

# ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

---

И.А. Баев, д-р экон. наук, профессор,

Д.А. Дрозин<sup>1</sup>,  
г. Челябинск

## УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ В ПРОЦЕССЕ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ТОВАРА

Строится математическая модель запасов и убытков предприятия-новатора. Раскрывается структура эффективности управления запасами. Ставится задача и предлагается алгоритм оптимального управления запасами инновационного товара. Предложенный алгоритм управления запасами инновационного товара, позволяет минимизировать потери от хранения его излишков и минимизировать упущенную прибыль. Актуальность решения этой задачи обусловлена известной особенностью освоения рынка инновационной продукции.

**Ключевые слова:** управление запасами, реализация инновационного товара.

Инновационное развитие является одной из ключевых задач нашей страны. Различные аспекты инновационного развития рассматривались, в частности, в работах [1–9]. Первостепенным с точки зрения управления предприятием-новатором является управление затратами на производство и сбыт инновационного товара. Одним из важных аспектов управления затратами предприятия является управление запасами товара. Задачи управления запасами, в частности, рассматривались в работах [10–12]. При неправильном управлении запасами инновационного товара убыток от сформированных излишков или от недополученной прибыли может иметь существенное значение. При этом динамика продаж инновационного товара является

трудно прогнозируемой в плане управления запасами.

В лучшем случае запасов товара на предприятии должно быть столько, чтобы, с одной стороны, полностью удовлетворять спрос, а с другой стороны, не допускать излишков товара. Однако в реальности из-за неопределенности в прогнозе дальнейшего спроса предприятие производит либо больше товара, чем надо, либо, наоборот, недостаточно для полного удовлетворения спроса. Если производится избыток товара, то требуются дальнейшие затраты на его хранение, а денежные средства, затраченные предприятием на эти излишки, являются показателями экономических потерь. В ситуации, когда предприятие реализует товар в недостаточном количестве, создается дефицит товара, рынок становится более привлекательным, что снижает барьер входа на рынок конкурентов, а предприятие недополучает прибыль. С учетом сказанного сначала построим математическую модель, учитывающую убытки от неэффективного управления запасами. Затем сформулируем задачу оптимального управления запасами инновационного товара и разработаем его алгоритм.

---

<sup>1</sup> *Баев Игорь Александрович* – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и финансов, декан факультета экономики и управления Южно-Уральского государственного университета (НИУ); e-mail: baev@econom.susu.ac.ru.

*Дрозин Дмитрий Александрович* – старший преподаватель кафедры прикладной математики Южно-Уральского государственного университета (НИУ); e-mail: drozin2005@mail.ru.

Пусть  $\chi_t(P)$  – спрос на инновационный товар в день  $t$  при цене  $P$ ;  $M_t$  – количество единиц проданного инновационного товара за день  $t$ ;  $q_t$  – количество единиц вновь произведенного инновационного товара за день  $t$ . Считаем, что вновь произведенный инновационный товар поступает на склад в конце дня и поэтому в этот день не продается.

В случае, когда на складе достаточно запасов для удовлетворения спроса  $\chi_t(P) \leq Q_t$ , количество  $Q_{t+1}$  инновационного товара на складе предприятия-новатора в начале дня  $t+1$  равно количеству товара  $Q_t$  в начале дня  $t$ , плюс количество  $q_t$  произведенного и поступившего в конце дня  $t$  на склад товара, минус количество  $M_t$  товара, проданного за день  $t$ . В случае, когда предприятие продало все свои запасы  $\chi_t(P) > Q_t$  за день  $t$ , на складе к концу этого дня останется только вновь произведенный товар в количестве равном  $q_t$ .

$$Q_{t+1} = \begin{cases} Q_t - M_t + q_t, & \chi_t(P) \leq Q_t \\ q_t, & \chi_t(P) > Q_t \end{cases} \quad (1)$$

где  $Q_0 = \bar{Q}$  – количество инновационного товара на складе перед началом его выпуска в продажу. Из первого уравнения системы видно, что при спросе на инновационный товар в день  $t$ , меньшем чем количество товара на складе, к концу дня останется излишек товара, плюс вновь изготовленный товар. Второе уравнение системы описывает ситуацию, когда спрос на новый товар больше количества запасов этого товара на складе. В этом случае к концу дня на складе будет только вновь изготовленный товар.

