УДК 519.178 Вестник СПбГУ. Прикладная математика. Информатика... 2018. Т. 14. Вып. 3
MSC 91B38

Оценка объема заказа товара при возможном падении спроса

В. М. Буре, В. В. Карелин, А. В. Буре

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Для цитирования: *Буре В. М., Карелин В. В., Буре А. В.* Оценка объема заказа товара при возможном падении спроса // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2018. Т. 14. Вып. 3. С. 252–260. https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2018.306

Построена математическая модель, предназначенная для определения оптимальной стратегии поведения торговой фирмы в условиях случайного спроса. В результате проведения специальных маркетинговых исследований выявлено, что в некоторый случайный момент времени произойдет резкое и сильное падение спроса. Предполагается, что торговая фирма использует следующую схему оптового заказа товара. Весь заказанный товар делится на две части, причем первая партия товара поступает сразу и должна быть продана в течение некоторого периода времени T_1; если падения спроса не произошло, то начинается продажа второй партии товара со скидкой. Поставка второй партии покупателям происходит в момент времени T. Изучены различные ситуации, возникающие в результате падения спроса после момента T, либо до момента времени T_1, либо в период между этими моментами времени. Необходимость рассмотрения такой схемы оптового заказа связана с тем, что, во-первых, склады торговой фирмы имеют ограниченный объем и не могут вместить весь закупленный товар, во-вторых, производитель не может предложить сразу всю заказанную партию товара, так как не весь товар может быть произведен в начальный (нулевой) момент времени, когда осуществляется заказ. Для торговой фирмы важное значение имеют моменты времени T_1 и T. В момент времени T_1 она полностью продаст первую партию товара и получит средства, часть которых выплатит фирме-производителю. Момент времени T будет означать успешное завершение полной реализации всего закупленного товара. Выбор моментов времени T_1 и T позволяет определить объем первой партии товара и общий объем всего заказанного у производителя товара. В работе предложена математическая модель, позволяющая осуществить выбор оптимальной стратегии заказа торговой фирмы в условиях возможного падения спроса в случайный момент времени.

Ключевые слова: уровень запаса товара, случайный спрос, дефицит товара, скидка.

Введение. В работе рассматривается модель поведения торговой фирмы, когда предполагаемый спрос на товар носит постоянный характер (константа) на случайном промежутке времени $[0, \tau]$. В некоторый случайный момент времени τ спрос на товар резко падает, что приводит к необходимости продажи всего оставшегося запаса товара по закупочным ценам (без дополнительной скидки) ввиду отсутствия рентабельности дальнейшей продажи товара. Будем считать, что снижение цены до уровня закупочной цены сохраняет спрос на прежнем уровне. Таким образом, по существу речь идет о случайном спросе с двумя уровнями спроса.

Предположим, что торговая фирма использует следующую схему заказа товара у фирмы-производителя. Весь заказанный товар делится на две партии, причем первая поступает сразу и продается в течение некоторого периода времени. Примем, что в момент времени T_1 вся первая партия полностью реализуется, $\tau > T_1$. Тогда начинается продажа второй партии товара, но ее поставка покупателям происходит в момент времени T. Если $\tau > T$, то вторая партия продается на промежутке времени $[T_1, T]$; если выполняется неравенство $T_1 < \tau < T$, то часть второй партии реализуется на промежутке времени $[T_1, \tau]$, в этом случае непроданная часть второй партии продается по закупочной цене (без дополнительной скидки). Если $\tau < T_1$, то торговая фирма отказывается от реализации второй партии товара, выплачивает штраф фирме-производителю, а остаток первой партии реализует по закупочной цене, при этом будем считать, что снижение цены сохраняет уровень спроса. Такая схема работы торговой фирмы встречается на практике и связана с различными ограничениями в деятельности торговой фирмы и фирмы-производителя. Имеются в виду прежде всего технологические ограничения: объем складских помещений, транспортные ограничения, ограничения на производственные мощности фирмы-производителя. Кроме того, рассмотренная схема оптовой закупки позволяет уменьшить риски, связанные с возможными финансовыми потерями. Важной особенностью рассматриваемой задачи является выбор параметров, по которым впоследствии производится оптимизация. В момент времени T_1 торговая фирма полностью продает первую партию товара и получает средства, часть которых она может выплатить фирме-производителю. Кроме того, торговая фирма может использовать полученные средства для выполнения различных финансовых обязательств, связанных, например, с выплатой кредитов. Выбор моментов времени T_1 и T позволяет определить объем первой партии заказанного товара и общий объем всего заказанного у производителя товара Q. Близкие по постановке задачи описывались в статьях [1–17]. Главная отличительная особенность данной работы заключается в случайном характере спроса на товар в рамках сформулированной модели спроса.

