на контрактной основе. В обоих случаях и величину издержек утилизации, и величину выручки от реализации просроченной партии будем предполагать линейной в зависимости от остатка партии. Что касается стоимости доставки, то возможно рассмотреть по крайней мере два варианта: стоимость доставки продукции включена в закупочную стоимость товара или стоимость каждой доставки фиксирована и не зависит от объема доставки. Предполагаем также, что доставка осуществляется точно в срок, устанавливаемый торговой точкой. Неопределенностью в рассматриваемой ситуации является спрос. Для определенности будем рассматривать ежедневный спрос. Предполагаем, что данная неопределенность формализована в виде известной случайной величины. Возможны два случая: когда случайная величина «объем ежедневного спроса» не зависит от времени и когда такая зависимость имеет место быть. Основной вопрос – определение даты заказа партии с известным сроком годности и объема партии. Будем обозначать такое решение (Q, T) . Существенную сложность для поиска оптимального решения данной задачи создает непрерывность процесса. В силу этого выбор критерия оптимизации для принятия регулярных решений становится неочевидным. Далее построим математическую модель рассматриваемого торгового процесса.

Математическая модель

Для нахождения оптимального объема поставки и оптимального времени поставки предлагается построить имитационную модель, общая структура которой для оценки конкретного решения (Q – объем поставки и T – момент поставки) представлена на рис. 1.

Приведем далее описание обозначений, используемых в модели:

$S(t, x)$ – плотность распределения случайной величины ежедневного спроса в момент времени t (величину t будем для определенности исчислять в днях);

T_0 – текущий момент времени;

Q_0 – нераспроданный объем текущей партии на момент времени T_0 ;

t_0 – случайная величина, продолжительность распродажи текущей партии;

A – случайная величина, время окончания продаж текущей партии;

B – случайная величина, время начала реализации новой партии;

C – случайная величина, время окончания продаж новой партии;

d_0 – интервал времени от текущего момента T_0 до момента окончания срока годности текущей партии, т. е. максимально возможная продолжительность продаж текущей партии;

d_1 – интервал времени от момента T поставки новой партии до момента окончания срока годности новой партии, т. е. максимально возможная продолжительность продаж новой партии;

t_1 – случайная величина, продолжительность распродажи новой партии;

V_1 – случайная величина, объем распродажи новой партии через торговую сеть;

q – цена продажи единицы продукции;

r – закупочная цена единицы продукции;

P – фиксированная стоимость доставки; $P = 0$, если стоимость доставки заложена в закупочной цене;

k – коэффициент просроченной продукции; если $k > 0$, то это цена реализации просроченной продукции по заниженной цене, если $k < 0$, то это удельные затраты утилизации просроченной продукции;

N – количество итераций в имитационной модели;

$L(Q, d, S(t, x), T)$ – встроенная имитационная модель определения срока и объема реализации;

$W(Q, T)$ – усредненный оценочный критерий для решения (Q, T) .

Математический смысл полученного результата есть оценка математического ожидания случайной величины W . Экономический смысл критерия W состоит в соотношении прибыли от реализации новой партии с величиной временного интервала между окончанием продажи текущей партии и окончанием распродажи новой партии. По-видимому, уместно было бы назвать данный критерий плотностью потока прибыли. Логика использования дан-

ного критерия состоит в таком принятии решений относительно сроков и объемов новых поставок, при которых плотность потока прибыли поддерживалась бы на максимально высоком уровне. Очевидно, что идеальным результатом управления запасами была бы такая организация процесса, при которой ежедневно была бы полная реализация спроса и при этом не было бы просроченной продукции.