Построим математическую модель убытков. Если на складе в конце дня  $t$  остаются запасы товара  $Q_t \geq \chi_t(P)$ , то на предприятии формируются убытки, во-первых, от хранения излишков на складе, которые определяются как произведение количества единиц избыточного товара  $(Q_t - M_t)$  на стоимость хранения  $s$  каждой единицы этого товара. Во-вторых, от неэффективного использования вложенных в эти излишки средств, которые рассчитываются как про-

изведение количества единиц избыточного товара  $(Q_t - M_t)$  на вложенные денежные средства  $S$  в каждую единицу этого товара и на норму прибыли  $r$  альтернативных вложений, в пересчете на один день.

Если на складе не хватило товара  $Q_t < \chi_t(P)$  чтобы удовлетворить спрос за день  $t$ , имеет место недополученная прибыль. За день  $t$  она рассчитывается как количество товара  $(\chi_t(P) - Q_t)$ , которое можно было бы еще продать умноженное на разницу  $[P - S(1 + r)]$  между рыночной ценой  $P$  и себестоимостью каждой единицы этого товара  $S(1 + r)$ . При этом учитывается, что денежные средства, вложенные в товар, оказываются неиспользуемыми. Из вышесказанного рассматриваемые убытки предприятия можно записать следующим выражением

$$L_{t+1} = \begin{cases} L_t + (Q_t - M_t) \cdot [S \cdot r + s], & Q_t \geq \chi_t(P) \\ L_t + (\chi_t(P) - Q_t) \cdot [P - S \cdot (1 + r)], & Q_t < \chi_t(P) \end{cases} \quad (2)$$

где  $L_{t+1}$  – убыток за период реализации инновационного товара  $[0; t]$  к началу дня  $t + 1$ ,  $L_0 = \bar{L}$  – убыток к началу его продаж.

Показатель эффективности управления реализацией инновационного товара рассчитывается как отношение прибыли к соответствующим затратам за период  $[0; t]$ , умноженное на коэффициент дисконтирования  $k_t$ . Числитель рассчитывается как выручка  $\sum_{\tau=0}^t M_\tau \cdot P$  за весь период  $[0; t]$  от продаж товара минус суммарные затраты  $\sum_{\tau=0}^t q_\tau \cdot S$  на производство и сбыт и минус рассмотренные выше убытки  $L_t$  за этот период (2). Знаменатель отношения определяется как сумма затрат и убытков.

$$\Xi_t = k_t \cdot \frac{\sum_{\tau=0}^t (M_\tau \cdot P - q_\tau \cdot S) - L_t}{\sum_{\tau=0}^t q_\tau \cdot S + L_t} \quad (3)$$

С учетом вышесказанного, система показателей эффективности управления реализацией инновационного товара схематично представлена на рис. 1, где входными показателями являются:

- рыночная цена  $P$  на инновационный товар;
- количество проданных единиц  $M_t$  инновационного товара в день  $t$ ;
- количество  $q_t$  произведенного инновационного товара за день  $t$ ;
- норма прибыли  $r$  альтернативного источника вложений;
- стоимость хранения  $s$  одной единицы товара за день  $t$ ;
- себестоимость  $S$  производства и сбыта инновационного товара;
- коэффициент дисконтирования  $k_t$ .

К промежуточным параметрам относятся:

- количество товара на складе;
- суммарные затраты на производство и сбыт товара;
- убыток от излишков товара;
- недополученная прибыль;
- итоговая выручка за период  $[0; t]$  реализации инновационного товара;
- итоговый рассматриваемый убыток за период  $[0; t]$ ;
- итоговая прибыль предприятия за период  $[0; t]$ .

Выходным параметром является эффективность управления  $\mathcal{E}_t$  реализацией инновационного товара за период  $[0; t]$ .

На рис. 1 овальным блоком представлена подсистема управления запасами, которая имеет взаимосвязь с продажами товара  $M_t$  и количеством единиц произведенного товара  $q_t$ . Управление запасами связано с управлением производством на основе прогноза о сбыте товара. Сначала прогнозируется количество единиц товара, которое будет продано в каждый момент времени. Такой прогноз делается на основе разработанной математической модели реализации инновационного товара [13–15]. Затем планируется производство на основе составленного прогноза. Ключевым моментом в управлении запасами, является выработка величины  $q_t$ , отражающей количество товара, которое необходимо произвести в каждый момент времени  $t$ .