Список основных обозначений. Приведем основные обозначения: c — закупочная цена единицы товара у производителя; $p\,(p > c)$ — цена единицы товара для покупателя в магазине торговой фирмы; s — скидка, предоставляемая покупателю при покупке единицы товара, при дефиците товара (товар поставляется покупателю позже); T_1 — момент времени, когда первая партия товара реализована; T — момент времени поступления второй партии товара; Q — общий объем всего заказанного у производителя товара; Q_1 — объем первой партии товара; h — максимальный уровень спроса; l — минимальный уровень спроса; Q_2 — объем второй партии товара; $Q_1^{\mathtt{max}}$ — максимально возможный объем первой партии товара; $Q_1^{\mathtt{min}}$ — минимально возможный объем первой партии товара; $Q_2^{\mathtt{max}}$ — максимально возможный объем второй партии товара; $Q_2^{\mathtt{min}}$ — минимально возможный объем второй партии товара; τ — момент резкого изменения (падения) спроса; $f(t)$ — плотность распределения случайной величины; $M(t)$ — текущий уровень запаса товара (дефицита товара); $D(t)$ — мгновенный спрос на товар; V — потери, связанные с дефицитом товара в торговой фирме; $TP(T_1; T)$ — усредненный доход торговой фирмы; $TP_i(T_1; T)$ — усредненный доход торговой фирмы для варианта $i,\ i = 1, 2, 3$; L — штраф, который торговая фирма выплачивает фирме-производителю при отказе от реализации второй партии товара.

Основные результаты. Будем предполагать, что функция спроса на товар имеет такой вид:

$$D(t) = \begin{cases} h, & t < \tau, \\ l, & t \geqslant \tau, \end{cases}$$

где τ — момент резкого изменения спроса (случайная величина), $0 \leqslant l \ll h$.

Таким образом, спрос в случайный момент времени резко и сильно падает с уровня h на очень низкий уровень l. Возможны следующие варианты реализации для случайного момента τ: первый — $\{T \leqslant \tau\}$; второй — $\{\tau < T_1\}$; третий — $\{T_1 \leqslant \tau < T\}$.

Рассмотрим последовательно все варианты и далее объединим их в один общий.

Первый вариант: $\{T \leqslant \tau\}$.

Текущий уровень запаса $M(t)$ для $t \in [0, T_1]$ определяется соотношением

$$\frac{dM(t)}{dt} = -D(t) = -h, \qquad M(T_1) = 0.$$

Отсюда следует уравнение

$$M(t) = -h \cdot t + Q_1,$$

в котором Q_1 — объем первой партии товара.

Из соотношения $M(T_1) = 0$ получаем $Q_1 = h \cdot T_1$.

Так как в рамках рассматриваемой постановки должно выполняться неравенство

$$Q_1^{(\mathtt{min})} \leqslant Q_1 \leqslant Q_1^{(\mathtt{max})},$$

находим, что

$$M(T) = -h \cdot (T - T_1) + Q_2 = 0,$$

где Q_2 — объем второй партии товара. Следовательно,

$$Q_2 = h \cdot (T - T_1).$$

Так как должно выполняться неравенство

$$Q_2^{(\mathtt{min})} \leqslant Q_2 \leqslant Q_2^{(\mathtt{max})},$$

получаем следующее ограничение на выбор момента времени T:

$$\frac{1}{h} \cdot Q_2^{(\mathtt{min})} + T_1 \leqslant T \leqslant \frac{1}{h} \cdot Q_2^{(\mathtt{max})} + T_1.$$