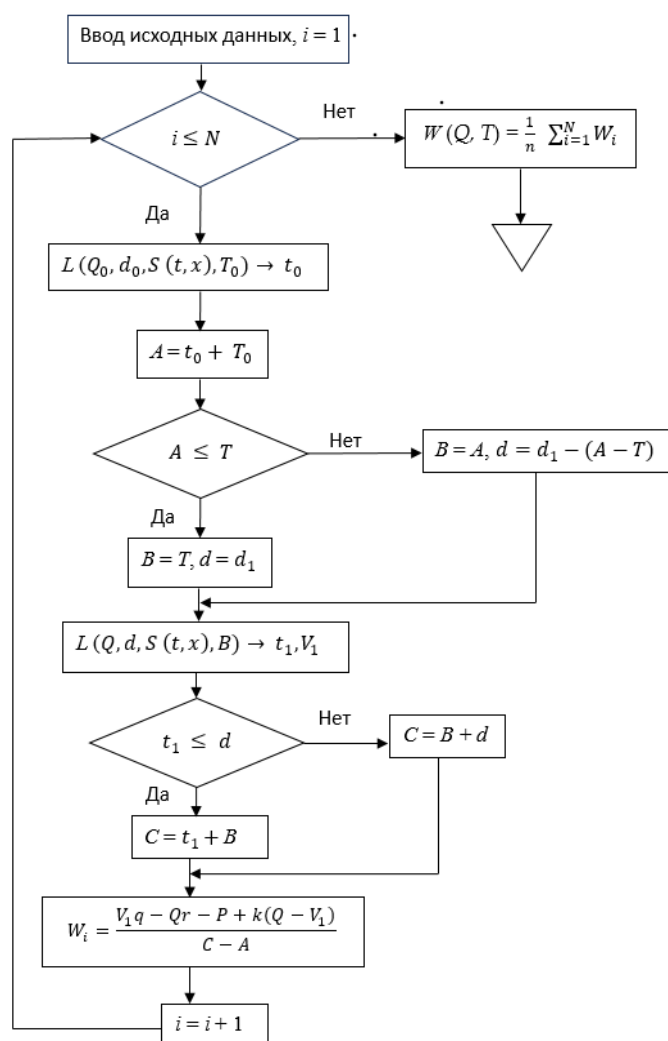


Рис. 1. Имитационная модель оценки решения (Q, T)

Рассмотрим встроенную в алгоритм имитационной модели процедуру $L(Q, d, S(t, x), T) \rightarrow t_1, V_1$, которая также реализуется методом имитационного моделирования. В момент T начинается реали-

зация объема товара Q со сроком годности d , исходя из случайного спроса $S(t, x)$. Процедура определяет два параметра, которые являются производными случайными величинами от исходных данных: про-

должительность реализации товарной партии и объем, реализованный в торговой сети. Общий вид имитационной моде-

ли для данной процедуры представлен на рис. 2.

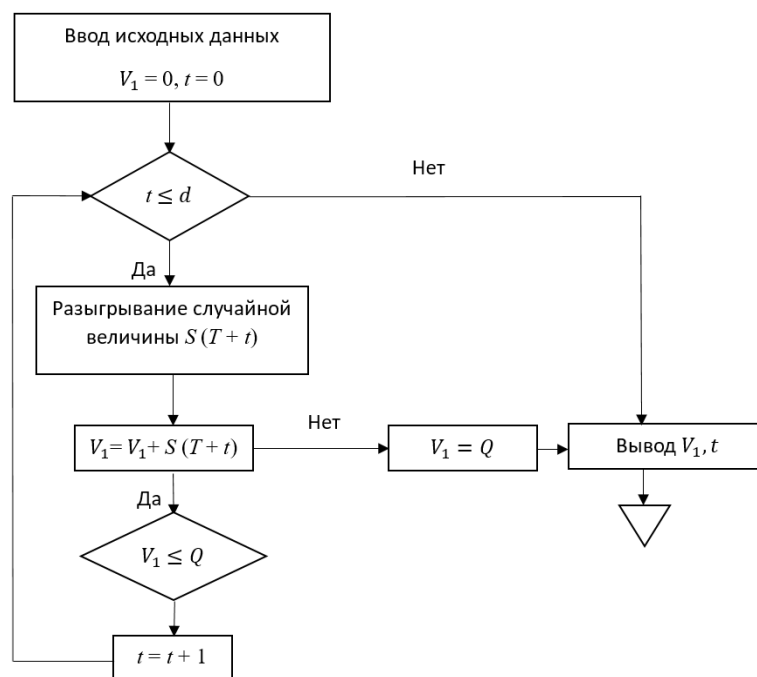


Рис. 2. Имитационная модель вычисления срока и объема реализации

Поиск оптимальных параметров

Приведем общую схему поиска оптимального решения задачи. Будем рассматривать искомые параметры Q и T , принадлежащие некоторым отрезкам $[Q_1, Q_2]$ и $[T_1, T_2]$ соответственно. Например, значение Q_1 должно быть не меньше, чем размер дневного спроса, а Q_2 – не больше, чем объем, потребляемый за период годности товара, увеличенный на страховой запас. Параметр T_2 должен быть заведомо меньше, чем сумма остаточного срока годности текущей партии и срока годности завозимой партии.