Управление запасами заключается в производстве такого количества единиц товара, которое необходимо для формирования оптимального уровня запасов. Оптимальный уровень запасов соответствует минимальным убыткам (2)

$$F_t = \begin{cases} (Q_t - M_t) \cdot [S \cdot r + s], & Q_t \geq \chi_t(P) \\ (\chi_t(P) - Q_t) \cdot [P - S \cdot (1+r)], & Q_t < \chi_t(P) \end{cases}$$

$$F_t \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $F_t$  – убыток от созданных излишков товара и от недополученной прибыли за день  $t$ .

Представим алгоритм работы блока управления запасами инновационного товара. Перед выпуском в продажу инновационного товара необходимо оценить (из маркетингового исследования) параметры разработанной модели его реализации [13–15]. Параметр  $\alpha$  отражает эффективность работы рекламы; параметр  $\beta$  отражает эффективность передачи сведений о товаре через межличностное общение на рынке; параметр  $N_1$  отражает количество потенциальных покупателей, осведомленных об инновационном товаре перед началом его выпуска на рынок; параметры  $\sigma$  и  $\mu$  отражают запаздывания покупки товара потенциальными покупателями;  $\bar{P}$  – максимальная цена товара на рынке;  $\bar{N}$  – количество потенциальных покупателей инновационного товара на рынке в начальный момент времени;  $P$  – рыночная цена товара. Также следует задать время переоценки параметров модели  $T$  (например, неделя), задать критерий адекватности модели – количество товара  $Q$ . Если прогнозируемое количество продаж будет отличаться от реальных более чем на величину  $Q$ , то будет происходить перенастройка параметров модели. Алгоритм расчета представлен на рис. 2.

1. Используя разработанную математическую модель реализации инновационного товара [13–15], по заданным ее параметрам строится прогноз динамики продаж на  $T$  дней вперед.