Отсюда имеем уравнение

$$Q = Q_1 + Q_2 = h \cdot T.$$

Потери, связанные с недопоставкой (дефицитом) товара, на промежутке $[T_1; T]$ определяются выражением

$$V = s \cdot Q_2 = s \cdot h \cdot (T - T_1).$$

В данном варианте усредненный доход торговой фирмы рассматривается так:

$$TP_1(T_1, T) = \frac{1}{T}\{(p - c) \cdot Q - V\} =$$

$$= \frac{1}{T}\{(p - c) \cdot h \cdot T - s \cdot h \cdot T + s \cdot h \cdot T_1\} =$$

$$= \frac{1}{T}\{(p - c - s) \cdot h \cdot T + s \cdot h \cdot T_1\}$$

при ограничении

$$\frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{min})} \leqslant T_1 \leqslant \frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{max})}.$$

Второй вариант: $\{\tau < T_1\}$.

Уровень запаса товара в момент времени определяется по формуле

$$M(\tau) = -h \cdot \tau + Q_1 = -h \cdot \tau + h \cdot T_1 = h \cdot (T_1 - \tau).$$

В этом варианте, учитывая штраф за отказ от реализации второй партии товара, усредненный доход торговой фирмы имеет вид

$$TP_2(T_1, T) = \frac{1}{T} \cdot \{(p - c) \cdot h \cdot \tau - L\}.$$

Третий вариант: $\{T_1 \leqslant \tau < T\}$.

В этом варианте текущий уровень запаса $M(t)$ для $t \in [0; T_1]$ задается уравнением

$$\frac{dM(t)}{dt} = -D(t) = -h, \qquad M(T_1) = 0.$$

Следовательно,

$$M(t) = -h \cdot t + Q_1,$$

в котором Q_1 — объем первой партии товара.

Как и в первом варианте, из соотношения $M(T_1) = 0$ находим

$$Q_1 = h \cdot T_1.$$

Учитывая неравенство

$$Q_1^{(\mathtt{min})} \leqslant Q_1 \leqslant Q_1^{(\mathtt{max})},$$

получаем следующее ограничение на T_1:

$$\frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{min})} \leqslant T_1 \leqslant \frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{max})}.$$

Из неравенства

$$Q_2^{(\mathtt{min})} \leqslant Q_2 \leqslant Q_2^{(\mathtt{max})}$$

вытекает ограничение на T:

$$\frac{1}{h} \cdot Q_2^{(\mathtt{min})} + T_1 \leqslant T \leqslant \frac{1}{h} \cdot Q_2^{(\mathtt{max})} + T_1.$$

Уровень запаса $M(t)$ для $t \in [T_1, \tau]$ определяется формулой

$$M(t) = -h \cdot (t - T_1), \quad M(\tau) = -h \cdot (\tau - T_1),$$

а уровень запаса $M(t)$ для $t \in [\tau, T]$ задается соотношением

$$M(t) = -h \cdot (\tau - T_1) - h \cdot (t - \tau) = -h \cdot (t - T_1).$$

При этом

$$M(T) = -h \cdot (T - T_1) + Q_2 = 0.$$

Следовательно,

$$Q_2 = h \cdot (T - T_1), \qquad Q_1 + Q_2 = Q = h \cdot T.$$

Как и в первом варианте, потери, связанные с недопоставкой (дефицитом) товара, на промежутке $[T_1, T]$ определяются выражением

$$V = s \cdot Q_2 = s \cdot h \cdot (T - T_1).$$

В рассматриваемом варианте

$$TP_3(T_1, T) = \frac{1}{T} \cdot (p - c) \cdot Q_1 + (p - c - s) \cdot h \cdot (\tau - T_1) =$$

$$= \frac{1}{T} \cdot \{s \cdot h \cdot T_1 - s \cdot h \cdot \tau + (p - c) \cdot h \cdot \tau\} = \frac{1}{T} \cdot \{(p - c) \cdot h \cdot \tau = s \cdot h \cdot (T - T_1)\}$$

с ограничениями вида

$$\frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{min})} \leqslant T_1 \leqslant \frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{max})},$$

$$\frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{min})} + T_1 \leqslant T \leqslant \frac{1}{h} \cdot Q_1^{(\mathtt{max})} + T_1.$$

Объединив все три варианта, представим усредненный доход торговой фирмы в виде

$$TP(T_1, T) = TP_1(T_1, T) \cdot I\{\tau \geqslant T\} + TP_2(T_1, T) \cdot I\{\tau < T_1\} + TP_3(T_1, T) \cdot I\{T_1 \leqslant \tau < T\},$$

где $I\{\cdot\}$ — индикатор события в скобках.

