

УДК 330.321

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СТОИМОСТИ ЗАКУПОК МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО СПРОСУ И ПРЕДЛОЖЕНИЮ, ОБОБЩЁННО УЧИТЫВАЮЩИХ РЫНОЧНЫЕ РИСКИ

© 2012 г.

А.Е. Иващенко

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

IvashchenkoAE@mail.ru

Поступила в редакцию 02.03.2011

Предлагается разработанная и апробированная на практике адаптивная модель оптимизации стоимости закупок материальных ресурсов на основе ограничений по спросу и предложению, обобщённо учитывающих рыночные риски. Данная авторская модель позволяет осуществлять на практике эффективное планирование гибкой стратегии закупок материальных ресурсов в крупных машиностроительных холдингах.

Ключевые слова: материальные ресурсы, планирование, число номенклатурных позиций, векторы цен поставщиков, матрица индексов ожидаемых ценовых изменений, матрица ценовых предложений поставщиков, ABC-XYZ-анализ, объём закупки, квантиль, закон распределения случайных колебаний в производственных потребностях, полнота статистических данных.

Как известно, машиностроение является одной из самых материалоёмких отраслей отечественной промышленности.

Если рассматривать машиностроительное производство как систему, преобразующую материальные ресурсы в готовую продукцию, то в движении материального и сопутствующих ему финансового и информационного потоков звено «закупки» обладает значительным потенциалом повышения эффективности, поскольку материальные затраты составляют (по данным различных отечественных исследователей) от 65% до 80% себестоимости продукции [1–5].

Следовательно, результаты хозяйственной деятельности машиностроительного предприятия существенным образом зависят от эффективности процесса закупок, и даже небольшие инновации в этой сфере могут принести ощутимую выгоду в виде улучшения оборачиваемости оборотных средств предприятия, повышения эффективности взаимодействия с поставщиками (логистической координации), стратегического финансового планирования затрат и т.д. Вот почему авторы считают необходимым сосредоточить усилия исследователей на разработке новых, продвинутых, креативных и гибких экономико-математических моделей оптимизационного планирования, ориентированных на широкомасштабное проведение «онлайн-вых» плановых расчётов сценарных вариантов логистической стратегии предприятия с учётом рыночных колебаний спроса и предложения продукции и потребностей в материальных ре-

сурсах (рыночных рисков в широком смысле) [6, 7].

Авторы полагают, что организационные механизмы взаимодействия с поставщиками должны постоянно находиться в поле зрения управленческих структур машиностроительных холдингов как потенциальные резервы существенного повышения экономической эффективности. Исходя из этого, планирование и обеспечение закупок и поставок материальных ресурсов, определение оптимального объёма их запасов, классификацию поставщиков по их надёжности (рейтингу), рациональное распределение плановых объёмов поставок между поставщиками представляют собой важные и актуальные управленческие задачи.

Практика управления машиностроительными холдингами показывает, что для минимизации стоимости закупок материальных ресурсов есть два основных рычага: минимизация изменения стоимости производственных запасов (за счёт их сокращения до приемлемого уровня страхового запаса) и сокращение материалоёмкости выпуска продукции (а значит, и производственного потребления материальных ресурсов). Поскольку сокращение материалоёмкости связано главным образом с изменением технологии производства, то данный путь является более трудным для практической реализации. Отсюда можно сделать следующий вывод: минимизации затрат на закупку материальных ресурсов машиностроительного предприятия легче всего добиться за счёт рационального

управления запасами и рационального стоимостного планирования стратегии закупок.

На основе опыта и изучения широкого спектра математических методов моделирования экономических систем авторами была разработана экономико-математическая модель оптимизации стоимости закупок в соответствии с ограничениями на спрос производственных подразделений по видам материальных ресурсов и рыночными предложениями поставщиков этих ресурсов, а также с учётом ряда прочих специфических ограничений. Существенными преимуществами данной модели, как показала практика её внедрения, являются: относительная простота расчётов (благодаря использованию типового программного обеспечения), возможность гибкой адаптации к набору рыночных рисков при вполне удовлетворительной точности, реализованный на реальной прикладной задаче стратегического планирования компромисс между точностью, аналитичностью и прогностической способностью.

К недостаткам модели следует отнести трудоёмкость подготовки, агрегирования и миграции онлайн-массивов исходных данных с помощью стандартного программного обеспечения, однако, по мнению авторов, эта проблема может быть успешно решена с помощью использования универсальных функций импорта данных в системах ресурсного планирования нового поколения (ERP) и мультиагентного обмена в базах знаний, ориентированных на экономические приложения [4, 8].

