

Владимир И. Долгий, Людмила С. Верещагина
**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА КАЧЕСТВО
НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

В статье обоснована актуальность использования экономико-математических моделей при принятии управленческих решений по оптимизации затрат на машиностроительных предприятиях. Систематизированы основные методы и принципы экономико-математического моделирования. Представлены авторские задачи математического программирования производственного планирования: модель оптимизации выпуска конкурентоспособной продукции, модель оптимизации чистой приведенной стоимости, модель оптимизации выпуска продукции с целевой функцией максимизации прибыли, модель минимизации затрат на производство при удовлетворении требований заказчиков и полной загрузке оборудования, которые прошли апробацию на машиностроительных предприятиях.

Ключевые слова: оптимизация затрат; экономико-математическая модель; машиностроительное предприятие.

Форм. 8. Табл. 3. Лит. 18.

Володимир І. Долгий, Людмила С. Верещагіна
**ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ВИТРАТ НА ЯКІСТЬ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

У статті обґрунтовано актуальність використання економіко-математичних моделей при прийнятті управлінських рішень з оптимізації витрат на машинобудівних підприємствах. Систематизовано основні методи та принципи економіко-математичного моделювання. Представлено авторські задачі математичного програмування виробничого планування: модель оптимізації випуску конкурентоспроможної продукції, модель оптимізації чистої приведеної вартості, модель оптимізації випуску продукції з цільовою функцією максимізації прибутку, модель мінімізації витрат на виробництво при задоволенні вимог замовників та повному завантаженні обладнання, що пройшли апробацію на машинобудівних підприємствах.

Ключові слова: оптимізація витрат; економіко-математична модель; машинобудівне підприємство.

Vladimir I. Dolgiy¹, Lyudmila S. Vereshchagina²
**ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELLING
OF QUALITY-RELATED COST OPTIMIZATION
AT A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE**

The article grounds the relevance of applying economic and mathematical modelling in decision-making on costs optimization at machine-building enterprises. Key methods and principles of economic and mathematical modelling are systematized. The following authors' elaborations on mathematical programming of production planning are presented: the model of competitive production optimization; the model of net present value optimization; the model of production optimization with the target function of profit maximization; the model of costs minimization in production to meet the clients' needs with a maximum production load. All the presented elaborations have been tested at machine-building enterprises.

Keywords: costs optimization; economic and mathematical model; machine-building enterprise.

¹ Saratov Socio-Economic Institute, branch of Plekhanov Russian University of Economics, Russia.

² Saratov Socio-Economic Institute, branch of Plekhanov Russian University of Economics, Russia.

Постановка проблеми. В сучасних економічних умовах ефективного функціонування машинобудівного підприємства неможливо досягти без використання методів і інструментарію оптимізації витрат. Розробка оптимальної економічної стратегії не тільки забезпечує більш високу доходність і рентабельність, але й сприяє підвищенню конкурентоспособності підприємства і випускаємої продукції, розширенню асортиментного і товарного переліку. Особливості виробничого процесу на машинобудівних підприємствах обумовили активну розробку завдань оптимізації. Оптимізація виробничих витрат включає комплексні процеси: дотримання запланованого рівня витрат на працюючу силу, матеріальних і енергетичних ресурсів, а також пошук резервів раціонального використання основного і оборотного капіталу [10; 16].

Аналіз останніх публікацій. Керуванню витратами і процесами їх оптимізації присвячені роботи багатьох російських учених, а зокрема: Н.Д. Врублевського [3], В.П. Івашкевича [5], Л.В. Канторовича [6], В.С. Немчинова [8], В.В. Новожилова [9], С.Г. Струмилина [12], а також зарубіжних економістів Р. Беллмана [2], Д. Дойла [4], К. Друри [14], К. Хорнгрена [13] і др.

Незважаючи на велику кількість досліджень і публікацій по даній проблематиці [1; 7] багато теоретико-методологічних і прикладних аспектів економіко-математичного моделювання оптимізації витрат на машинобудівних підприємствах з урахуванням особливостей їх бізнес-середовища в наше час не розроблені достатньо глибоко і ретельно.

Основою оптимізації витрат складають три компоненти: наявність критерію оптимальності, декілька можливих варіантів досягнення потрібного рівня критерію оптимальності, сукупність обмежень виробничих і управлінських можливостей підприємства [15]. В статті наведено деякі авторські моделі оптимізації виробничого планування витрат на машинобудівному підприємстві з урахуванням сучасних умов господарювання. Планування виробничої програми і оптимізація витрат нами проводяться з використанням методу лінійного програмування на основі даних підприємств по виробництву підшипників. Дані підприємства випускають широкий асортимент автомобільних, залізничних, інших, зокрема, використовуваних в військовій і сільськогосподарській техніці, підшипників, який формується шляхом управління різними технологічними режимами виробництва.