Для индикаторов несовместных событий выполнено тождество

$$I\{\tau \geqslant T\} + I\{\tau < T_1\} + I\{T_1 \leqslant \tau < T\} \equiv 1.$$

Нетрудно видеть, что

$$TP(T_1, T) = \frac{1}{T} \cdot \{(p - c - s) \cdot h \cdot T + s \cdot h \cdot T_1\} \cdot I\{\tau \geqslant T\} +$$

$$+ \frac{1}{T} \cdot \{(p - c) \cdot h \cdot \tau - L\} \cdot I\{\tau < T_1\} +$$

$$+ \frac{1}{T} \cdot \{(p - c) \cdot h \cdot \tau - s \cdot h \cdot (T - T_1)\} \cdot I\{T_1 \leqslant \tau < T\} =$$

$$= \frac{1}{T} \cdot \{(p - c - s) \cdot h \cdot T + s \cdot h \cdot T_1\} \cdot I\{\tau \geqslant T\} + \frac{1}{T} \cdot (p - c) \cdot h \cdot \tau \cdot I\{0 \leqslant \tau < T\} -$$

$$- \frac{1}{T} \cdot L \cdot I\{\tau < T_1\} - \frac{1}{T} \cdot s \cdot h \cdot (\tau - T_1) \cdot I\{T_1 \leqslant \tau < T\} =$$

$$= \frac{1}{T} \cdot (p - c) \cdot h \cdot T \cdot I\{\tau \geqslant T\} - \frac{1}{T} \cdot s \cdot h \cdot (T - T_1) \cdot I\{\tau \geqslant T\} - \frac{1}{T} \cdot L \cdot I\{\tau < T_1\} +$$

$$+ \frac{1}{T} \cdot (p - c) \cdot h \cdot \tau \cdot I\{\tau < T\} - \frac{1}{T} \cdot s \cdot h \cdot (\tau - T_1) \cdot I\{T_1 \leqslant \tau < T\}.$$

Момент резкого снижения спроса τ является случайной величиной, следовательно, величина усредненного дохода торговой фирмы $TP(T_1, T)$ также случайна, поэтому целесообразно перейти к ожидаемому усредненному доходу торговой фирмы (E — оператор математического ожидания)

$$ETP(T_1, T) = (p - c) \cdot h \cdot \int_T^{\infty} f(t) dt - \frac{1}{T} \cdot s \cdot h \cdot (T - T_1) \cdot \int_T^{\infty} f(t) dt +$$

$$+ \frac{1}{T} \cdot (p - c) \cdot h \cdot \int_0^T t \cdot f(t) dt - \frac{1}{T} \cdot L \cdot \int_0^{T_1} f(t) dt -$$

$$-\frac{1}{T}\cdot s\cdot h\cdot\int\limits_{T_1}^{T} f(t)\cdot(t-T_1)dt$$

при ограничениях

$$\frac{1}{h}\cdot Q_1^{(\mathtt{min})}\leqslant T_1\leqslant\frac{1}{h}\cdot Q_1^{(\mathtt{max})},$$

$$\frac{1}{h}\cdot Q_2^{(\mathtt{min})}+T_1\leqslant T\leqslant\frac{1}{h}\cdot Q_2^{(\mathtt{max})}+T_1.$$