2. На основе прогноза реализации инновационного товара решается задача оп-

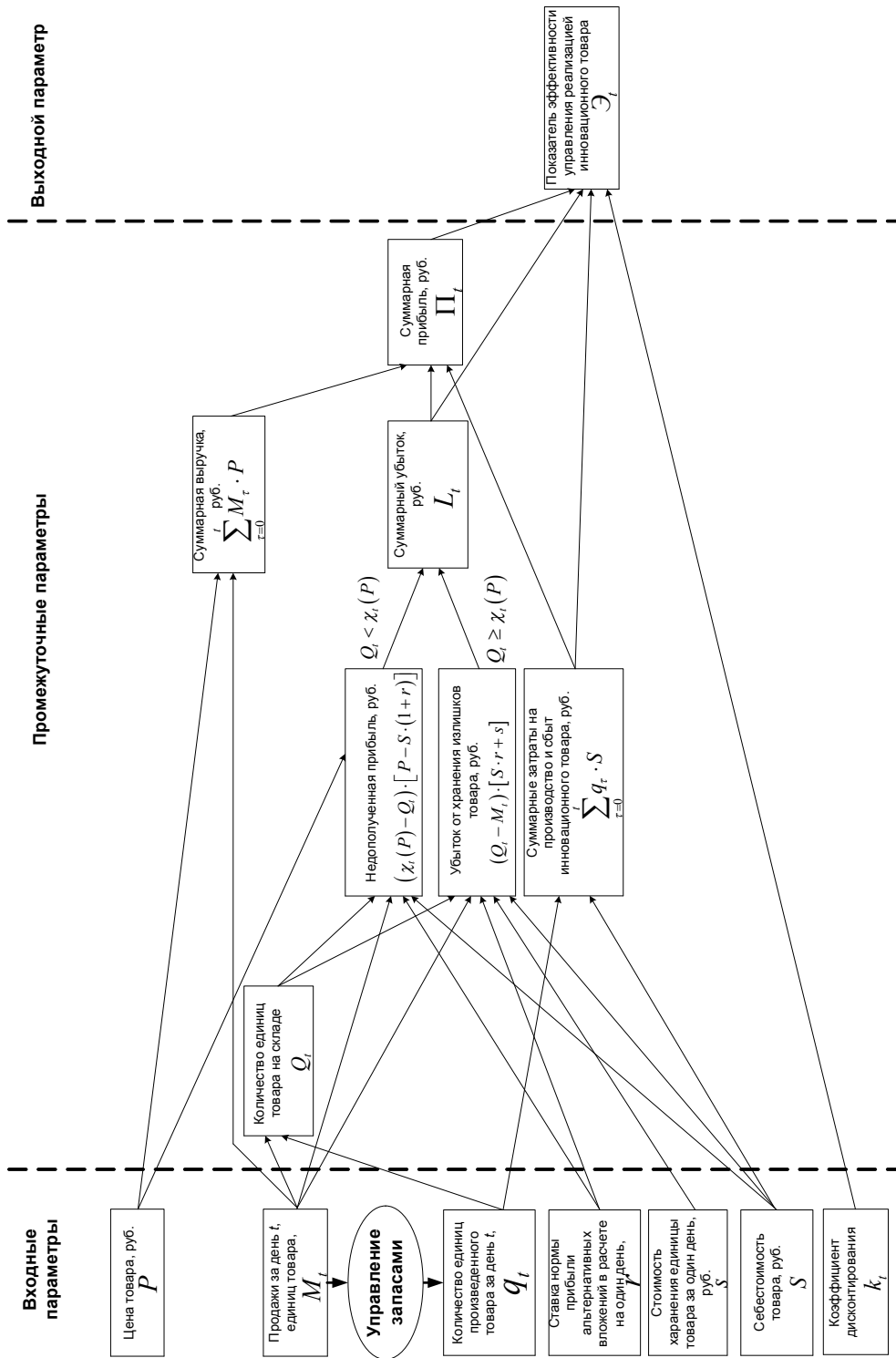


Рис. 1. Система показателей эффективности управления реализацией инновационного товара