Цілі дослідження. На основі вивчення теоретико-методологічних основ математичного моделювання виробничої програми – розробка практичних рекомендацій по формуванню ряду економіко-математичних моделей, мінімізуючих витрати в ході виробничого планування.

Основні результати дослідження. Головною завданням розроблених економіко-математичних моделей є пошук управлінських рішень на підшипникових підприємствах, які забезпечують можливість оптимізації витрат і результатів [10]. Одним з варіантів виробничого планування може бути рішення задачі знаходження оптимального випуску

ка продукції с целевой функцией максимизации прибыли, варьируемыми параметрами в которой являются количество и цена.

$$P_p = \sum_{i=1}^I c_i x_i - \sum_{i=1}^I C_i^{np}(x_i) - C_{опр}(z) - C_{обх}(z_{np}) \rightarrow \max. \quad (1)$$

С учетом взаимосвязи затрат с объемом выпуска целевая функция будет следующей:

$$P_p = \sum_{i=1}^{14} (c_i - C v_i^{np}) x_i - \sum_{i=1}^{14} C c_i^{np} - \sum_{k=1}^2 C c_k^{косв} - C c_{обх}^{косв} K_{обх} - \sum_{k=1}^3 (C v_k^{косв} \sum_{i=1}^{14} c_i x_i) \rightarrow \max. \quad (2)$$

где $C v_i^{np}$ – удельный вес прямых переменных затрат в единице i -й продукции; $K_{обх}$ – коэффициент отнесения общехозяйственных расходов; $C c_i^{np}$ – прямые постоянные затраты на одну единицу i -й продукции; $C c_k^{косв}$ – постоянные косвенные затраты; $C c_{обх}^{косв}$ – постоянные общехозяйственные затраты; $C v_k^{косв}$ – удельный вес косвенных переменных затрат в единице продукции.

Ограничения составляют ниже представленные математические неравенства:

- объем выпуска подшипников i -го вида на p -м оборудовании не должен превышать производственную мощность p -го оборудования:

$$\sum_{i=1}^I b_{pi} x_p \leq B_p, p = 1, \dots, P, \quad (3)$$

где b_{pi} – фактическое время обработки 100 ед. изделий i в соответствии с технологическим процессом на оборудовании p , мин.; B_p – нормативное время работы оборудования p , мин.; x_i – количество изделий i .

По технологическим картам полуфабрикаты обрабатываются на различном оборудовании. Фактические затраты времени на каждую операцию по различным видам используемого оборудования и нормативное время изготовления 100 единиц продукции по видам станков представлены в [17].

- максимальный выпуск зависит от спроса на i -е изделие (D_i), минимальный – диктуется объемом поставок согласно заключенным договорам (di):

$$d_i \leq x_i \leq D_i, x_i \geq 0; \quad (4)$$

- цена единицы продукции (c_i) как минимум должна быть не ниже полных или хотя бы переменных затрат:

$$c_i \geq \left(C v_i + \frac{C c_i}{x_i} \right) k_{pi}, \quad (5)$$

где k_{pi} – рентабельность i -й продукции.

В разработанной экономико-математической модели в качестве критерия целевой функции используется максимум прибыли, модель также включает рассмотренные выше ограничения. В итоге получена максимальная загрузка оборудования на год (значение x_i) (табл. 1).

Данная модель обеспечивает достижение оптимума системы, принимая во внимание ряд ограничивающих факторов, учитывающих реальные условия

Таблиця 1. Данні по математической модели максимизации прибыли*

Вид подшпипника	Прямые затраты		Цена	Коэффициент рентабельности (k_{PI}), %	Спрос (D), шт.	Заказы (dl), шт.	x_i
	Постоянные ($CC_{п}$)	Доля переем. затрат на ед. выпуска руб. ($CV_{п}$)					
6-205 (6205)	59097,80	15,28	57,82	6,5	668237	98574	218293
30-202Б5 (6202)	5920,42	24,97	62,67	6,1	378558	75127	98781
6-209 (6209)	6630,13	55,58	125,27	7,8	238656	16582	154542
6-113 (6013)	4660,17	73,75	187,55	4,5	58436	321	58436
6-305 (6305)	27461,47	39,01	89,32	5,4	373620	128976	130741
306А (6306)	2549,16	29,65	85,51	5,9	255115	64395	70675
307 (6307)	1885,27	50,81	121,02	6,7	223843	69460	74618
204 (6204)	214,06	20,14	54,41	4,2	263345	8974	10777
6-210К (6210)	9190,83	56,53	138,73	5,3	320951	23456	211789
6-308 (6308)	11658,46	68,22	165,56	6,3	322597	32458	135491
2206КМ	5362,01	44,33	96,20	6,6	85587	16872	41367
2208 КМ	16178,61	36,40	153,35	6,7	213968	37548	187451
2211КМ (N211)	11260,96	78,02	200,18	4,9	187633	13581	112456
2214КМ (N214)	8474,42	198,72	391,53	3,2	185462	3165	145687
Итого	170543,78	791,39			3776008	589489	218293
Вид затрат	Косвенные затраты						
	Постоянные			Переменные			
Общепроизводственные	250736,58 (CC_k)			0,1288 ($CV_k^{козв}$)			
Общехозяйственные	3958560,11 ($CC_{обк}$)			0,0960 ($CV_{обк}^{козв}$)			
Доля общехозяйственных затрат ($б_{обк}$)	0,186						
Прибыль	26439316,48						