Будем далее предполагать, что параметры (моменты времени) T_1 и T могут быть выбраны торговой фирмой таким образом, чтобы увеличить ожидаемый доход, т. е. торговая фирма может управлять выбором данных параметров. Из этого вытекает, что можно сформулировать задачу условной оптимизации ожидаемого дохода торговой фирмы следующим образом:

$$\max_{T_1,T} ETP(T_1,T)$$

при условиях

$$\frac{1}{h}\cdot Q_1^{(\mathtt{min})}\leqslant T_1\leqslant\frac{1}{h}\cdot Q_1^{(\mathtt{max})},$$

$$\frac{1}{h}\cdot Q_2^{(\mathtt{min})}+T_1\leqslant T\leqslant\frac{1}{h}\cdot Q_2^{(\mathtt{max})}+T_1.$$

Из содержательного смысла случайной величины τ понятно, что она может принимать только неотрицательные значения и представляет собой некоторый момент времени. Для задания вероятностного распределения случайной величины τ целесообразно использовать распределения, сосредоточенные на положительной части числовой оси, например гамма- или бета-распределение. Рассмотрим числовой пример для равномерного распределения случайной величины τ, которое является частным случаем бета-распределения:

$$f(t)=\begin{cases}\frac{1}{8}, & t\in[2,10],\\ 0, & t<2,\quad t>10.\end{cases}$$

Положим

$$\lambda=5,\ p=7,\ s=2,\ h=8,\ L=3,\ Q_1^{(\mathtt{min})}=16,\ Q_2^{(\mathtt{min})}=8,\ Q_1^{(\mathtt{max})}=40,\ Q_2^{(\mathtt{max})}=20.$$

Тогда ограничения имеют вид

$$2\leqslant T_1\leqslant 5.1+T_1<T<2.5+T_1.$$

Усредненный доход торговой фирмы определяется по формуле

$$ETP(T_1,T)=48\cdot\frac{10-T}{8}-\frac{16\cdot(T-T_1)\cdot(10-T)}{8\cdot T}+\frac{48\cdot(T^2-4)}{8\cdot T\cdot 2}-$$

$$-\frac{3\cdot(T_1-2)}{8\cdot T}-\frac{16\cdot(T-T_1)^2}{8\cdot T\cdot 2}.$$

Берем производные по T_1 и T. Из вида производных оказывается, что оптимальные значения параметров, по которым производится оптимизация, таковы:

$$T_1^*=5,\quad T^*=\frac{5}{2}+T_1^*=7.5.$$

Заключение. В работе сформулирована модель для определения оптимального размера заказа (оптовой закупки) торговой фирмы в условиях, когда возможно резкое и сильное падение спроса в некоторый случайный момент времени, а сам заказ осуществляется двумя партиями товара.

Литература

1. *Буре В. М., Карелин В. В., Полякова Л. Н., Ягольник И. В.* Моделирование процесса заказа для кусочно-линейного спроса с насыщением // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 138–146.

2. *Bure V. M., Karelin V. V., Myshkov S. K., Polyakova L. N.* Determination of order QUANTITY with piecewise-linear demand function with saturation // Intern. Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12, N 18. P. 7857–7862.

3. *Giri B. C., Sharma S.* Optimal ordering policy for an inventory system with linearly increasing demand and alowable shortages under two levels trade credit financing // Oper. Res. Intern. Journal. 2016. Vol. 16. P. 25–50.

4. *Aggarwal S. P., Jaggi C. K.* Ordering policies of deteriorating items under permissible delay in payments // J. Oper. Res. Soc. 1995. Vol. 46, N 5. P. 658–662.

5. *Dave U.* Letters and viewpoints on economic order quantity under conditions of permissible delay in payments // J. Oper. Res. Soc. 1985. Vol. 46, N 5. P. 1069–1070.

6. *Chen S. C., Teng J. T., Skouri K.* Economic production quantity models for deteriorating items with up-stream full trade credit and down-stream partial trade credit // Intern. Journal Prod. Econ. 2013. Vol. 155. P. 302–309.

7. *Giri B. C, Sharma S.* An integrated inventory model for a deteriorating item with allowable shortages and credit linked wholesale price // Optim. Lett. 2015. Vol. 37. P. 624–637. DOI: 10.1007/s11590-014-0810-2

8. *Goyal S. K.* Economic order quantity under conditions of permissible delay in payments // J. Oper. Res. Soc. 1985. Vol. 36(4). P. 335–338.