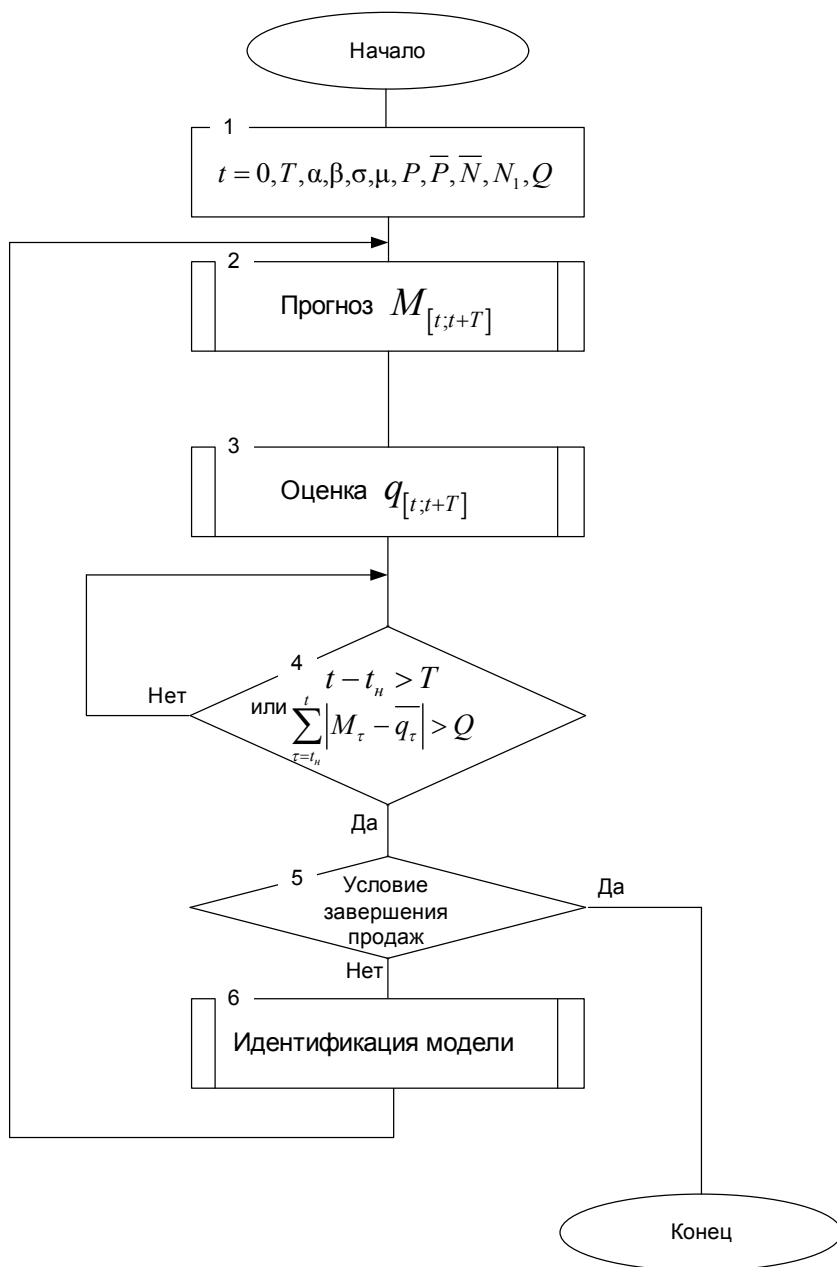


Рис. 2. Алгоритм управления запасами инновационного товара на предприятии

тимального управления (4). Определяется оптимальное количество товара, которое следует произвести предприятию в каждый момент времени  $t$ .

3. Во время реализации товара модель проверяется на актуальность и на срок ее истечения. Также требуется переоценивать параметры модели, если выполняется условие неадекватности

$$\sum_{\tau=t_n}^t |M_\tau - \bar{q}_\tau| > Q, \quad (5)$$

где  $M_\tau$  – проданное количество товара за день  $\tau$ ;  $\bar{q}_\tau$  – прогнозируемое количество проданного товара за день  $\tau$ . Если за период, начиная с последней переоценки модели  $t_n$  и до дня  $t$ , прогнозируемое количество проданного товара отличается от количества реально проданного товара более чем на величину  $Q$ , то переоцениваются параметры модели (рис. 3).

4. Проверяется условие завершения производства и сбыта товара.

В ситуации, когда задача управления (4) решается не на один день (момент времени  $t$ ), а на некоторый период времени  $T$ , она формулируется следующим образом

$$\Phi_{[t_n; t_n+T]} = \omega \cdot \sum_{t=t_n}^{t_n+T} (Q_t - M_t) \cdot [S \cdot r + s] + \quad (6)$$

$$+ \psi \cdot \sum_{t=t_n}^{t_n+T} (\chi_t(P) - Q_t) \cdot [P - S \cdot (1+r)] \rightarrow \min$$

где  $\Phi_{[t_n; t_n+T]}$  – убыток от созданных излишков товара и недополученной прибыли за период времени  $[t_n; t_n+T]$ ,  $\psi = \begin{cases} 0, & Q_t \geq \chi_t(P) \\ 1, & Q_t < \chi_t(P) \end{cases}$ ,  $\omega = \begin{cases} 0, & Q_t < \chi_t(P) \\ 1, & Q_t \geq \chi_t(P) \end{cases}$ .

На рис. 3 отражены два случая. Первый (кривая 1 на рисунке), когда запасов товара больше, чем требуется рынку. Второй случай (кривая 2), когда запасов на предприятии не хватает удовлетворить спрос. Сплошной линией на рисунке обозначены варианты динамики затрат предприятия, а штриховой линией динамика реализации товара на рынке.

На рисунке заштрихованная область соответствует убытку  $\Phi_{[t_n; t_n+T]}$  предприятия: в первом случае – от излишков товара в запасах; во втором случае – от недополученного дохода. Графический смысл нахождения оптимального уровня запасов в каждый момент времени  $t$  состоит в минимизации площади, отмеченной на рисунке.