* составлена по данным [11].

хозяйственной деятельности; позволяет планировать ассортимент на основе фактического вклада каждого изделия в совокупный финансовый результат деятельности предприятия.

Приведем еще одну математическую модель оптимизации выпуска основных ассортиментных групп продукции (подшипников). Основная цель разработанной экономико-математической модели – минимизация совокупных затрат предприятия путем соотношения спроса с текущими объемами выпуска продукции. Предложенная математическая модель позволит осуществлять планирование производственной программы за любой период с минимальными затратами. Для нее необходимы такие данные, как объемные доли выхода изделий, максимальная и минимальная производственная мощность предприятия, себестоимость изделий, уровень запасов перед периодом планирования, возможности складского хозяйства для хранения готовой продукции, стоимость хранения, параметры спроса по видам продукции. Задача оптимизации заключается в минимизации затрат на производство и удовлетворении текущего спроса на продукцию. Целевая функция (Z_t) общих затрат в период t равна

$$z_t = \sum_{i=1}^m z_{ti} = \sum_{i=1}^m (u_t \times r_i \times cc_{ti} + x_{ti} \times cz_{ti}). \quad (6)$$

Параметры модели:

$$Z = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m (u_{ti} cc_i + x_{ti} cz_i) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где плановый период n равен 6 месяцам, шаг $t - 1$ месяц; общее количество ассортиментных групп равно m ; i – ассортиментная группа (вид подшипника). Ограничения модели:

$$x_{ti} = x_{t-1,i} + u_{ti} - V_{ti}, \quad u_{ti} > V_{ti}, \quad u_{\min i} \leq u_{ti} \leq u_{\max i}, \quad 0 \leq x_{ti} \leq x_{\max i}, \quad (8)$$

где x_{ti} – запас изделия i в момент времени t после выполнения плана поставок V_{ti} , а также – производственной программы в период t по выпуску i -го вида изделия u_{ti} ; u_{ti} – управляющая переменная, объем производства i -го вида изделий в период t ; $u_{\min i}$, $u_{\max i}$ – необходимая минимальная и максимальная производственная мощность; $x_{\max i}$ – максимальная емкость хранилища изделия i .

Компьютерная реализация модели осуществлена в программе Microsoft Excel.

План поставок подшипников на 6 месяцев представлен в [18]. Расчетный план производства подшипников – в табл. 3.

В табл. 3 указаны оптимальные объемы производства подшипников в каждом периоде, при которых затраты на производство минимальны, а план поставок удовлетворяется в полном объеме.

Выводы. В статье рассмотрены модели оптимизации затрат машиностроительного предприятия: задача оптимизации выпуска продукции с целевой функцией максимизации прибыли, задача минимизации затрат на производство подшипников при полном удовлетворении требований заказчиков, представлены результаты их апробации на машиностроительных предприя-

Таблиця 2. Производство некоторых видов подшипников в месяц (на примере ОАО «СПЗ»)*

Вид подшипника (ГОСТ 520-2002)	Себестоимость 1 шт., руб. (с _с)	Минимальный выпуск, тыс. шт. (u _{min})	Максимальный выпуск, тыс. шт. (u _{max})	Удельный вес в объеме выпуска (r)	Остаток на складе, тыс. шт.	Себестоимость хранения 1 шт., руб. (с _{zh})	Максимальный объем хранения, тыс. шт. (x _{max})
6-205 (6205)	15,68	14780	40600	0,184	8965	0,16	20000,00
30-202Е5 (6202)	25,03	10300	23000	0,123	7614	0,20	15000,00
6-209 (6209)	55,74	4080	14500	0,052	2214	0,39	8000,00
6-113 (6013)	79,57	120	340	0,001	51	0,72	200,00
6-305 (6305)	39,22	12000	22700	0,163	7958	0,39	18000,00
306А (6306)	29,68	10000	15500	0,096	5547	0,30	12000,00
307 (6307)	50,84	9000	13600	0,087	2345	0,51	12000,00
204 (6204)	20,15	3200	16000	0,038	2214	0,20	15000,00
6-210К (6210)	56,75	4400	19500	0,053	1245	0,57	19000,00
6-308 (6308)	68,46	4300	19600	0,06	3214	0,68	18000,00
2206КМ (N206)	44,62	1950	5200	0,023	2014	0,45	4000,00
2208 КМ (N208)	36,64	7400	13000	0,084	1143	0,37	11000,00
2211КМ (N211)	78,50	2500	11400	0,029	1254	0,79	9000,00
2214КМ (N214)	199,90	1100	4900	0,009	321	1,90	3000,00
Итого	790,02	85130	219800		46099		164200,00

