

Оптимизация параметрических рядов продукции предприятия с учетом случайности рыночного спроса

Optimization of parametric series of enterprise products, taking into account the randomness of market demand

УДК 338; 519.6

Получено: 14.01.2022

Одобрено: 29.01.2022

Опубликовано: 25.02.2022

Сауренко Т.Н.,

Д-р экон. наук, заведующий кафедрой таможенного дела Российского университета дружбы народов
e-mail: tanya@saurenko.ru.

Saurenko T.N.,

Doctor of Economics, Head of Customs Department, Peoples' Friendship University of Russia,
e-mail: tanya@saurenko.ru

Анисимов В.Г.,

Д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Санкт-Петербургского Политехнического университета им. Петра Великого
e-mail: an-33@yandex.ru

Anisimov V.G.

Doctor of Engineering, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, professor at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
e-mail: an-33@yandex.ru

Анисимов Е.Г.,

Д-р техн. наук, доктор военных наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор, Российского университета дружбы народов
e-mail: anis.an-33@rambler.ru

Anisimov E.G.

Doctor of Engineering, Doctor of Military Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Peoples' Friendship University of Russia,
e-mail: anis.an-33@rambler.ru

Веселко А.А.

Канд. экон. наук, старший преподаватель кафедры таможенного дела Российского университета дружбы народов
e-mail: veselko-aa@rudn.ru

Veselko A.A.

Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer of Customs Department, Peoples' Friendship University of Russia,
e-mail: veselko-aa@rudn.ru

Аннотация

В статье рассматривается методический подход к построению модели оптимизации параметрических рядов продукции предприятия, с учетом случайного характера рыночного спроса. Предлагаемые модель и метод оптимизации могут быть использованы в системах поддержки принятия решений по формированию товарных стратегий и производственных программ предприятий.

Ключевые слова: предприятие, продукция, спрос, товарная стратегия, параметрический ряд, оптимизация, методический подход.

Abstract

The article discusses a methodical approach to building a model for optimizing the parametric series of an enterprise's products, taking into account the random nature of market demand. The proposed optimization model and method can be used in decision support systems for the formation of commodity strategies and production programs of enterprises.

Keywords: enterprise, products, demand, product strategy, parametric series, optimization, methodological approach.

1. Введение

Определение целесообразного ассортимента и объемов производимой продукции является одной из важнейших задач обоснования товарной стратегии и производственной программы любого предприятия [1–4]. В современных условиях цифровизации управления эффективным инструментом для решения этой задачи является использование соответствующих математических моделей. При этом в системах поддержки принятия решений по формированию товарных стратегий и производственных программ предприятий, как правило, используются различные варианты детерминированных моделей оптимизации параметрических рядов продукции предприятия [24]. Вместе с тем в практике управления предприятиями существует объективная необходимость учета рисков, обусловленных случайным характером рыночного спроса [5–9].

Разработка методического подхода к построению моделей и методов оптимизации параметрических рядов продукции предприятия с учетом случайного характера рыночного спроса является целью данной статьи.

2. Формализация задачи

Рассматриваемую задачу оптимизации параметрических рядов можно представить следующим образом. Задан ряд изделий с параметрами $U_1 < U_2 < \dots < U_n$. Изделие с меньшим значением параметра может быть заменено изделием с большим значением этого параметра. Допустим, что потребности ξ_j ($j = \overline{1, n}$) в изделиях с параметром U_j ($j = \overline{1, n}$) определяются случайными величинами, распределёнными по закону Пуассона и характеризуются математическими ожиданиями величин спроса b_j ($j = \overline{1, n}$). Величины ξ_j и ξ_i ($i, j = \overline{1, n}, i \neq j$) предполагаются независимыми.

