

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ СЛОЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ИЗДЕЛИЯ

© 2010 г. А.С. Зуев, Ю.И. Петров

(Москва)

В статье представлен подход к оптимизации состава свойств разрабатываемых промышленных изделий, основанный на решении задачи о “многомерном ранце” с булевыми переменными. Целевой функции и ограничениям соответствуют экономические и технические интерпретации. Рассматривается вид изделий, конфигурация (состав свойств) которых определяется техническими характеристиками, добавляемыми к некоторой базовой комплектации, и вариантами их исполнения.

Ключевые слова: промышленные товары, требования к товарам, разработка товаров, конкурентоспособность товара, свойства товара, оптимальная комплектация, оптимальные товары, ассортимент продукции, оптимизация ассортимента, промышленные предприятия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Многие отрасли промышленности Российской Федерации выпускают сложную высокотехнологичную продукцию. Показательным примером таких отраслей может быть машиностроение (общее, среднее и точное приборостроение, авиационная, ракетно-космическая, радиотехническая и электронная промышленность, станкостроение, робототехника и т.д.). Предприятия данных отраслей конкурируют с зарубежными производителями, поэтому их продукция должна соответствовать многим технологическим требованиям, предъявляемым мировыми, государственными и отраслевыми стандартами, технологическими нормами, спецификациями и т.п. Особенность их продукции – возможность производства изделий в различных конфигурациях, которые определяются составом технических характеристик, добавляемых к некоторой базовой комплектации, и вариантами их исполнения (например, комплектующими сторонних производителей). Эта особенность позволяет характеризовать изделия такого вида как сложные (что связано со множеством вариантов их изготовления, определяемых различными конфигурациями). Далее под множеством возможных свойств изделия будем понимать совокупность вариантов исполнения в нем всех доступных технических характеристик.

Очевидно, что продукция различных предприятий может отличаться ценой, составом свойств (конфигурацией) и качеством их воплощения в конкретных изделиях. Для предприятий себестоимость реализации каждого свойства в единице продукции может варьировать, что также влияет на структуру производственных затрат, включая затраты на приобретение соответствующих материалов, узлов и комплектующих у поставщиков. Себестоимость, состав свойств и качество их воплощения в изделии определяют цену и предпочтительность товара для потребителей, а следовательно, влияют на его способность конкурировать с зарубежными аналогами. Продукция также должна удовлетворять технологическим требованиям, предпочтениям потребителей и экономическим интересам производителя.

Проблема разработки (создания) промышленных изделий, соответствующих перечисленным требованиям, связана с управлением производственной деятельностью и ассортиментом продукции предприятия. Поэтому сегодня актуальной становится задача определения оптимального состава свойств разрабатываемого изделия при соблюдении ряда ограничений. В зависимости от конкретных условий критериями оптимальности могут быть: минимум себестоимости или вероятности поломки в течение гарантийного периода времени, максимум предпочтительности для потребителей или конкурентоспособности по сравнению с аналогами и т.д. Ограничения на значения характеристик изделия (например, энергопотребление, вес, себестоимость и т.д.), опре-

деляемые реализованными в нем свойствами, позволяют обеспечить соответствие продукции технологическим требованиям, предпочтениям потребителей и интересам производителя.

В результате разработка конкурентоспособных промышленных изделий рассматриваемого в настоящей статье вида является сложной задачей, которая имеет экономические и технические аспекты. Ее решение имеет важное практическое значение и обширную сферу прикладного применения.

В настоящее время разработка новых товаров, в том числе сложных промышленных изделий, считается одной из основных функций маркетинга и осуществляется экспертами с использованием аналитических (недостаточно формализованных) методов, в частности основанных на формировании состава свойств создаваемого изделия в результате его сравнения с аналогичными существующими или эталонными товарами. Соответствующие подходы фактически ориентированы на копирование “успешных” и пользующихся спросом на рынке товаров. Их основным недостатком является “следование” за конкурентами, что может не соответствовать интересам конкретного производителя. Производство товаров с одинаковыми составами свойств не исключает специфики, обусловленной экономическими и технологическими особенностями организации производственного процесса на конкретном предприятии. Производители могут использовать различные технологии, иметь разный состав доступных комплектующих, отличающихся качеством и ценами, – все это обуславливает различия в выпускаемой ими продукции. Данные особенности не могут быть в полной мере учтены экспертами в аналитических методах определения состава свойств разрабатываемого сложного промышленного изделия.

В то же время неформализованный подбор состава свойств изделия требует больших затрат времени экспертов, не исключает их субъективизма, может быть связан с различного рода ошибками и не позволяет эффективно контролировать достоверность получаемых результатов. В данном подходе оптимизация состава свойств изделия фактически не рассматривается, она заменяется поиском приближенного к оптимальному (приемлемого) состава технических характеристик и вариантов их исполнения.