* составлена по данным [11].

тиях, сформирована надежная и редактируемая информационная база исследования. Достоинством данных задач является простота применения, возможность планирования ассортиментного ряда с минимальными затратами или максимальной прибылью при полной загрузке оборудования, при интеграции оперативного и стратегического уровней планирования.

Таблица 3. Оптимальный план производства подшипников (u_{ij})*

Наименование (ГОСТ 520-2002)	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
6-205 (6205)	14780	14780	14780	16511	15960	18162
30-202Е5 (6202)	10300	10300	10300	12348	11936	13582
6-209 (6209)	4080	4080	4080	4080	4080	4080
6-113 (6013)	120	120	120	120	120	120
6-305 (6305)	12000	12000	13205	16343	15798	17977
306А (6306)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
307 (6307)	9000	9000	9000	9000	9000	9551
204 (6204)	3200	3200	3200	3200	3200	3200
6-210К (6210)	4400	4400	4400	4400	4400	4400
6-308 (6308)	4300	4300	4300	4516	4365	4967
2206КМ (N206)	1950	1950	1950	2275	2199	2503
2208 КМ (N208)	7400	7400	7400	7400	7400	7400
2211КМ (N211)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
2214КМ (N214)	1100	1100	1100	1100	1100	1100
Итого	85130	85130	86335	93792	92059	99542

* составлена по данным [11].

Компьютерная реализация экономико-математической модели является своего рода математическим способом выработки приемлемого решения, позволяет пройти все этапы моделирования без существенных затрат материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

1. Байгузин А.Р., Долгий В.И. Особенности реализации корпоративных стратегий развития предприятий высокотехнологичных отраслей // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2013. – №1. – С. 28–31.

2. Беллман Р., Энджел Э. Динамическое программирование и уравнения в частных производных / Пер. с англ. – М.: Мир, 2010. – 287 с.

3. Врублевский Н.Д. Управленческий учет издержек производства и себестоимости продукции в отраслях экономики. – М.: Бухгалтерский учет, 2012. – 454 с.

4. Дойл Д. Управление затратами: Стратегическое руководство / Пер. с англ. – М.: Волтерс Клувер, 2010. – 324 с.

5. Ивашкевич В.Б. Бухгалтерский управленческий учет. – М.: Экономистъ, 2009. – 679 с.

6. Канторович Л.В. Оптимальные решения в экономике. – М.: Наука, 1972. – 218 с.

7. Миненко С.Н. Экономико-математическое моделирование производственных систем. – М.: МГИУ, 2011. – 201 с.

8. Немчинов В.С. Экономико-математические методы и модели. – М.: Соцэкгиз, 1962. – 288 с.

9. Новожиллов В.В. Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. – М.: Наука, 1999. – 314 с.

10. Орлова ИВ. Экономико-математическое моделирование. – М.: Инфра-М, 2013. – 314 с.

11. Отчетность ОАО «Саратовский подшипниковый завод» // erkggroup.ru.

12. Струмилин С.Г. Проблемы экономики труда. – М.: Наука, 2012. – 259 с.

13. Хорнгрен Ч., Фостер Дж., Датар Ш. Управленческий учет / Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2008. – 1975 с.

14. Drury, C. (2010). Cost And Management Accounting. South-Western: Cengage Learning. 345 p.

15. *Giegerich, R., Meyer, C., Steffen, P.* (2011). A Discipline Dynamic Programming over Sequence Data. *Science of Computer Programming*, 51(3): 215–263.

16. *Harrison, E.F., Moniquar, A.P.* (2009). The essence of management decision. *Management Decision*, 38(70): 462–470.

17. *The Scientific Potential of Socio-Economic Development: Theoretical and Methodological Issues: Monograph.* Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. 204 p.

18. *Vereshchagina, L.S.* (2013). *Methods and Tools Used to Develop Administrative and Economic System of Industrial Enterprise Management.* Science Book Publishing House, Yelm, WA, USA. 245 p.

Стаття надійшла до редакції 3.10.2014.