Требуется определить оптимальный параметрический ряд изделий $W = \{j_1, j_2, \dots, j_m\}$, при котором минимальна суммарная стоимость

$$C = \sum_{j_m \in W} C_{j_m}(x_{j_m}) \quad (1)$$

при выполнении ограничения

$$\prod_{j_m \in W} P_{j_m}(x_{j_m}) \geq P, \quad (2)$$

где $j_1 < j_2 < \dots < j_m < \dots < j_M$ – номера изделий, включенных в параметрический ряд;

$C_{j_m}(x_{j_m}) = C_{j_m}^0 + C_{j_m} x_{j_m}$ – затраты на разработку, производство и эксплуатацию изделий типа j_m ;

$C_{j_m}^0$ – постоянные затраты, связанные с разработкой изделия типа j_m ;

C_{j_m} – затраты на производство и эксплуатацию единицы изделия типа j_m ;

x_{j_m} – количество изделий типа j_m ;

P – заданная вероятность обеспечения потребностей в изделиях;

$P_{j_m}(x_{j_m})$ – вероятность обеспечения спроса в изделиях типа $j_m+1, j_m+2, \dots, j_m-1, j_m$.

При распределении величины потребностей в изделиях по закону Пуассона

$$P_{j_m}(x_{j_m}) = \sum_{k=0}^{x_{j_m}} \frac{a_{j_m}^k}{k!} \cdot e^{-a_{j_m}}, \quad (3)$$

$$\text{где } a_{j_m} = \sum_{k=j_{m-1}+1}^{j_m} b_j. \quad (4)$$

Для практических расчетов вместо соотношения (3) удобно использовать табличную функцию вероятности необеспечения потребности в изделиях

$$Q_{j_m}(x_{j_m}) = 1 - P_{j_m}(x_{j_m}) = \sum_{k=x_{j_m}+1}^{\infty} \frac{a_{j_m}^k}{k!} e^{-a_{j_m}}.$$

Тогда при $P \geq 0,9$ вместо (2) с достаточной для практических расчетов точностью можно использовать соотношение

$$\sum_{j_m \in W} Q_{j_m}(x_{j_m}) \leq Q,$$

где $Q=1-P$.

Для решения задачи (1), (4) может быть использован метод динамического программирования [10–12]. Функциональное уравнение динамического программирования имеет вид

$$F_j(Q_j) = \min \{F_j[Q_j - Q_{ij}(x_j) + C_{ij}(x_j)]\}, \quad (5)$$

$$i=0, 1, \dots, j-1, \quad j=1, 2, \dots, n,$$

$$x_j=0, 1, 2, \dots, F \equiv 0; Q_0 \equiv 0$$

где $Q_j = Q_i + q_{ij} \leq Q$;

$$q_{ij}(x_j) = \sum_{k=x_j+1}^{\infty} \frac{a_j^k}{k!} e^{-a_j};$$

$$a_j = \sum_{k=j+1}^j b_k;$$

$$C_{ij}(x_j) = C_j^0 + C_j x_j.$$

3. Пример

Рассмотрим особенности решения функционального уравнения (5) на примере, исходные данные для которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

j	1	2	3	4	5
c_j^0	10	16	20	24	30
c_j	1	2	4	6	10
b_j	2	4	3	1	2

Требуется определить оптимальный параметрический ряд при допустимом значении $Q=0, 1$.

Определим члены оптимальной последовательности

$$F_2(Q_2) = \min[F_2^{0,2}(Q_2^{0,2}); F_2^{1,2}(Q_2^{1,2})].$$

Члены последовательности $F_2^{0,2}(Q_2^{0,2})$, рассчитанные по формулам

$$F_2^{0,2} = c_2^0 + c_2 x_2; \quad Q_2^{0,2} = q_{0,2}(x_2),$$

$$q_{0,2}(x_2) = \sum_{k=x_2+1}^{\infty} \frac{a_2^k}{k!} e^{-a_2},$$

$$a_2 = b_1 + b_2$$

приведены в табл. 2.

Таблица 2

x_2	$F_2^{0,2}$	$Q_2^{0,2}$
9	34	0,0839
10	36	0,0839
11	38	0,0201
12	40	0,0088
13	42	0,0036
14	44	0,0014
15	46	0,0005
16	48	0,0002
17	50	0,0002

Члены последовательности $F_2^{1,2}(Q_2^{1,2})$ находятся в результате решения функционального уравнения $F_2(Q_2) = \min\{F_1[Q_2^{1,2} - q_{1,2}(x_2)] + c_{1,2}(x_2)\}$.