В результате существующие методы разработки сложных промышленных изделий являются приближенными, недостаточно объективными и слабо формализованными, так как не исключают субъективизма исследователей (экспертов), не позволяют обосновывать оптимальность получаемого в результате их применения состава свойств изделия и не гарантируют его соответствие интересам производителя. Эти методы не позволяют разрабатывать оптимальные предложения по выполнению заказов из-за сложности обеспечения наилучшего соответствия интересов и особенностей производителя требованиям заказчика.

Поиск формализованных методов определения оптимального состава свойств разрабатываемого промышленного изделия является значимой экономической проблемой. В статье предложен подход к ее решению, основанный на формализации с помощью задачи о “многомерном ранце” с булевыми переменными, что позволяет учесть все возможные требования к изделию, исключить субъективизм исследователей, гарантировать оптимальное решение и значительно снизить сложность его поиска.

Предложенный подход позволяет полностью формализовать задачу определения оптимального состава свойств разрабатываемого сложного промышленного изделия – рассмотреть все доступные варианты воплощения свойств, учесть технологические требования и интересы производителя, а также предпочтения потребителей или требования заказчика. Такой подход исключает влияние субъективных мнений экспертов на результат решения соответствующей задачи, а также позволяет ориентировать производителя не на копирование существующих товаров, а на создание новых конкурентоспособных изделий, соответствующих экономическим и технологическим особенностям организации его производственного процесса. Предложенный подход дает возможность обосновывать оптимальность получаемого в результате его применения состава свойств разрабатываемого изделия как при ориентации на конкретный сегмент рынка, так и при составлении предложений по выполнению заказов.

Учет требований к продукции. Каждое свойство, которое может быть воплощено в изделии, характеризуется набором параметров, соответствующих характеристикам, подлежащим контролю в разрабатываемом изделии, например:

- оценка предпочтительности (отражает влияние на выбор потребителей (Зуев, Федоров, 2008, с. 139, 140));
- себестоимость воплощения в единице разрабатываемого изделия;
- энергопотребление (возможно, в различных режимах работы);
- вероятность брака;
- мощность различных видов излучения;
- вероятность поломки в течение заданного периода времени, вес и т.д.

Заметим, что значения перечисленных параметров свойств аддитивны относительно конфигурации изделия, что позволяет контролировать и регламентировать значения его характеристик, например:

- ограничение на себестоимость позволяет учесть особенности ценообразования, в том числе при позиционировании товара на конкретных ценовых нишах рынка;
- ограничение на энергопотребление позволяет обеспечить соответствие классу энергопотребления или, например, заданное время автономной работы;
- ограничение на вероятность брака позволяет определить комбинации свойств, целесообразные для реализации по имеющейся технологии;
- ограничение на вероятность поломки в течение гарантийного (или заданного) периода времени позволяет обеспечить требуемый уровень качества;
- ограничение на вес позволяет определить комбинации свойств, не превышающие максимально допустимую массу, и т.д.

Оценки предпочтительности свойств могут быть выявлены по n -балльной шкале в результате анкетирования репрезентативной выборки потребителей, что позволяет разрабатывать отдельные конфигурации изделия для различных сегментов рынка. Соответствующие целевые аудитории могут быть определены на основании результатов анкетирования с помощью методов кластерного анализа (Мандель, 1988, гл. 2), что позволяет выявить группы потребителей со схожими предпочтениями свойств продукции. Способы определения целевых аудиторий потребителей, а также получения оценок предпочтительности свойств и базовых комплектаций изделий по 10-балльной шкале рассмотрены в (Зуев, Федоров, 2008, с. 139, 140), в настоящей статье использована такая же шкала.

Ограничения на значения характеристик разрабатываемого изделия позволяют обеспечить его соответствие не только технологическим требованиям, предпочтениям потребителей и интересам производителя, но и, например, условиям выполнения конкретных заказов, в том числе распределяемых на условиях конкурсного отбора исполнителей.

2. ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЯ

На основании представленных выше рассуждений можно утверждать, что проблема определения оптимального состава свойств некоторого разрабатываемого изделия a может быть формализована аналогично задаче о “многомерном ранце” с булевыми переменными. Каждое свойство обладает рядом параметров и может либо входить, либо не входить в конфигурацию изделия. Требуется определить состав свойств, обеспечивающий экстремальное значение некоторой характеристики изделия при соблюдении ограничений на значения остальных. В общем случае специалистам предприятия известны параметры, характеризующие особенности технологических и производственных процессов.