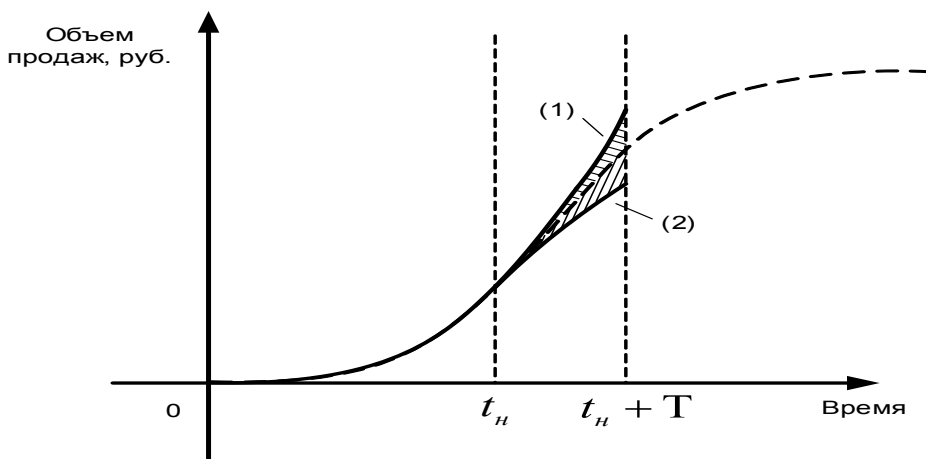


Рис. 3. Динамика продаж инновационного товара в случае убытка от излишков товара (1) и в случае убытка от недополученного дохода (2)

### Выводы

Особенностью освоения рынка инновационного товара является нелинейная динамика его реализации. Это связано с тем, что потенциальные покупатели узнают о новшестве постепенно либо через СМИ, либо через межличностное общение. Из них, которые узнали об инновационном товаре, формируется платежеспособный спрос. Потенциальным покупателям, которые узнали о товаре и готовы его приобрести требуется некоторое время (запаздывание) для того чтобы решиться на покупку. Это время зависит от их психологического типа. По истечению времени запаздывания

потенциальные покупатели приобретают инновационный товар. Описанные этапы являются составными частями структуры покупки. Важным обстоятельством является учет структуры покупки в прогнозировании динамики реализации инновационного товара. Если этого не делать, то эта динамика остается непредсказуемой, что влечет за собой существенные потери, выраженные через упущенную прибыль и убытки от хранения излишков товара. В основе предложенного алгоритма оптимального управления запасами лежит модель динамики реализации инновационного товара [13–15] учитывающая структуру покупки.

### Список использованных источников

1. Goldman A., Muller E. Measuring Patterns of Product Life Cycles: Implications for Marketing Strategy // Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem School of Business Administration, 1982.
2. Rogers E.M. Diffusion of innovations, 5th edition. New York: Free Press, 2003.
3. Бандура А. Теория социального научения. СПб.: Евразия, 2000. 318 с.
4. Голиченко О.Г. Основные факторы развития национальной инновационной системы: уроки для России. М.: Наука, 2011. 634 с.
5. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент. СПб.: Издательство «Питер», 1999. 896 с.
6. Макаров В.Л. Обзор математических моделей экономики с инновациями // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45, № 1.
7. Семёнычев Е.В. О практическом использовании концепции жизненного цикла товара // Известия Урал. гос. эконом. ун-та. 2011. Т. 37, № 5. С. 116–121.
8. Семиглазов В.А. Прогнозирование жизненного цикла инновационного товара // Практический маркетинг. 2006. № 12. С. 19–27.
9. Сушко Д.С. Моделирование кривых жизненного цикла товара // Вестн. Ун-та Рос. академии образования. 2010. № 2. С. 128–130.
10. Бутрин А.Г., Амерханова Ю.Г. Методика оптимизации снабжения машиностроительного предприятия в концепции интегрированной логистики // Интегрированная логистика. 2009. № 4. С. 20–22.
11. Бутрин А.Г., Амерханова Ю.Г. Об оптимизации процесса снабжения крупного машиностроительного завода // Логистика. 2009. № 1.
12. Бутрин А.Г., Ковалев А.И., Полюнас Д.А. Организация сбытовой политики в цепи поставок промышленного предприятия // Интегрированная логистика. 2011. № 1. С. 8–11.
13. Баев И.А., Дрозин Д.А. Комплексная модель распространения информации об инновационном товаре // Экономика и математические методы. 2014. Т. 50, № 1. С. 91–100.
14. Баев И.А., Дрозин Д.А. Моделирование процессов освоения инновации на конкурентном рынке // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Серия: Экономика и менеджмент. № 30. С. 47–49.
15. Баев И.А., Дрозин Д.А. Модель прогнозирования объема реализации инновационного товара // Системный анализ в экономике – 2012. Секция 2. Материалы науч.-практ. конф.. Москва, 27–28 ноября. 2012. М.: ЦЭМИ РАН, 2012. 172 с.