Разработанная авторская модель, апробированная на практике, – для ведения плановых расчётов вариантов закупки в ООО «ТЗК ГАЗ», является ещё одним из эффективных экономико-математических инструментов, позволяющих обосновывать управленческие решения в процессе планирования закупочной логистики.

Её алгоритм заключается в следующем.

Пусть имеется M номенклатур материальных ресурсов (МР); спрос на каждый вид МР определён на основе потребности предприятия-заказчика. Поставки осуществляются силами N поставщиков, имеющих различные цены на поставляемые МР.

Каждый поставщик может поставлять более одного вида МР и характеризуется вектором цен и суммарным объёмом поставок, выражаемым в денежных единицах. Если поставщик может поставлять лишь один вид МР, то его вектор цен будет содержать только один ненулевой компонент, соответствующий цене за единицу данного ресурса, все остальные компоненты – нулевые. Векторы цен поставщиков

объединяются в прямоугольную матрицу ценовых предложений.

Требуется найти оптимальный план закупок МР, который бы удовлетворял критерию минимальных затрат, а также двум типам ограничений:

– ограничениям по спросу заказчика (покупателя) на заданный вид МР (M ограничений-равенств);

– ограничениям по предложениям поставщиков МР (N ограничений-неравенств).

Данный набор ограничений, по мнению авторов, является минимально необходимым.

Сформулированная выше прикладная задача описана в виде следующей экономико-математической модели линейного программирования:

$$\left. \begin{array}{l} Z(x_{ij}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sigma_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^M \sigma_{ij} \cdot x_{ij} = a_i \\ \sum_{i=1}^N \sigma_{ij} \cdot x_{ij} \leq b_j \end{array} \right\} \quad (1)$$

где: σ_{ij} – матрица ценовых предложений поставщиков; x_{ij} – объём закупки i -го вида МР у j -го поставщика; a_i – спрос на МР i -го вида; b_j – предложение МР со стороны j -го поставщика; M – количество номенклатур МР; N – количество поставщиков.

Соответствующие расчёты выполняются с помощью MS Excel («Поиск решения») или MathCAD (функция Minimize).

Ниже приведён пример такого расчёта в среде MathCAD.

Имеются 10 поставщиков, каждый из которых поставляет несколько видов МР. Всего необходимо закупить 10 видов МР.

Матрица ценовых предложений (в тыс. руб./ед. МР), векторы спроса и предложения (в млн руб.) приведены ниже.

Алгоритм решения сформулированной задачи представлен на рисунке.

Оптимальный план закупок, который формируется на основе исходных данных и является решением в соответствии с алгоритмом рисунка, представлен в таблице.

Значение минимизируемой функции (затрат по оптимальному плану закупок) в данном случае составляет 17654 млн руб., т.е. примерно 78.6% от годового бюджета закупок ООО «ТЗК ГАЗ» за 2009 год.

Использование для практических расчётов оптимального плана закупок экономико-математической модели вида (1) позволяет фор-

$$\sigma := \begin{pmatrix} 0 & 5.57 & 6.02 & 5.93 & 6.04 & 5.78 & 0 & 6.13 & 6.16 & 7 \\ 16 & 16.02 & 16.54 & 15.94 & 16.07 & 0 & 15.99 & 16.41 & 16.42 & 17 \\ 24 & 0 & 22.97 & 0 & 23.56 & 22.67 & 23.68 & 25.09 & 25.05 & 26 \\ 0 & 8.91 & 8.72 & 9.07 & 0 & 9.26 & 8.28 & 0 & 9.11 & 10 \\ 8.5 & 0 & 8.37 & 0 & 9.04 & 8.84 & 8.32 & 7.09 & 7.78 & 9 \\ 10.14 & 11.52 & 0 & 9.57 & 11.34 & 0 & 0 & 12.43 & 12.39 & 13 \\ 12.62 & 12.98 & 13.05 & 13.17 & 12.78 & 11.99 & 12.49 & 0 & 11.89 & 12 \\ 1.34 & 0 & 2.27 & 2.78 & 3.09 & 1.78 & 1.98 & 2.06 & 2.34 & 3 \\ 3.09 & 3.98 & 4.17 & 4.26 & 0 & 0 & 3.79 & 4.87 & 5.12 & 6 \\ 15.55 & 16.09 & 17.89 & 0 & 18.89 & 19.32 & 16.53 & 17.34 & 18.09 & 19 \end{pmatrix} \quad a := \begin{pmatrix} 2123 \\ 2187 \\ 1278 \\ 2378 \\ 1245 \\ 1376 \\ 2127 \\ 1298 \\ 2395 \\ 1247 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} 1879 \\ 1456 \\ 1674 \\ 2578 \\ 2432 \\ 1345 \\ 1875 \\ 1783 \\ 2289 \\ 1353 \end{pmatrix}$$

```

N1 := 9
N2 := 9
i := 0..N1
j := 0..N2
xi,j := 11

Z(x) := ∑i=0N1 ∑j=0N2 (xi,j · σi,j)
f(x) := for i ∈ 0..N1
        fi ← ∑j=0N2 (xi,j · σi,j)
θ(x) := for j ∈ 0..N2
        θj ← ∑i=0N1 (xi,j · σi,j)
θ

Given
f(x) = a
θ(x) ≤ b
x ≥ 0
ξ := Minimize (Z, x)
Z(ξ) = 17654
    
```