Далее необходимо определиться с шагами просмотра диапазонов HQ и HT . Выбор параметра HQ может определяться, например, размером минимальной упаковки (коробка, палета и т. д.), а параметр HT – единицей измерения срока годности (час, день, неделя и т. д.).

Пусть $Q_2 = NQ_1 \cdot HQ$ и $T_2 = NT \cdot HT$. Рассмотрим пары значений (Q_i, T_j) , где $Q_i = i \cdot HQ, i = \overline{0, NQ}$, а $T_j = j \cdot HT, j = \overline{0, NT}$.

Рассматриваемые пары образуют прямоугольную сетку размерностью $(NQ + 1) \cdot (NT + 1)$.

Для каждого узла построенной сетки вычислим оценку экономической целесообразности согласно вышеприведенному алгоритму и выберем узел (Q^*, T^*) , имеющий максимальное значение оценки. Полученная пара значений и определяет искомые оптимальные параметры поставки.

Численные примеры

Пример 1. Пусть ежедневный спрос является нормально распределенной статической случайной величиной $N(\mu, \sigma)$. Рассмотрим пример со следующими числовыми исходными параметрами: $Q_0 = 2\,000$, $q = 50$, $r = 30$, $P = 5\,000$, $k = 10$, $\mu = 100$, $\sigma = 20$, $d_0 = 10$, $d_1 = 20$, $N = 1\,000$, $Q_1 = 500$, $Q_2 = 2\,500$, $HQ = 100$, $T_1 = 5$, $T_2 = 20$, $HT = 1$.

Как нетрудно заметить, в данном случае вероятность того, что текущий остаток товара будет распродан до окончания срока его годности, крайне мала. В таком выборе

исходных параметров предложенная выше имитационная модель оценивает $26 \cdot 16 = 416$ вариантов параметров (Q , T), проигрывая для каждого из них 1 000 оценочных циклов согласно алгоритму (см. рис. 1). В каждом таком цикле присутствуют две встроенные имитационные процедуры с неопределенным числом имитаций, описанные алгоритмом (см. рис. 2). Оптимальными вычисленными параметрами являются значения $Q^* = 2\,000$, $T^* = 11$ с оценочным результатом $W^* = 1\,799$. Оценкой сверху для математического ожидания плотности потока прибыли, очевидно, является величина $(50 - 30) \cdot 100 = 2\,000$, но она недостижима в силу присутствия транспортных расходов и неопределенности спроса. Графическое представление оценок параметра W для различных сочетаний (Q , T) представлено на рис. 3.

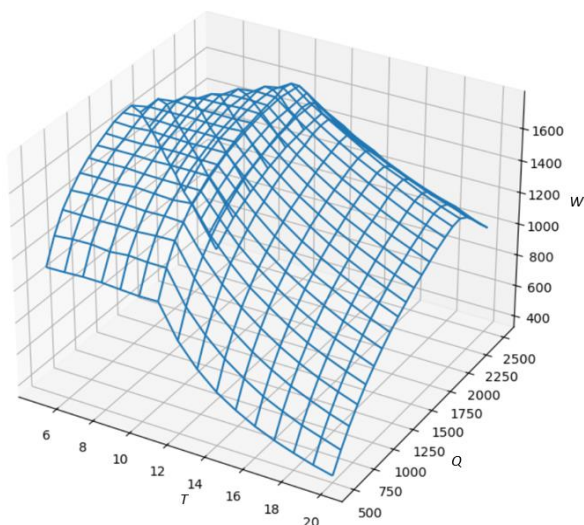


Рис. 3. Графическое представление результатов примера 1

Пример 2. В примере 2 сохраняются все параметры примера 1, кроме Q_0 , который в данном примере равен 500. Как нетрудно заметить, в данном случае вероятность то-

го, что текущий остаток товара будет распродан до окончания срока его годности, крайне высока. Оптимальными вычисленными параметрами являются значения $Q^* = 2\,000$, $T^* = 5$ с оценочным результатом $W^* = 1\,752$. Графические представления оценок параметра W для различных сочетаний (Q , T) представлены на рис. 4.