Значения последовательности $F_1(Q_1)$, рассчитанные по формулам

$$F_1^{(0,1)} = c_1^0 + c_1 x_1; \quad Q_1^{(0,1)} = q_{0,1}(x_1),$$

$$q_{0,1}(x_1) = \sum_{k=x_1+1}^{\infty} \frac{b_1^k}{k!} e^{-b_1},$$

вносим в верхнюю строку табл. 3:

x_1 – верхнее число,

F_1 – среднее число,

Q_1 – нижнее число.

В левый столбец той же таблицы вносим значения

$$c_{1,2}(x_2) = c_2^0 + c_2 x_2;$$

$$q_{1,2}(x_2) = \sum_{k=x_2+1}^{\infty} \frac{b_2^k}{k!} e^{-b_2};$$

x_2 – верхнее число,
 $c_{1,2}$ – среднее число,
 $q_{1,2}$ – нижнее число.

Суммируя соответствующие члены этих последовательностей, находим все возможные комбинации и определяем среди них доминирующую последовательность $F_2^{12}(Q_2^{12})$, выделенную в табл. 3 стрелками.

Сравнивая между собой члены последовательностей $F_2^{02}(Q_2^{02})$ и $F_2^{12}(Q_2^{12})$, окончательно находим $F_2(Q_2)$.

В данном примере оптимальная последовательность совпадает с последовательностью $F_2^{02}(Q_2^{02})$.

Аналогичным образом определяются последовательности $F_3(Q_3), F_4(Q_4), F_5(Q_5)$.

Таблица 3

x_2 c_{12} q_{12}	x_1 F_1 Q_1	4 14 0,0527	5 15 0,0166	6 16 0,0045	7 17 0,0011	8 18 0,0002
7 30 0,0511		44 0,1038	45 0,0677	46 0,0556	47 0,0522	48 0,0513
8 32 0,214		46 0,0741	47 0,0380	48 0,0425	49 0,0225	50 0,0216
9 34 0,0081		48 0,0608	49 0,0247	50 0,0126	51 0,0092	52 0,0083
10 36 0,0028		50 0,0555	51 0,0194	52 0,0073	53 0,0039	54 0,0030
11 38 0,0009		52 0,0536	53 0,0175	54 0,0054	55 0,0020	56 0,0011
12 40 0,0003		54 0,0530	55 0,0169	56 0,0048	57 0,0014	58 0,0005

Последовательность $F_5(Q_5)$ приведена в табл. 4.

В последовательности $F_5(Q_5)$ находим член с минимальным значением $F_5=160$, которому соответствуют $Q_5=0,0927 < 0,1$, $x_5=9$, $c_{2,5}(x_5)=120$.

Таблица 4

x_5	F_5	Q_5	C_{i5}	i
9	160	0.0927	120	2
9	162	0.0875	120	2
9	164	0.0853	120	2
9	166	0.0844	120	2
10	168	0.0627	130	2

10	170	0.0514	130	2
10	172	0.0462	130	2
10	174	0.0440	130	2
10	176	0.0431	130	2
11	178	0.0402	140	2
11	180	0.0289	140	2

Определив $F_2 = F_5 - c_{2,5}(x_5) = 160 - 120 = 40$, находим, что данному значению F_2 соответствует $x_2 = 12$, $c_{0,2}(x_2) = 40$ (см. табл. 2).

Следовательно, оптимальный параметрический ряд включает изделие второго и пятого типов.

Таким образом, выбор оптимального параметрического ряда при вероятностном спросе может быть сведен к задаче динамического программирования с одним ограничением, для решения которой разработаны эффективные алгоритмы [13–18].

В целом, рассмотренная модель задачи оптимизации параметрических рядов продукции предприятия с учетом случайного характера рыночного спроса может быть достаточно просто интегрирована в конкретные системы поддержки принятия решений по формированию товарных стратегий и производственных программ предприятий [19–23].