Рис. Формулы для решения задачи поиска минимального по стоимости плана закупок материальных ресурсов (MathCAD).

Таблица

Оптимальный план закупок (ξ_{ij})

Номенклатурный номер МР	Номер поставщика									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	39.836	43.055	42.411	43.198	41.338	0	43.841	44.056	50.063
2	14.689	13.877	18.039	14.634	14.754	0	14.68	15.066	29.169	0
3	33.266	0	0	0	6.452	0	10.331	3.306	0	0
4	0	36.849	36.064	37.511	0	76.996	34.244	0	37.677	5.522
5	18.79	0	18.503	0	19.984	19.542	18.392	15.673	17.199	19.895
6	14.959	16.995	0	14.118	16.729	0	0	38.395	18.278	0
7	18.904	19.443	19.548	41.968	19.144	11.521	18.709	0	17.81	0
8	34.763	0	58.89	72.121	80.163	46.178	51.367	53.442	67.706	77.829
9	45.903	59.125	61.947	63.284	0	0	56.302	72.346	76.06	89.132
10	6.893	0	0	0	42.006	0	7.328	7.687	5.08	0

мализовать процесс планирования бюджета закупок на основе учёта требований производственной программы, ценовых предложений и возможностей поставщиков.

Авторы полагают, что в систему ограниченной модели (1) могут также включаться соотношения, характеризующие требования к поддержанию уровней минимально необходимого (страхового) запаса по ряду важнейших позиций номенклатуры материальных ресурсов, обусловленные особенностями производственной программы конкретного машиностроительного предприятия.

Кроме того, саму модель можно модифицировать с учётом ожидаемых изменений цен по всей матрице ценовых предложений или по отдельным поставщикам/позициям номенклатуры следующим образом:

$$\sigma_{ij}(t) = \varepsilon_{ij}(t) \cdot \sigma_{ij}(t-1), \quad (2)$$

где: $\varepsilon_{ij}(t)$ – матрица индексов ожидаемых ценовых изменений, определяемая на основе прогноза ценовых изменений по отдельным позициям номенклатуры материальных ресурсов и поставщикам; $\sigma_{ij}(t)$ и $\sigma_{ij}(t-1)$ – соответственно матрицы ценовых предложений для прогнозного и предшествующего периодов времени. С помощью системы соотношений вида (2) в общей модели (1) учитывается влияние фактора времени (динамика).

Поскольку заметный экономический эффект может быть достигнут за счёт минимизации затрат на закупку наиболее дорогих номенклатурных позиций, то модель (1)–(2) целесообразнее применять после предварительной разбивки всего множества номенклатурных позиций на группы в рамках ABC-XYZ-анализа [9, 10, 11]. Причём ABC-анализ проводится по критерию стоимости единицы ресурса, XYZ-анализ – по критерию изменчивости спроса на отдельные виды материальных ресурсов [12, 13].

Если число номенклатурных позиций достаточно велико, то следует отобрать для планирования в соответствии с построенной моделью те виды материальных ресурсов, которые принадлежат группам AX, AY, BX, BY.

Планирование на основе модели (1)–(2) необходимо выполнять для каждой группы материальных ресурсов на основе исходных данных, критерия суммарной стоимости и ограничений, сформулированных для этой группы. Таким образом, всего должно быть построено четыре различных рабочих модели планирования, основанных на базовых соотношениях вида (1)–(2). Для групп AY, BY в систему ограничений следует ввести также ограничения по пределам случайных колебаний в производственных по-

требностях материальных ресурсов, которые для случая нормального распределения имеют вид стандартного правила «трёх сигм»:

$$M(a_i) - 3\Sigma(a_i) \leq x_{ij} \leq M(a_i) + 3\Sigma(a_i), \quad (3)$$

где: $M(a_i)$ – среднее значение производственной потребности в i -м виде МР; $\Sigma(a_i)$ – среднеквадратическое отклонение производственной потребности в i -м виде МР. Указанные параметры определяются на основе исходных данных производственной статистики.