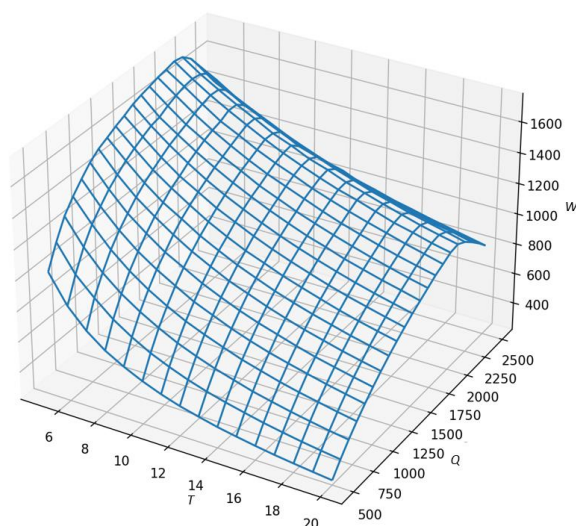


Рис. 4. Графическое представление результатов примера 2

Заключение

Адаптивный подход к планированию, развитию и функционированию экономических систем предполагает, что механизм принятия плановых решений в условиях неопределенности исходных данных должен не только распространяться на стадию предварительных решений, но и отражать способы анализа и оценки последствий этой неопределенности. Именно такой подход использован в настоящем исследовании для задачи оптимизации времени поставки и объема поставки продукции с ограниченным сроком годности.

Список литературы

1. Аникин Б. А., Тяпухин А. П. Коммерческая логистика. – М. : Проспект, 2012.
2. Бродецкий Г. Л., Токарева Е. В. Модификация экономического размера заказа при управлении запасами для предприятий мясоперерабатывающей отрасли // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. – № 3. – С. 49–61.

3. Грибанова Е. Б., Мицель А. А. Алгоритмические имитационные модели управления материальными запасами на складе // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – № 8. – С. 201–207.
4. Дубров А. М., Лагоша Б. А., Хрусталеv Е. Ю. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе. – М. : Финансы и статистика, 2004.
5. Косоруков О. А., Свиридова О. А. Имитационное моделирование в стохастической задаче управления запасами // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 2. – С. 147–149.
6. Косоруков О. А., Свиридова О. А. Модель минимизации издержек в системах управления запасами с учетом неопределенности спроса // Логистика и управление цепями поставок. – 2009. – № 5 (34). – С. 52–58.
7. Маслов С. Е. Расчет оптимального момента поставки с учетом неопределенности спроса // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 5 (88). – С. 82–90.
8. Маслов С. Е., Косоруков О. А. Модель оптимизации объема поставки с учетом неопределенности спроса // Финансовая экономика. – 2019. – № 1. – С. 191–197.
9. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / пер. с англ. под ред. В. С. Лукинско-го. – СПб. : Питер, 2006.
10. Brodetskiy G. L., Gerami V. D., Shidlovskii I. G. The Modified EOQ-Formula for Deferred Order Payments and Delays in Receipt of Revenue // Journal of Hunan University (Natural Sciences). – 2024. – N 51 (2).
11. Kosorukov O. A., Maslov S. E., Sviridova O. A., Bagisbayev C. K. Models for Optimizing the Supply Volume in Conditions of Uncertainty in Demand, Taking into Account the Risks of Accrual of Penalties, Loss of Customers and Additional Costs // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 387. – P. 249–259.