В результате исследования рынка могут быть выявлены параметры конкурирующей продукции и потребительского спроса.

Сформулируем исходные данные и постановку рассматриваемой задачи.

Исходные данные. $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, $|A| = n$, – множество существующих взаимозаменяемых изделий – потенциальных конкурентов разрабатываемого изделия a ; $C = \{c_1, \dots, c_n\}$,

$|C| = n$, – множество цен изделий $a_p \in A, p = 1, \dots, n$; $E = \{e_1, \dots, e_n\}, |E| = n$, – множество значений оценок предпочтительности базовых комплектаций изделий $a_p \in A, 0 < e_p \leq 10, p = 1, \dots, n$; $B = \{b_1, \dots, b_m\}, |B| = m$, – множество свойств, которые соответствуют изделиям $a_p \in A, p = 1, \dots, n$, или могут быть реализованы в разрабатываемом изделии; $B_i \subset B, i = 1, \dots, m$, – множества свойств, которые невозможно воплотить в изделии a по технологии производства при добавлении к его конфигурации свойств $b_i \in B, i = 1, \dots, m$; $D = \{d_1, \dots, d_m\}, |D| = m$, – множество значений оценок предпочтительности свойств $b_i \in B, 0 < d_i \leq 10, i = 1, \dots, m$; $P = \{p_1, \dots, p_m\}, |P| = m$, – множество значений себестоимости реализации свойств $b_i \in B, i = 1, \dots, m$, в единице разрабатываемого изделия a ; $H_i = \{h_1^i, \dots, h_q^i\}, i = 1, \dots, m$, – вектора значений параметров свойств $b_i \in B$ (значения элементов векторов соответствуют, например, энергопотреблению, весу, вероятности брака, вероятности поломки в течение заданного периода времени и т.д.; размерность данных векторов определяется особенностями конкретной задачи и соответствует числу подлежащих контролю значений характеристик разрабатываемого изделия); $H_0 = \{h_{01}, \dots, h_{0q}\}$ – вектор значений параметров базовой комплектации изделия a , аналогичных параметрам свойств $b_i \in B$; p_0 и $0 < d_0 \leq 10$ – себестоимость и оценка предпочтительности единицы базовой комплектации разрабатываемого изделия a ; $H^* = \{h_1^*, \dots, h_q^*\}$ – вектор ограничений на допустимые значения характеристик конфигурации изделия a , соответствующих параметрам его базовой комплектации и свойств $b_i \in B$ (в общем случае значения элементов вектора H^* совпадают с технологическими требованиями); D^* и P^* – минимальная суммарная предпочтительность свойств и максимальная себестоимость конфигурации разрабатываемого изделия a .

Требуется.

1. Определить B_a – оптимальный состав (множество) свойств изделия a , удовлетворяющий выбранным критериям и ограничениям, т.е. установить значения элементов вектора булевых переменных $X = \{x_1, \dots, x_m\}$, где $x_i = 1$, если $b_i \in B_a$, и $x_i = 0$, если $b_i \notin B_a$.
2. Рассчитать $H_a = \{h_1^a, \dots, h_q^a\}$ – вектор значений характеристик конфигурации изделия a с оптимальным составом свойств B_a .
3. Определить D_a и P_a – предпочтительность и себестоимость изделия a .
4. Установить C_a – цену единицы разработанного изделия a .
5. Оценить K_a^p – конкурентоспособность (положение на рынке) изделия a с ценой C_a относительно каждого изделия a_p из $A, p = 1, \dots, n$.

Предположение 1. Любые сочетания не исключающих друг друга свойств разрабатываемого изделия предполагаются возможными по технологии производства. Если свойство $b_i \in B$ не может быть реализовано в разрабатываемом изделии, то соответствующая переменная $x_i = 0$, $x_i \in X$.

При формировании исходных данных возможны два случая – наличие взаимоисключающих и взаимосвязанных свойств. Взаимоисключающие свойства приводят к тому, что реализация в изделии некоторого свойства $b_i \in B$ обуславливает невозможность реализации в нем определенного множества свойств $b_i \subset B$. Тогда в процессе решения задачи возникает необходимость проверки соответствующих дополнительных условий.

Появление взаимосвязанных свойств связано с тем, что реализация в изделии некоторого свойства $b_i \in B$ приводит к необходимости реализации в нем одного из множества свойств B_i^* , $|B_i^*| = n_i$. В этом случае целесообразно заново сформировать множество B , заменив свойство b_i набором взаимоисключающих свойств $b_{i+k-1}, k = 1, \dots, n_i$, представляющих результаты его совмещения с каждым свойством множества B_i^* .