Если закон распределения случайных колебаний в производственных потребностях какого-либо из видов материальных ресурсов групп AY, BY сильно отличается от нормального, то вместо коэффициента «3» в формуле (3) следует взять вычисленный на основе исходных данных производственной статистики по данному виду материального ресурса квантиль соответствующего распределения на уровне не менее 95% ($k_{\geq 0,95}$):

$$M(a_i) - k_{\geq 0,95} \times \Sigma(a_i) \leq x_{ij} \leq M(a_i) + k_{\geq 0,95} \Sigma(a_i). \quad (4)$$

Таким образом, можно сделать важный вывод: эффективное использование модели (1)–(4) в планировании закупочной логистики машиностроительных предприятий предполагает как наличие и полноту соответствующих статистических данных, так и лёгкость извлечения из первичных информационных массивов всех необходимых для аналитических расчётов характеристик и зависимостей [14].

Это обуславливает необходимость широко-масштабного внедрения передовых информационных технологий развитого ресурсного планирования на современных промышленных предприятиях, и прежде всего – на стратегически важных для российской экономики предприятиях машиностроительного комплекса, которые должны стать в ближайшем будущем лидерами инновационного подъёма.

Список литературы

1. Багиев Г.Л., Семенов Е.А. Оценка и прогнозирование эффективности предпринимательства транснациональных корпораций: Монография. СПб.: Из-во СПбГУЭФ, 2000. 243 с.
2. Жданов А.Ю., Кузнецов Д.В., Фёдоров А.Н. Управление закупками с использованием конкурсных процедур: технология внедрения и организации. М.: КноРус, 2007. 288 с.
3. Сайфиева С.Н., Ермилина Д.А. Машиностроительный комплекс в структуре российской экономики // Вестник университета. Государственный университет управления: серия «Развитие отраслевого и регионального управления», 2008. № 6 (16). С. 108–114; № 7 (17). С. 94–100.

4. Федоров Л.С. Максимальный эффект при минимуме затрат. Логистическая стратегия управления материальными ресурсами в странах с развитой рыночной экономикой // РИСК. 2004. № 1/2. С. 76–80.
5. Лукинский В.С., Дерюгина Е.Ю. Решение многопродуктовых задач при ограничении финансовых ресурсов // Сб. трудов 3-й Межд. науч.-практ. конференции. Киев: НАУ, 2005. С. 67–78.
6. Захаров К.В., Цыганок А.В., Бочарников В.П., Захаров А.К. Логистика, эффективность и риски внешнеэкономических операций. Киев: ИНЭКС, 2001. 237 с.
7. Новиков Д.А., Иващенко А.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы: Монография. М.: КомКнига, 2006. 352 с.
8. Нагловский С.Н. Логистика. Ретроспектива. Прогнозирование. Управление. Эффективность. Надежность. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. 234 с.
9. Вегера М.В. Система моделей управления запасами в логистических системах / Автореферат дис. ... к.э.н. Спец. 08.00.13. М., 2008. 18 с.
10. Гизе Р. Современная концепция комплексного управления оборотом материальных ресурсов // Материально-техн. снабжение. 2001. № 3. С. 29–35.
11. Залманова М.Е. Материально-техническая база снабжения в системе управления материальными ресурсами: Монография. Саратов: СГТУ, 2009. 148 с.
12. Оганесян М.Д. Методы разделения товарных групп в ABC-анализе // Логистика и управление цепями поставок. 2004. № 2–3. С. 56–59.
13. Трифонов Ю.В. и др. Стратегическое управление в рыночной экономике: Монография. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2003. 291 с.
14. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Эффективный менеджмент. М.: Высшая школа, 2003. 555 с.

**AN ADAPTIVE MODEL FOR OPTIMIZING THE COST OF PHYSICAL RESOURCES
ON THE BASIS OF THE LIMITATIONS OF SUPPLY AND DEMAND WITH THE ACCOUNT
OF OVERALL MARKET RISKS**

A.E. Ivashchenko

The author proposes an adaptive model that has been validated in practice for optimizing the cost of purchasing of physical resources on the basis of the limitations of supply and demand with the account of overall market risks. This model allows one to implement effective planning for a flexible procurement strategy in large machine-building holding companies.

Keywords: physical resources, planning, number of stock items, supplier price vector, matrix of expected changes in price indices, matrix of suppliers' quotations, ABC-XYZ analysis, volume of purchases, quantile, distribution of random fluctuations in production needs, completeness of statistical data.