References

1. Anikin B. A., Tyapukhin A. P. Kommercheskaya logistika [Commercial Logistics]. Moscow, Prospekt, 2012. (In Russ.).
2. Brodetskiy G. L., Tokareva E. V. Modifikatsiya ekonomichnogo razmera zakaza pri upravlenii zapasami dlya predpriyatiy myasopererabatyvayushchey otrasli [Modification of Order Economic Size when Managing Stocks at Enterprises of Meat Processing]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and Supply Chain Managing], 2008, No. 3, pp. 49–61. (In Russ.).
3. Griбанова Е. Б., Mitsel A. A. Algoritmicheskie imitatsionnye modeli upravleniya materialnymi zapasami na sklade [Algorithmic Imitation Models of Managing Material Stocks at Warehouse]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Izvestiya of the Tomsk Polytechnic University], 2006, No. 8, pp. 201–207. (In Russ.).
4. Dubrov A. M., Lagosha B. A., Khrustalev E. Yu. Modelirovanie riskovannykh situatsiy v ekonomike i biznese [Modeling Risky Situations in Economy and Business]. Moscow, Finansy i statistika, 2004. (In Russ.).
5. Kosorukov O. A., Sviridova O. A. Imitatsionnoe modelirovanie v stokhasticheskoy zadache upravleniya zapasami [Imitation Modeling in Stochastic Task of Stock Managing]. *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO* [Economics, Statistic s and Information Science. Bulletin UMO], 2013, No. 2, pp. 147–149. (In Russ.).
6. Kosorukov O. A., Sviridova O. A. Model minimizatsii izderzhek v sistemakh upravleniya zapasami s uchetom neopredelennosti sprosa [The Model of Cost Minimization in Systems of Stock Managing with Regard to Demand Uncertainty]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and Delivery Chain Management], 2009, No. 5 (34), pp. 52–58. (In Russ.).

7. Maslov S. E. Raschet optimalnogo momenta postavki s uchetom neopredelennosti sprosa [Estimating the Optimum Moment of Delivery with Regard to Demand Uncertainty]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and Delivery Chain Management], 2018, No. 5 (88), pp. 82–90. (In Russ.).
8. Maslov S. E., Kosorukov O. A. Model optimizatsii obema postavki s uchetom neopredelennosti sprosa [The Model of Delivery Size Optimization with Regard to Demand Uncertainty]. *Finansovaya ekonomika* [Finance Economics], 2019, No. 1, pp. 191–197. (In Russ.).
9. Shapiro G. Modelirovanie tsepi postavok [Delivery Chain Modeling], translated from English by V. S. Lukinskiy. Saint Petersburg, Piter, 2006. (In Russ.).
10. Brodetskiy G. L., Gerami V. D., Shidlovskii I. G. The Modified EOQ-Formula for Deferred Order Payments and Delays in Receipt of Revenue. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 2024, No. 51 (2).
11. Kosorukov O. A., Maslov S. E., Sviridova O. A., Bagisbayev C. K. Models for Optimizing the Supply Volume in Conditions of Uncertainty in Demand, Taking into Account the Risks of Accrual of Penalties, Loss of Customers and Additional Costs. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 387, pp. 249–259.

Сведения об авторах

Олег Анатольевич Косоруков

доктор технических наук, профессор,
профессор Высшей школы управления
и инноваций МГУ имени М. В. Ломоносова;
профессор института математики, экономики
и информационных технологий РАНХиГС;
ведущий научный сотрудник кафедры
математических методов в экономике
РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет имени
М. В. Ломоносова», 119991, Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 51;
ФГБОУ ВО «Российская академия народного
хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации»,
119571, Москва, проспект Вернадского,
д. 82, стр. 1;
ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова», 109992,
Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: kosorukovoa@mail.ru

Ольга Александровна Свиридова

кандидат экономических наук, доцент
кафедры математических методов
в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский
экономический университет
имени Г. В. Плеханова», 109992,
Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: olshan@list.ru

Information about the authors

Oleg A. Kosorukov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Higher School of Management
and Innovation of the Lomonosov Moscow
State University.

Professor of the Institute of Mathematics,
Economics and Information Technology
of the RANEPa;

Leading Researcher of the Department
of Mathematical Methods in Economics
of the PRUE.

Address: Lomonosov Moscow State University,
building 51, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991,
Russian Federation;

The Russian Presidential Academy of National
Economy and Public Administration,
building 1, 82 Vernadsky Avenue,
Moscow, 119571, Russian Federation;
Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 109992, Russian Federation.
E-mail: kosorukovoa@mail.ru

Olga A. Sviridova

PhD, Associate Professor of Department
for Mathematical Methods in Economics
of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 109992,
Russian Federation.
E-mail: olshan@list.ru