9. *Huang Y. F.* Optimal retailer's ordering policies in the EOQ model under trade credit financing // J. Oper. Res. Soc. 2003. Vol. 54(9). P. 1011–1015.

10. *Huang Y. F., Hsu K. H.* An EOQ model under retailer partial trade credit policy in supply chain // Intern. Journal Prod. Econ. 2008. Vol. 112(2). P. 655–664.

11. *Jamal A. M. M., Sarker B. R., Wang S.* An ordering policy for deteriorating items with allowable shortages and permissible delay in payment // J. Oper. Res. Soc. 1997. Vol. 48(8). P. 826–833.

12. *Khanra S., Ghosh S. K., Chaudhuri K. S.* An EOQ model for a deteriorating item with time dependent quadratic demand under permissible delay in payment // Appl. Math. Comput. 2011. Vol. 218(1). P. 1–9.

13. *Khanra S., Mandal B., Sarkar B.* An inventory model with time dependent demand and shortages under trade credit policy // Econ. Model. 2013. Vol. 35. P. 349–355.

14. *Maihami R., Abadi I. N. K.* Joint control of inventory and its pricing for non-instantaneously deteriorating items under permissible delay in payments and partial backlogging // Math. Comp. Model. 2012. Vol. 55(5–6). P. 1722–1733.

15. *Bure V. M., Karelin V. V., Polyakova L. N.* Probabilistic model of terminal services // Applied Mathematical Sciences. 2016. Vol. 10(39). P. 1945–1952.

16. *Bure V. M., Karelin V. V., Polyakova L. N.* The problem of resource allocation between the protection system and constructing redundant components // Applied Mathematical Sciences. 2015. Vol. 9(93–96). P. 4771–4779.

17. *Karelin V. V.* Probabilistic model of terminal services // Automation and Remote Control. 2004. Vol. 65(3). P. 483–492.

Статья поступила в редакцию 18 сентября 2017 г.; принята к печати 14 июня 2018 г.

Контактная информация:

Буре Владимир Мансурович — д-р техн. наук, проф.; vlb310154@gmail.com

Карелин Владимир Витальевич — канд. физ.-мат. наук, доц.; vlkarelin@mail.ru

Буре Артем Владимирович — bure.artem@gmail.com

Evaluation of the volume of ordering of goods while possible demand drop

V. M. Bure, V. V. Karelin, A. V. Bure

St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Bure V. M., Karelin V. V., Bure A. V. Evaluation of the volume of ordering of goods while possible demand drop. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2018, vol. 14, iss. 3, pp. 252–260. https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2018.306

In this work, a mathematical model, designed to determine the optimal strategy of the trading firm's behavior is constructed under conditions of random demand. As a result of special marketing research, it is determined that at some random time T there will be a sharp and strong drop in demand. It is assumed that the trading company uses the following scheme of the wholesale order of the goods. All ordered goods are divided into two parts, the first consignment of goods arriving immediately, and it must be sold within a certain period of time T_1, if the demand does not drop, then the sale of the second consignment of goods starts at a discount. The delivery of the second batch to the buyers occurs at time T. The article considers various situations that arise as a result of a drop in demand after the moment T, either until the time T_1 or in the period between the time moments T_1 and T. It is necessary to consider such a wholesale order scheme. Firstly, the warehouses of the trading company have a limited scope and cannot accommodate the entire ordered volume of goods, and secondly, the producer cannot immediately supply the entire ordered lot of goods, since not all goods could be produced in the initial (zero) time when the order is made. For the trading company, the moments of time T_1 and T are important. At time T_1, the trading company will completely sell the first shipment of the goods and receive the funds, part of which it will pay to the firm for the manufacturer. The time T is also extremely important for the trading company, as it will mean the successful completion of the full realization of the entire purchased product. The choice of time points T_1 and T allows determining the volume of the first consignment of ordered goods and the total volume of all ordered goods from the manufacturer. In this work a mathematical model is proposed that allows choosing the optimal ordering strategy for a trading company in conditions of a possible drop in demand at a random time.