Предположение 2. Степень реализации свойств $b_i \in B, i = 1, \dots, m$, в изделиях $a_p \in A, p = 1, \dots, n$, и a не учитывается, данные свойства могут быть реализованы или отсутствовать. Свойства b_i могут входить в множество B как отдельные взаимоисключающие свойства. Например, наличие в сотовом телефоне карты памяти определенного типа (microSD, microMMC, miniSD и т.д.) – это свойство $b_{i1} \notin B$, а варианты объема памяти данной карты считаются взаимоисключающими свойствами $b_{i1+k-1} \in B, k = 1, \dots, r$.

Предположение 3. Если некоторые свойства должны присутствовать в конфигурации разрабатываемого изделия исходя из сложившихся общепринятых требований, то их целесообразно включить в состав его базовой комплектации, скорректировав соответствующим образом значения элементов вектора H_0 и состав множества B . В результате в некоторых случаях может возникнуть необходимость рассмотреть несколько вариантов базовой комплектации разрабатываемого изделия.

Предположение 4. Оценки предпочтительности, себестоимость и значения параметров базовой комплектации и свойств изделия считаются аддитивными относительно его конфигурации. Вектор H_a значений характеристик разрабатываемого изделия a определяется как сумма вектора H_0 и векторов $H_i x_i$, $x_i \in X$, $i = 1, \dots, m$.

3. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ

На основе представленных исходных данных и постановки задачи составим ее экономико-математическую модель. В качестве критерия оптимальности выберем максимизацию суммарного значения оценок предпочтительности базовой комплектации и свойств разрабатываемого изделия a при соблюдении ограничений на его себестоимость и значения характеристик, определяемых вектором H^* .

Данная формулировка задачи является наиболее распространенной в условиях конкуренции между товарами различных производителей, так как подразумевает максимизацию влияния изделия a на выбор потребителей.

В общем случае целевая функция и ограничения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} F(X) &= d_0 + \sum_{i=1}^m d_i x_i \rightarrow \max, \\ g_0(X) &= d_0 + \sum_{i=1}^m d_i x_i \geq D^*, \\ g_j(X) &= h_{0j} + \sum_{i=1}^m h_j^i x_i \leq h_j^*, \quad j = 1, \dots, q, \\ g_{q+1}(X) &= p_0 + \sum_{i=1}^m p_i x_i \leq P^*. \end{aligned}$$

Предполагается, что

$$\begin{aligned} d_i > 0, p_i > 0, 0 \leq h_j^i \leq h_j^*, x_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, q, \\ \sum_{i=1}^m d_i \geq D^*, \sum_{i=1}^m p_i \geq P^*, \sum_{i=1}^m h_j^i \geq h_j^*, j = 1, \dots, q. \end{aligned}$$

Заметим, что вид и состав ограничений зависят от особенностей конкретной прикладной задачи – в некоторых случаях неравенства могут быть заменены равенствами или на значения характеристик разрабатываемого изделия могут быть наложены двусторонние ограничения. Например, двустороннее ограничение на себестоимость единицы изделия (при известной наценке сети сбыта и требуемой прибыли производителя) позволяет ориентировать его на конкретную ценовую нишу рынка.

Рассматриваемая задача аналогична задаче о “многомерном ранце” с булевыми переменными, что указывает на возможные методы ее решения (Сигал, Иванова, 2007, гл. 3), при реализации которых нужно проверять дополнительные условия, связанные с появлением взаимоисключающих свойств. Например, метод Лэнд и Дойг может быть использован с дополнительным правилом ветвления: если $x_k = 1$, то $x_i = 0 \quad \forall b_i \in B_k$.

4. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

4.1. Минимизация значения заданной характеристики изделия. При определении состава свойств промышленных изделий к значениям их характеристик могут предъявляться различные критерии оптимальности, например минимизация себестоимости или минимизация вероятности поломки в течение некоторого периода времени. В общем случае целевая функция может соответствовать себестоимости изделия и любой из его характеристик, определяемых элементами вектора H_0 .

Пусть требуется минимизировать значение некоторой характеристики изделия, соответствующей элементу t вектора H_0 , тогда целевая функция принимает вид

$$F_t(X) = h_{0t} + \sum_{i=1}^m h_t^i x_i \rightarrow \min.$$

Данная формулировка задачи может рассматриваться при разработке изделий, ориентированных на конкуренцию с имеющимися на рынке изделиями, в том числе при позиционировании относительно них по характеристике, соответствующей целевой функции.

