

В. М. Алдошин, Д. А. Леманский, Г. М. Пегов (Москва, ОАО «НПО «Алмаз»»). Методические подходы к обоснованию приоритетных направлений развития наукоемких технологий в высокотехнологичной компании.

Многие компании направляют свои усилия на реализацию научно-технической стратегии, исходя из оптимизации по комплексному критерию «эффективность–стоимость» соотношения между наращиванием технических характеристик создаваемых сложных технических систем и стоимостными ограничениями. Разрешение этой проблемы остается крайне сложной задачей, и не всегда находится ее рациональное решение применительно к конкретным компаниям и их разработкам.

Указанные обстоятельства вынуждают ведущие компании направлять свои усилия на рациональное (в определенных условиях — оптимальное) распределение ограниченных ресурсов. Применительно к новым экономическим реалиям, такое распределение средств можно назвать «инвестиционными проектами» [3].

В связи с этим рассмотрим возможный подход, предусматривающий осуществление распределения ресурсов между инвестиционными проектами. Данный подход базируется на использовании метода планирования на основе коллективного решения по обеспечению максимального приращения технического уровня высокотехнологичной технической системы при заданном стоимостном ограничении [1].

Почти все существующие подходы к планированию создания новых сложных технических систем рассматривают их компоненты (приборы, датчики и т. д.) как неделимые объекты. При этом решается задача определения такого распределения общего ресурса на создание различных образцов, при котором обеспечивается максимальное приращение значения показателя ожидаемой эффективности.

Одно из основных отличий предлагаемого подхода от существующих — более углубленное рассмотрение технических систем, когда отдельные образцы не считаются неделимыми объектами, а, наоборот, подвергаются основательному «препарированию» и изучаются на уровне отдельных подсистем или даже отдельных функционально законченных элементов. Конечно, это усложняет проблему и приводит к существенному повышению размерности задачи. Но с другой стороны, такой подход позволяет выявить общие пути совершенствования, казалось бы, совершенно различных образцов сложных технических систем, и за счет этого обеспечить или более высокое приращение значения показателя эффективности при заданной величине общего ресурса, или экономию средств при заданном контрольном значении приращения эффективности.

Введем в рассмотрение вектор x , компоненты которого представляют собой упорядоченный набор параметров, характеризующих степени совершенствования характеристик основных наукоемких технических систем в процессе их создания. Можно рассматривать компоненты x , которые представляют собой натуральные логарифмы отношений планируемых значений параметров к их достигнутым значениям [2].

Введем единственный показатель $W(x)$ технического уровня технической системы, являющийся мерой важности проводимых работ на предприятии.

Задачу определения приоритетности работ естественно формулировать как некоторую задачу математического программирования (для определенности рассматривается задача максимизации):

$$W^* = \max_{x \in X} W(x) \quad (1)$$

при ограничениях $R_j(x) \leq R_{0j}$, $j = 1, 2, \dots, J$, $x_{0i}^* \leq x_i \leq x_{0i}$, $i = 1, 2, \dots, N$, где W — целевая функция; $R_j(x)$ — функционалы, определяющие количество ресурса j -го типа, необходимого для наращивания параметров технических систем; x — вектор параметров технических систем, компоненты i которого определяют меру изменения

характеристик технических систем в процессе проведения работ; R_{0j} — система ресурсных ограничений; x_{0i}, x_{0i}^* — соответственно, составляющие векторов требуемых и достигнутых параметров технических систем.

В основе формализации (1) лежит допущение о непрерывности изменения параметров разрабатываемых наукоемких технических систем в зависимости от величин выделяемых ресурсов. Элементы решения данной задачи при заданных ресурсных ограничениях определяют рациональные пропорции в совершенствовании параметров новых систем, совместимые с заданной совокупностью ограничений.

Следует отметить, что, как следует из выражения (1), важность совершенствования технических систем оценивается только с точки зрения актуальности наращивания их технических характеристик.

Основная сложность в решении указанной оптимизационной задачи состоит в установлении явного вида характеризующей эффективность создания новой техники целевой функции $W(x)$, т. к. для определения явного вида ресурсных функционалов у предприятия имеется необходимый объем информации.