Keywords: stock level of the goods, random demand, shortage of goods, discount.

References

1. Bure V. M., Karelin V. V., Polyakova L. N., Yagolnik I. V. Modelirovanie processa zakaza dlya kusochno-linejnogo sprosa s nasyshcheniem [Modeling of the ordering process for piecewise-linear demand with saturation]. *Vestnik of Saint Peterburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2017, vol. 13(2), pp. 138–146. (In Russian)

2. Bure V. M., Karelin V. V., Myshkov S. K., Polyakova L. N. Determination of order QUANTITY with piecewise-linear demand function with saturation. *Intern. Journal of Applied Engineering Research*, 2017, vol. 12, no. 18, pp. 7857–7862.

3. Giri B. C., Sharma S. Optimal ordering policy for an inventory system with linearly increasing demand and alowable shortages under two levels trade credit financing. *Oper. Res. Intern. Journal*, 2016, vol. 16, pp. 25–50.

4. Aggarwal S. P., Jaggi C. K. Ordering policies of deteriorating items under permissible delay in payments. *Oper. Res. Intern. Journal*, 1995, vol. 46(5), pp. 658–662.

5. Dave U. Letters and viewpoints on economic order quantity under conditions of permissible delay in payments. *Journal Oper. Res. Soc.*, 1985, vol. 46(5), pp. 1069–1070.

6. Chen S. C., Teng J. T., Skouri K. Economic production quantity models for deteriorating items with up-stream full trade credit and down-stream partial trade credit. *Intern. Journal Prod. Econ.*, 2013, vol. 155, pp. 302–309.

7. Giri B. C., Sharma S. An integrated inventory model for a deteriorating item with allowable shortages and credit linked wholesale price. *Optim. Lett.*, 2015, vol. 37, pp. 624–637. DOI:10.1007/s11590-014-0810-2.

8. Goyal S. K. Economic order quantity under conditions of permissible delay in payments. *J. Oper. Res. Soc.*, 1985, vol. 36(4), pp. 335–338.

9. Huang Y. F. Optimal retailer's ordering policies in the EOQ model under trade credit financing. *J. Oper. Res. Soc.*, 2003, vol. 54(9), pp. 1011–1015.

10. Huang Y. F., Hsu K. H. An EOQ model under retailer partial trade credit policy in supply chain. *Intern. Journal Prod. Econ.*, 2008, vol. 112(2), pp. 655–664.

11. Jamal A. M. M., Sarker B. R., Wang S. An ordering policy for deteriorating items with allowable shortages and permissible delay in payment. *J. Oper. Res. Soc.*, 1997, vol. 48(8), pp. 826–833.

12. Khanra S., Ghosh S. K., Chaudhuri K. S. An EOQ model for a deteriorating item with time dependent quadratic demand under permissible delay in payment. *Appl. Math. Comput.*, 2011, vol. 218(1), pp. 1–9.

13. Khanra S., Mandal B., Sarkar B. An inventory model with time dependent demand and shortages under trade credit policy. *Econ. Model.*, 2013, vol. 35, pp. 349–355.

14. Maihami R., Abadi I. N. K. Joint control of inventory and its pricing for non-instantaneously deteriorating items under permissible delay in payments and partial backlogging. *Math. Comp. Model.*, 2012, vol. 55(5–6), pp. 1722–1733.

15. Bure V. M., Karelin V. V., Polyakova L. N. Probabilistic model of terminal services. *Applied Mathematical Sciences*, 2016, vol. 10 (39), pp. 1945–1952.

16. Bure V. M., Karelin V. V., Polyakova L. N. The problem of resource allocation between the protection system and constructing redundant components. *Applied Mathematical Sciences*, 2015, vol. 9(93–96), pp. 4771–4779.

17. Karelin V. V. Probabilistic model of terminal services. *Automation and Remote Control*, 2004, vol. 65(3), pp. 483–492.

Author's information:

Vladimir M. Bure — Dr. Sci. in Technics, Professor; vlb310154@gmail.com

Vladimir V. Karelin — PhD Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor; vlkarelin@mail.ru

Artem V. Bure — bure.artem@gmail.com