4.2. Использование дробно-рациональных целевых функций. Во многих случаях при сравнении конкурирующих изделий исследуются параметры, получаемые из отношения двух характеристик. Наиболее распространенный из них – оценка конкурентоспособности, определяемая отношением суммарной предпочтительности базовой комплектации и свойств изделия к его себестоимости (цене). В результате при разработке изделия может возникнуть необходимость достичь экстремального значения дробно-рациональной целевой функции.

Для рассматриваемого примера целевая функция принимает вид

$$F(X) = \left(d_0 + \sum_{i=1}^m d_i x_i \right) / \left(p_0 + \sum_{i=1}^m p_i x_i \right) \rightarrow \max.$$

Такая задача может быть решена различными способами (Гольштейн, Юдин, 1966, с. 194–198), в том числе с помощью преобразования к бикритериальной задаче (Сигал, Иванова, 2007, с. 97–98) со следующими целевыми функциями:

$$F_1(X) = d_0 + \sum_{i=1}^m d_i x_i \rightarrow \max,$$

$$F_2(X) = p_0 + \sum_{i=1}^m p_i x_i \rightarrow \min.$$

Способ решения бикритериальной задачи рассмотрен в п. 4.3 для общего случая многокритериальных задач и основан на поиске пересечения множеств близких к оптимальным решений задач с целевыми функциями $F_1(X)$ и $F_2(X)$. Оптимальное решение исходной задачи может быть выявлено по функции $F(X)$ с учетом экстремума, на нахождение которого она исследуется. Данная постановка задачи может применяться в задачах максимизации оценки изделия, определяемой через сопоставление значений двух характеристик.

Помимо представленной выше, могут рассматриваться целевые функции, связанные с характеристиками изделия, значения которых требуется минимизировать. Примером может являться отношение вероятности поломки изделия в течение определенного периода времени к его себестоимости. В общем случае решается бикритериальная задача с функциями:

$$F_1(X) = h_{0t} + \sum_{i=1}^m h_t^i x_i \rightarrow \min,$$

$$F_2(X) = h_{0p} + \sum_{i=1}^m h_p^i x_i \rightarrow \min,$$

$$h_t^i \in H_i, \quad h_p^i \in H_i, \quad i = 1, \dots, m.$$

В подобных случаях можно воспользоваться заменой одной из целевых функций функцией, исследуемой на максимум:

$$Z_1(X) = h_t^* - h_{0t} - \sum_{i=1}^m h_t^i x_i \rightarrow \max, \quad h_t^* \in H^*,$$

$$Z_2(X) = h_p^* - h_{0p} - \sum_{i=1}^m h_p^i x_i \rightarrow \max, \quad h_p^* \in H^*.$$

В результате получаемая задача будет решаться аналогично исследованной ранее. Функции $Z_1(X)$ и $Z_2(X)$ характеризуют отклонения фактических значений характеристик изделия с номерами t и p от максимально допустимых. В приведенном примере целевая функция может соответствовать, например, отношению дополнительной надежности изделия к его себестоимости.

4.3. Многокритериальные задачи. В некоторых случаях при разработке сложных промышленных изделий к значениям их характеристик одновременно предъявляется несколько критериев оптимальности. В результате требуется решать многокритериальную задачу о “многомерном ранце” с булевыми переменными, где каждому критерию соответствует целевая функция. В общем случае может рассматриваться задача с любым сочетанием C_{q+2}^n , $n = 1, \dots, q + 1$, целевых функций, соответствующих значениям характеристик изделия, а также себестоимости и предпочтительности его конфигурации для потребителей.

Пусть требуется минимизировать значения некоторых характеристик изделия $h_j^a \in \bar{H}$, $|\bar{H}| = k$, $k \leq q + 1$, порядковые номера которых образуют множество J . В результате необходимо решить k задач, каждая из которых соответствует отдельному критерию оптимальности и имеет целевую функцию

$$F_j(X) = h_{0j} + \sum_{i=1}^m h_j^i x_i \rightarrow \min, \quad j \in J.$$

Пусть X^j , $j \in J$, – оптимальные решения рассматриваемых задач. Обозначим через $S_j(R_j)$ множество всех допустимых решений задачи с номером j , удовлетворяющих условию $F_j(X^j) \leq F_j(X) \leq F_j(X^j) + R_j$, где R_j ($R_j \leq h_j^* - F_j(X^j)$) – некоторое отклонение значения соответствующей характеристики изделия от оптимума.