Задача (1) при самых общих предположениях о виде используемых функций может быть модифицирована с учетом следующего обстоятельства. Без существенных ограничений общности можно считать, что достигнутые уровни определяющих параметров еще не соответствуют требуемым значениям. Учет этого позволяет существенно упростить постановку оптимизационной задачи, провести линеаризацию входящих в нее функций и записать (1) в виде следующей задачи линейного программирования:

$$\delta W^* = \max_x \{ \delta W(x) \} = \max_x \left\{ \sum_{i=1}^n a_i \delta x_i \right\} \quad (2)$$

при стоимостном ограничении $C(\delta x) \equiv \sum_{i=1}^n \beta_i \delta x_i \leq C_0$, где $C(\delta x)$ — функция, определяющая требуемые затраты на совершенствование наукоемких технологий (на изменение компонент вектора x); C_0 — известная величина стоимостного ограничения; a_i, β_i — случайные параметры линейных целевой и стоимостной функций. Функция затрат $C(\delta x)$ — аналог производственной функции, вводимой в рассмотрение в экономике при решении экономических вопросов оптимизации использования капитала [4], [6].

Можно показать, что в условиях полной информации относительно значений параметров целевой и стоимостной функций оптимальное решение состоит в концентрации всего исходного ресурса на одном i -м (приоритетном) направлении развития наукоемких технологий [1]: $i = \text{Arg} \{ a_i/\beta_i > a_k/\beta_k, i \neq k \}$, т. е. задача (2) имеет следующее решение:

$$W^* = (a_i/\beta_i)C_0, \quad \delta x_0 = (0, 0, \dots, C_0/\beta_i, \dots, 0)^T, \quad (3)$$

где i — индекс компоненты вектора x , соответствующей максимальной величине отношения a_i/β_i .

Таким образом, оптимальное решение задачи (2) состоит в концентрации всего выделяемого ресурса только на одном наиболее важном направлении, где будет обеспечено максимальное приращение целевой функции на единицу. Это направление является приоритетным на рассматриваемом этапе проведения работ. На следующих этапах соотношение коэффициентов a_i и β_i может измениться, и приоритетным окажется другое направление работ. Поэтому решение задачи (2) должно проводиться не однократно, а каждый раз по мере выделения очередной порции ресурса и уточнения коэффициентов стоимостной и целевой функций.

Рассмотренная постановка математической задачи является наиболее простой ее формой. Она применима в тех случаях, когда во всех используемых функциях (функционалах) отсутствуют элементы неопределенности. В реальной ситуации при раз-

работке ресурсных математических моделей, которые определяют явный вид показателя технического уровня разработки наукоемких технологий и ресурсных функций, неопределенности различной природы присутствуют почти всегда. Это приводит к тому, что в общем случае теряется однозначность выбора приоритетного направления работ. Поэтому целесообразно задачу определения приоритетных работ с самого начала формулировать не в детерминированной, а в вероятностной (стохастической) постановке, рассматривая интервально определяемые параметры функционалов как случайные числа с известными законами распределения, решая многократно при конкретных реализациях оптимизационную задачу и определяя вероятности выполнения различных работ как приоритетных. При таком подходе новых принципиальных проблем решения оптимизационной задачи не возникает, и все определяется доступным временем решения задачи на ЭВМ.

В связи с изложенным, формулировка задачи о приоритетных работах на высокотехнологичном предприятии в современных условиях может быть трансформирована следующим образом. Заданы: а) вектор x параметров создаваемых технических систем; б) целевая функция $W(x)$ (точнее, приращение целевой функции), которая при малых изменениях x может быть представлена в виде линейной формы:

$$\delta W(\delta x) = \sum_{i=1}^n a_i \delta x_i, \quad (4)$$

где x_i — компоненты вектора x ; a_i — подлежащие определению неотрицательные случайные параметры целевой функции: $a_i = \partial W / \partial x_i|_{x=x^*}$; в) линейная форма, определяющая функцию затрат на развитие наукоемких технологий:

$$C(\delta x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \delta x_i, \quad (5)$$

где β_i — положительно определенные случайные величины с заданными законами распределения; г) C_0 — величина стоимостного ограничения.