Литература

1. *Анисимов В.Г.* Стратегическое управление инновационной деятельностью: анализ, планирование, моделирование, принятия решений, организация, оценка. – Санкт-Петербург, 2017. – 312 с.
2. *Anisimov, V.G., Anisimov, E.G., Saurenko, T.N., Sonkin, M.A.* The model and the planning method of volume and variety assessment of innovative products in an industrial enterprise // *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, 803(1), 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012006.
3. *Тебекин А.В.* Методический подход к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий // *Журнал исследований по управлению*. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 65-72.
4. *Гапов М.Р., Сауренко Т.Н.* Модель поддержки принятия решений при формировании товарной стратегии и производственной программы предприятия // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика*. – 2016. – № 2. – С. 62-73.
5. *Ильин И.В.* Математические методы и инструментальные средства оценивания эффективности инвестиций в инновационные проекты. – Санкт-Петербург, 2018. – 289 с.
6. *Ботвин Г.А., Черныш А.Я., Чечеватов А.В.* Анализ и оценивание эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности. – Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации; 2006. 288 с.
7. *Арсланов Р.Ф., Арсланова А.П., Богоева Е.М., Голоскоков В.И., Липатова Н.Г., Попов В.В., Сауренко Т.Н., Тебекин А.В.* Экономический и таможенный риск-менеджмент. – Москва: Государственное казенное образовательное учреждение высшего образования "Российская таможенная академия". – 2015. – 180 с.
8. *Анисимов Е.Г.* Экономическая политика в системе национальной безопасности Российской Федерации // *Вестник академии военных наук*. – 2017. – № 1 (58). – С. 137-144.
9. *Бойко А.П., Калинина О.В., Карпов В.А., Лобас Е.В.* Введение в экономический риск-менеджмент. – Москва, 2008. – 91 с.
10. *Р. Беллман, Р. Калаба* Динамическое программирование и современная теория управления. – Москва: Наука. 1969. – 120 с.

11. *Липатова Н.Г., Черныш А.Я.* Применение математических методов при проведении диссертационных исследований. – Москва: Российская таможенная академия, 2011. – 514 с.
12. *Черныш А.Я., Мельник Д.А.* Модель поддержки принятия решений при формировании программ инновационного развития предприятий электротехнической отрасли машиностроения // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2021. – Т. 18. – № 4 (118). – С. 140-151.
13. *Черных А.К., Романенко В.В.* Сравнительный анализ внедрения современных цифровых технологий в области управления материально-техническим обеспечением // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. – 2015. – № 1. – С. 12-17.
14. *Ведерников Ю.В., Матросов В.В., Черныш А.Я.* Модели и методы решения задач управления инновационными проектами. – Москва, 2009. – 90 с.
15. *Босов Д.Б.* Математические модели и методы управления инновационными проектами. – Москва: Министерство образования и наука РФ, Институт современной экономики. 2009. – 188 с.
16. *Черныш А.Я., Чечеватов А.В.* Оптимизационные модели и методы в управлении инновационными процессами. – Москва, 2006. – 96 с.
17. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Модификация метода решения одного класса задач целочисленного программирования // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1997. – Т. 37. – № 2. – С. 179-183.
18. *Босов Д.Б.* Сетевые модели и методы ресурсно-временной оптимизации в управлении инновационными проектами. – Москва, 2006. – 117 с.
19. *Авдеев М.М.* Информационно-статистические методы в управлении микроэкономическими системами. – Санкт-Петербург; Тула: Гриф и К (Тула). 2001. – 139 с.
20. *Солохов И.В.* Проблемы научно-методического обеспечения межведомственного информационного взаимодействия // Военная мысль. – 2017. – № 12. – С. 45-51.
21. *Тебекин А.В.* Модель прогноза стоимости и сроков модернизации промышленных предприятий // Журнал исследований по управлению. – 2019. – Т. 5. – № 3. – С. 31-37.
22. *Ведерников Ю.В.* Модели и алгоритмы интеллектуализации автоматизированного управления диверсификацией деятельности промышленного предприятия // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2014. № 5-6 (71-72). – С. 61-72.
23. *Плотников В.А., Черных А.К.* Время, вперед! использование математического моделирования в управлении организациями // Российское предпринимательство. – 2005. – № 12. – С. 57-62.
24. *Тебекин А.В.* Методы принятия управленческих решений. Учебник / Москва, 2016. Сер. 58. Бакалавр. Академический курс (1-е изд.)