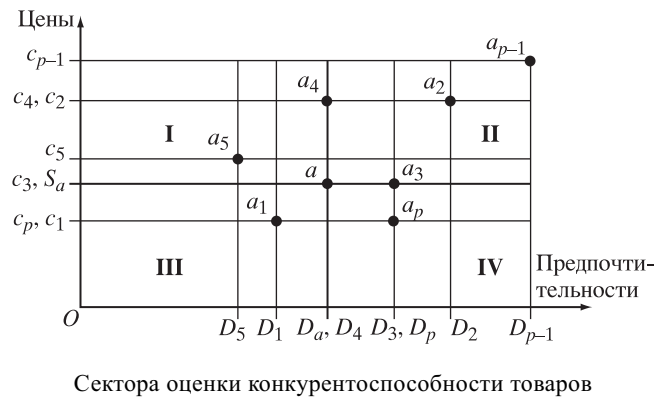
Под решением многокритериальной задачи будем понимать множество $S = \bigcap_{j \in J} S_j(R_j)$, из которого следует выбрать наилучшие элементы. Данный выбор может быть осуществлен, например, в результате свертки критериев оптимальности (Подиновский, 2007, гл. 3). Если $S = \emptyset$, то необходимо увеличить значения R_j , $j \in J$, совместно или раздельно. Построение каждого множества $S_j(R_j)$ связано с решением соответствующей задачи, а определение значений параметров R_j , $j \in J$, – нетривиальная проблема, так как, во-первых, с их увеличением возрастает мощность множеств $S_j(R_j)$ и, во-вторых, значения R_j должны иметь обоснования и интерпретации как отклонения значений характеристик изделия от оптимумов.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Результатом решения задачи определения оптимального состава свойств разрабатываемого изделия в любой постановке будет вектор булевых переменных $X = \{x_1, \dots, x_m\}$, на основании значений которых могут быть определены следующие характеристики.

1. Состав оптимального множества B_a свойств разрабатываемого изделия a . Свойство $b_i \in B_a$, $i = 1, \dots, m$, если соответствующая переменная $x_i = 1$.

2. Вектор H_a значений характеристик изделия a с множеством свойств B_a . Характеристика с номером $j = 1, \dots, q$ имеет значение $h_j^a = h_{0j} + \sum_{i=1}^m h_j^i x_i$.



3. Предпочтительность $D_a = d_0 + \sum_{i=1}^m d_i x_i$ изделия a с конфигурацией B_a .

4. Себестоимость P_a полученной конфигурации изделия $P_a = p_0 + \sum_{i=1}^m p_i x_i$.

Установление цены C_a на единицу изделия a с конфигурацией B_a и оценка K_a^p его конкурентоспособности (положения на рынке) относительно каждого из изделий $a_p \in A, p = 1, \dots, n$, связаны с проведением дополнительных исследований.

Оценки предпочтительности D_p изделий $a_p \in A, p = 1, \dots, n$, могут быть найдены по формуле

$$D_p = e_p + \sum_{i=1}^m d_i y_i, y_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, m,$$

где $y_i = 1$, если свойство b_i соответствует изделию a_p .

Для нахождения полной себестоимости S_a единицы изделия a с множеством свойств B_a следует учесть объемы постоянных и переменных затрат, связанные с его производством в некотором количестве. Пусть значение S_a известно – рассчитано с помощью существующих методов калькуляции себестоимости с учетом предполагаемых объемов производства (Кондукова, 2008, ч. 1). В системе координат DOC (см. рисунок) (где D и C – предпочтительность и цена) отметим точки, соответствующие изделиям $a_p \in A, p = 1, \dots, n$ (точки (D_p, c_p)) и изделию a (точка (D_a, S_a)).

Задача установления цены на единицу изделия a сводится к определению прибыли производителя с учетом известной наценки сети сбыта, что требует оценки позиций данного товара относительно конкурентов. Для изделия a на основе суммарной предпочтительности D_a его свойств и полной себестоимости S_a (или установленной цены C_a) могут быть выделены четыре сектора возможных положений конкурирующих изделий (см. рисунок): I – сектор слабых конкурентов (включая границы); II и III – сектора товаров, ориентированных на другие целевые аудитории; IV – сектор сильных конкурентов (включая границы).

Фактически изделие a и конкурирующие с ним изделия из секторов II и III (границы не входят) образуют множество Парето. Для сравнения изделия a с изделиями $a_p \in A, p = 1, \dots, n$, могут быть использованы методы свертки критериев (Лотов, Поспелова, 2008, с. 57–64). Исследование положения изделий $a_p \in A, p = 1, \dots, n$, в представленных на рисунке секторах при варьировании размера прибыли производителя изделия a позволяет установить значение C_a цены его единицы. Заметим, что цена C_a может быть выбрана производителем товара a аналитически, в соответствии с его целями, а также с учетом предполагаемого способа позиционирования на рынке относительно изделий $a_p \in A, p = 1, \dots, n$.