Требуется определить: 1) математическое ожидание максимального приращения целевой функции:

$$\delta W_0 = \mathbf{M} \{ \delta W^* \} = \mathbf{M} \{ \max_x \delta W \} = \mathbf{M} \{ Z \} C_0, \quad (6)$$

где Z — случайная величина вида $Z = \max_i \{ a_i / \beta_i \}$;

2) вероятности $\mathbf{P}_i \{ a_i / \beta_i > a_j / \beta_j, \text{ для любых } i \neq j \}$ реализации различных наукоемких технологий как приоритетных. Отметим, что при этом закон распределения Z_i будет определять рациональные доли финансирования работ по созданию технических систем при общем объеме выделенных ассигнований C_0 [1].

Заметим, что линейный вид зависимости приращения целевой функции от изменений технических параметров не случаен и не постулируется ради удобства проводимых вычислений, а вполне естественен и обусловлен свойствами непрерывной дифференцируемости функций при малых изменениях их аргументов. Поэтому отпадает необходимость проведения специального исследования для установления вида многомерной функции полезности [5].

Линейность целевой и стоимостной функций в задаче (4)–(5) позволяет ввести в рассмотрение понятие «базисной» технологии как неделимой далее элементарной части наукоемкой технологии, которая ориентирована на совершенствование образцов технических систем и средств только по одному техническому параметру. Именно базисные технологии отображаются в соответствующие компоненты вектора x .

Сформулированная в вероятностной постановке оптимизационная задача распределения ресурса обладает большой размерностью. Для ее решения целесообразно использование численных статистических методов.

Метод статистических испытаний одинаково хорошо работает, когда все коэффициенты a_i и β_i — независимые случайные числа или когда они связаны друг с другом совместными законами распределения. При этом при наличии минимальной информации только о граничных значениях коэффициентов линейной формы законы распределения параметров a_i и β_i будем считать равномерными.

Результатом решения оптимизационной задачи (4)–(5), сформулированной в вероятностной постановке, является математическое ожидание приращения целевой функции на единицу выделенного ресурса, а также рациональный профиль финансирования работ в компании (доли ресурсов, выделяемых на каждую работу из общего объема финансирования). Следует особо отметить, что при этом части суммарного ресурса, планируемые на различные направления работ (на отработку различных базисных оборонных технологий), не будут зависеть от общей абсолютной величины ресурса. Поэтому решение о рациональном распределении ассигнований на очередной этап работ может готовиться заблаговременно до получения информации об объеме финансировании, что очень важно в современных экономических условиях.

Численные значения параметров $\beta_{i,\min}$ и $\beta_{i,\max}$ могут быть установлены эвристическими (экспертными) методами на основе информации, получаемой от квалифицированных специалистов компании, которые наиболее полно информированы в вопросах оценки возможных трудозатрат и стоимости совершенствования параметров основных подсистем создаваемых технических систем.

При установлении экспертным методом составляющих $C_i(\delta_i)$ стоимостной функции специалисты высокотехнологичной компании должны ответить на следующие вопросы:

1) каков минимальный объем финансирования, необходимый для организации и начала очередного этапа работ? Из ответа на этот вопрос определяется величина C_{i1} порогового значения финансирования (т.е. изучается возможность использования линейного приближения).

2) какие дополнительные затраты сверх C_{i1} должны быть произведены для увеличения значения определяющего параметра элемента технической системы на некоторую малую величину, скажем, 10–20%? Полученная информация, которая может иметь интервальный характер, используется для установления параметра β_i в функции $C_i(x_i)$ затрат на разработку.

Предложенный методический подход может позволить высокотехнологичной компании строить свою стратегию таким образом, чтобы разработка и производство эффективной конкурентоспособной продукции не влияли на ее устойчивое финансовое положение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдошин В. М., Колганов С. К., Фомин А. Н. Основные положения методологии обоснования приоритетных направлений разработки оборонных технологий. М.: Радио и связь, 1998.
2. Алдошин В. М., Колганов С. К., Попов П. Г., Фомин А. Н. Метод обоснования приоритетности НИЭР по разработке новых систем вооружения и критических технологий. — Вопросы оборонной техники. Сер. 3. 1994, в. 4.
3. Кузьмин Б. В. Социальное прогнозирование развития России в XXI веке: Учебное пособие по антикризисному управлению экономикой и обществом. М.: Изд-во ПРИОР, 2002.
4. Курс экономической теории. / Под ред. М. Н. Чепурина, Е. А. Киселевой. Киров: АСА, 1995.
5. Рини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
6. Сакс Дж., Ларрен Ф. Макроэкономика. Глобальный подход. М.: Дело, 1996.