В некоторых случаях, связанных, например, с большим числом сильных конкурентов, может быть принято решение о нецелесообразности выхода товара a на рынок. Следует заметить, что наличие большого числа изделий, расположенных в непосредственной близости от изделия a в системе координат DOC , говорит о потенциальной возможности напряженного конкурентного противостояния. Производители конкурирующих изделий могут использовать различные спо-

Сравнительный анализ конкурирующих изделий

Изделия	Параметры сравнения					
	Цена	Предпочтительность	$j = 1$	$j = 2$	...	$j = q$
a	0	0	Δh_1^a	Δh_2^a	...	Δh_q^a
a_1	C_a^1	D_a^1	Δh_1^1	Δh_2^1	...	Δh_q^1
...	...	...	...	...	...	...
a_p	C_a^p	D_a^p	Δh_1^p	Δh_2^p	...	Δh_q^p

события продвижения товаров (Котлер, Келлер, 2006, ч. 4, 5, 7), и производитель товара a будет вынужден отвечать на их действия, неся дополнительные затраты.

Конкурентоспособность K_a^p изделия a относительно изделий $a_p \in A$, $p = 1, \dots, n$, может быть оценена, например, как разность соответствующих оценок конкурентоспособности:

$$K_a^p = \frac{D_a}{C_a} - \frac{D_p}{C_p}.$$

При сравнении изделий a и a_p возможны три варианта значений K_a^p :

- $K_a^p > 0$ – изделие a превосходит изделие a_p ;
- $K_a^p < 0$ – изделие a уступает изделию a_p ;
- $K_a^p = 0$ – изделия a и a_p равнозначны.

Если ограничения на значения характеристик разрабатываемого изделия a , определяемые вектором H^* , распространяются также на товары $a_p \in A$, $p = 1, \dots, n$, то может быть выполнено сравнение отклонений фактических значений данных характеристик от допустимых. Пусть H_p , $p = 1, \dots, n$, – вектора характеристик, соответствующие товарам $a_p \in A$, тогда вектора отклонений могут быть рассчитаны по формуле $\Delta H_p = H^* - H_p$, $p = 1, \dots, n$. Аналогично может быть определен вектор ΔH_a отклонений характеристик разработанного изделия a . В результате будут известны $\Delta h_j^p \in \Delta H_p$ и $\Delta h_j^a \in \Delta H_a$, $j = 1, \dots, q$, $p = 1, \dots, n$.

Для каждой пары изделий a и $a_p \in A$, $p = 1, \dots, n$, найдем разницу цен и предпочтительностей: $C_a^p = C_a - C_p$, $D_a^p = D_a - D_p$. Сравнение отклонений значений характеристик изделий, а также различий в их предпочтительностях и ценах может быть выполнено с помощью таблицы сравнения конкурирующих изделий (см. таблицу). Такие таблицы могут также содержать значения характеристик изделий, их цен и оценок предпочтительности. Эти данные позволяют на основе методов сопоставительного и факторного анализа (Дубров, Мхитарян, Трошин, 2000, гл. 6) выполнить широкий спектр исследований конкурирующих товаров.

6. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИЗДЕЛИЯ

С учетом решения задачи определения оптимального состава свойств изделия этапы его разработки могут быть описаны следующей последовательностью действий.

1. Определение исходных данных – исследование предпочтений потребителей (или требований заказа), параметров существующих изделий, особенностей создаваемого изделия, соответствующих технологических процессов и требований.

2. Формирование целевых функций и ограничений – обобщение исходных данных в соответствии с формализацией задачи о “многомерном ранце” с булевыми переменными и целями, преследуемыми производителем создаваемого изделия.

3. Решение задачи определения оптимального состава свойств изделия – использование методов решения задачи о “многомерном ранце” с булевыми переменными (например, метода Лэнд и Дойг) с учетом необходимости проверки дополнительных условий, связанных с возможным наличием взаимоисключающих свойств. Нахождение всех оптимальных решений и решений, близких к ним.

4. Интерпретация решений – формирование вариантов состава свойств (конфигураций) разрабатываемого изделия и расчет значений его характеристик, в том числе предпочтительности и себестоимости.

5. Определение оценок предпочтительности существующих изделий.

6. Предварительный выбор наилучших конфигураций изделия из числа полученных конфигураций, у которых предпочтительность и себестоимость наиболее соответствуют интересам производителя.

7. Установление цен на рассматриваемые конфигурации изделия, оценка их конкурентоспособности относительно существующих изделий.

8. Выбор конфигураций изделия для производства – на основании результатов сравнения с существующими изделиями, с учетом емкости рынка, имеющихся ресурсов и производственных мощностей и т.д.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен подход к разработке промышленных товаров, основанный на оптимизации состава их свойств, значения экономических и технических параметров которых аддитивны относительно конфигурации изделия. Привлечение аппарата линейного программирования (задачи о “многомерном ранце” с булевыми переменными) позволяет решать соответствующую задачу для различных критериев оптимальности, например:

- 1) минимизация себестоимости;
- 2) максимизация предпочтительности для потребителей;
- 3) минимизация значения заданной технической характеристики изделия;
- 4) максимизация или минимизация оценки изделия, определяемой соотношением значений двух его характеристик;
- 5) многокритериальная оптимизация значений характеристик изделия.

Используемые ограничения имеют экономические и технические интерпретации, соответствующие технологическим требованиям, предпочтениям потребителей и экономическим интересам производителя. Это позволяет применять предложенный подход как для разработки промышленных товаров, так и для составления предложений по выполнению конкретных заказов, в том числе распределяемых на условиях конкурсного отбора исполнителей в соответствии с предлагаемыми ими вариантами выполнения данных заказов.

Представленный подход может иметь широкое применение в области управления производственной деятельностью и товарным ассортиментом промышленных предприятий, так как позволяет учесть специфику производства изделий различного вида и разрабатывать их для конкретных сегментов рынка, соответствующих группам потребителей со схожими предпочтениями свойств продукции. Особую актуальность задача определения оптимального состава свойств разрабатываемого промышленного изделия приобретает в связи с инновационным развитием промышленности Российской Федерации, так как обеспечивает возможности создания товаров, ориентированных на конкуренцию с имеющимися аналогами.

Разработка и внедрение программных средств, реализующих предложенный подход, помогут предприятиям создавать конкурентоспособные промышленные товары на основании исходных данных, полученных в результате маркетинговых исследований, и актуальных сведений о комплекующих, накапливаемых в специализированных базах данных.

Вместе с тем решение рассмотренной в статье задачи имеет ряд особенностей, определяемых ее экономическим содержанием:

- 1) необходимо получить только точные решения (на основании имеющихся исходных данных, возможно, обладающих неустранимыми погрешностями);
- 2) целесообразен поиск всех оптимальных решений (конфигураций изделия, равнозначных по значениям критериев оптимальности);

3) может требоваться выявление решений, достаточно близких к оптимальному (т.е. конфигураций изделия, незначительно отличающихся от оптимума по значению конкретного критерия), и сравнение их с учетом остальных характеристик;

4) необходимо исследовать зависимость оптимального решения от незначительного изменения ограничений, например, допусков в значениях характеристик конфигурации разрабатываемого изделия (провести анализ устойчивости решения).

Проблемы управления товарным ассортиментом промышленного предприятия, а также наличие перечисленных выше особенностей вынуждают исследователей многократно решать оптимизационные задачи, связанные с разработкой изделий. Использование перебора вариантов состава свойств изделия требует больших затрат времени или вычислительных ресурсов, что может привести к возникновению ошибок разного рода и не позволит эффективно контролировать достоверность получаемых результатов. Это заставляет прибегнуть к комбинаторным методам решения задачи определения оптимального состава свойств разрабатываемого промышленного изделия и созданию специализированных программных средств, учитывающих особенности данной предметной области. Представленные в заключении выводы указывают на необходимость дальнейшего развития предложенного подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. (1966): Новые направления в линейном программировании. М.: Советское радио.
- Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. (2000): Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров. М.: Финансы и статистика.
- Зуев А.С., Федоров М.Б. (2008): Задача формирования оптимального сочетания свойств товара // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. № 4.
- Кондукова Э.В. (2008): АВС: Себестоимость без искажений. М.: Эксмо.
- Котлер Ф., Келлер К.Л. (2006): Маркетинг. Менеджмент. СПб.: Питер.
- Лотов А.В., Поспелова И.И. (2008): Многокритериальные задачи принятия решений. М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова.
- Мандель И.Д. (1988): Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика.
- Подinovский В.В. (2007): Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Физматлит.
- Сигал И.Х., Иванова А.П. (2007): Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. М.: Физматлит.

Поступила в редакцию

18.02.2010 г.

Determination of the Optimal Configuration of Complex Product in Industry

A.S. Zujev, Yu.I. Petrov

Authors present the approach to optimization of industrial products' properties, based on the multi-dimensional back sack problem solution with Bulle variations. Efficiency function and constraints have economic and technical interpretations. Configuration (properties set) of the presented type of products is defined by technical characteristics, added to some basic set, and by their combinations.

Keywords: industrial goods, requirements to the goods, product development, product competitiveness, goods properties, optimal set, optimal goods, range of goods, assortments of goods, optimization of assortments, industrial enterprises.