

Буравлев А.И.

Доктор технических наук, профессор.

Нежинский Н.Н.

Кандидат технических наук, доцент.

Методика оптимизации номенклатуры образцов вооружения и военной техники при формировании государственной программы вооружения¹

В статье рассматривается задача формирования оптимальной номенклатуры образцов ВВТ для включения в Государственную программу вооружений для последующей разработки и производства. Критерием отбора образцов ВВТ выступает комплексный критерий «стоимость – время реализации – достигаемый эффект», учитывающий стоимость и сроков их разработки и производства образцов ВВТ, объем и стоимость их закупки образцов, а также доля покрываемых каждым образцом ВВТ множества оперативно-тактических и боевых задач. Авторами предложен алгоритм целенаправленного выбора образцов ВВТ по данному критерию, использующий процедуру динамического программирования. Приведен пример, демонстрирующий работоспособность алгоритма. Предложенную методику предлагается использовать на этапе предварительного отбора конкурирующих проектов для включения в ГПВ.

Введение. Одной из проблемных задач, возникающих при формировании Государственной программы вооружения (ГПВ), является задача определения оптимальной номенклатуры образцов вооружения и военной техники (ВВТ), обеспечивающих решение всего множества боевых и специальных задач в рамках прогнозируемых военных конфликтов с заданной эффективностью при определенных ресурсных ограничениях [1].

Эти ограничения отражают уровень экономического, научно-технического, технологического, кадрового потенциала на рассматриваемом интервале программного планирования.

В настоящее время эта задача решается на основе моделирования различных сценариев развития вооруженных конфликтов и определения расчетных потребностей в номенклатуре и численности ВВТ для войсковых группировок, участвующих в этих конфликтах. На основе этих потребностей формируются подпрограммы создания ВВТ для видов Вооруженных Сил, которые затем увязываются с учетом ресурсных ограничений в межвидовую программу развития вооружения [2, 3].

При формировании, как видовых, так и межвидовых программ вооружения ключевой проблемой становится выбор конкурирующих образцов ВВТ, обеспечивающих решение боевых и специальных задач не только по критериям боевой эффективности, но и учитывающих время и стоимость их разработки и производства, ограничения по

финансированию ГПВ, требования по унификации и др.

В данной статье рассматривается методика оптимизации номенклатуры образцов ВВТ, максимально покрывающих множество боевых и специальных задач при заданных финансовых и временных ограничениях на их разработку и производство.

Постановка задачи. Рассматривается множество оперативно-тактических задач (ОТЗ) Ω , подлежащих решению в рамках некоторого сценария прогнозируемого вооруженного конфликта. Мощность данного множества определяется количеством входящих в него задач $n = |\Omega|$. Пусть имеется m конкурирующих образцов (проектов) ВВТ, каждый из которых может решать некоторую часть задач $\Omega_j \subset \Omega$ мощностью $n_j = |\Omega_j|$, ($j = \overline{1, m}$) с определенной эффективностью. Множества ОТЗ, решаемые разными образцами ВВТ, могут, в общем случае, пересекаться:

$$\forall k, j \quad \Omega_k \cap \Omega_j \neq \emptyset; \bigcup_{j=1}^m \Omega_j = \Omega.$$

Отношение числа задач, решаемых j -м образцом ВВТ, к общему числу задач

$\rho_j = \frac{n_j}{n}$, мы назовем коэффициентом покрытия исходного поля ОТЗ. Для решения конкретной ОТЗ с заданной эффективностью требуется определенное количество образцов ВВТ N_j .

Для разработки и запуска в производство каждого образца ВВТ требуется время T_j и

¹ Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ №06-09-13510-офи-ц



средние годовые затраты \bar{c}_j . Стоимость закупки единичного образца составляет величину C_{3j} . В этом случае стоимость всей программы разработки, производства и закупки образцов ВВТ составляет величину $C_j = \bar{c}_j \cdot T_j + C_{3j} N_j$. Общий бюджет ГПВ ограничен величиной C_B . При этих условиях требуется выбрать оптимальную номенклатуру образцов ВВТ для включения их в ГПВ.

В качестве целевого показателя рассмотрим коэффициент покрытия программой заданного поля боевых задач, а в качестве ресурсного ограничения – заданный бюджет программы.

Обозначим $x_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in \Pi \\ 0, & \text{если } j \notin \Pi \end{cases}$ – индикатор

включения образца j -го образца в программу вооружения Π ; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – вектор индикаторов конкурирующих образцов, включаемых в программу вооружения; B_X – множество значений вектора индикаторов X , характеризующее число различных вариантов программы вооружения с мощностью $M = |B_X| = 2^m$.

Тогда величина $C_{\Pi}(x) = \sum_{j=1}^m C_j x_j$ – характеризует стоимость программы вооружения в зависимости от включенной в нее номенклатуры ВВТ.

Выбор образца ВВТ для включения в программу вооружения будем рассматривать как схему статистических испытаний упорядоченной совокупности образцов $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$. При случайном выборе образцов ВВТ коэффициент покрытия $0 < \rho_j < 1$;

$\sum_{j=1}^m \rho_j = 1$ характеризует вероятность покрытия исходного поля ОТЗ определенным образцом ВВТ. В этом случае величина

$\rho(x) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \rho_j x_j)$ характеризует веро-

ятность покрытия множества ОТЗ рассматриваемой номенклатурой ВВТ.

Требуется построить алгоритм оптимального отбора конкурирующих образцов в ГПВ, обеспечивающий максимальную вероятность покрытия поля ОТЗ при заданном ограничении на бюджет программы, т.е.

$$\rho(x) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \rho_i x_i) \Rightarrow \max_{x \in X} \quad (1)$$

$$C_{\Pi}(x) = \sum_{j=1}^m C_j x_j \leq C_B; \quad x_j \in \{0, 1\}.$$

Сформулированная задача является задачей нелинейного программирования в булевых переменных, для решения которой необходимо использовать специальные математические методы и программные средства.

В данной работе предлагается использовать рекуррентный метод оптимизации, основанный на минимизации функции средних затрат, удовлетворяющей уравнению Беллмана [4,5] и дающий простой и эффективный алгоритм решения задачи (1).

Алгоритм решения. В основе алгоритма лежит последовательная схема оценки средней стоимости ГПВ с учетом вероятностного выбора образцов ВВТ, включаемых в программу.

Выбор конкретного образца ВВТ для включения в программу вооружения ($x_j = 1$) имеет случайный исход, вероятность которого составляет

$$P(x_j = 1) = \rho_j \prod_{k=1}^{j-1} (1 - \rho_k). \quad (2)$$

Коэффициенты покрытия ρ_j изменяются в зависимости от количества уже включенных в программу образцов, поскольку для них возможны пересечения по множествам покрываемых задач. В результате этого будет изменяться и распределение вероятностей выбора (2).

Стоимость программы зависит от числа и номенклатуры включенных в нее образцов ВВТ. Переход к очередному варианту программы путем включения в нее новых образцов ВВТ будет зависеть от величины остатка бюджета и стоимости включаемых в нее образцов. Для учета этого фактора введем оценку объема располагаемого бюджета для финансирования j -го образца ВВТ для включения его в программу, при условии, что в программу уже включены $(j-1)$ образцов ВВТ

$$\psi_j = \begin{cases} C_j, & \text{если } C_B - \sum_{k=1}^{j-1} C_k \geq C_j \\ \infty, & \text{если } C_B - \sum_{k=1}^{j-1} C_k < C_j \end{cases}. \quad (3)$$

Равенство $\psi_j = C_j$ означает, что объемы располагаемого бюджета обеспечивают

полномасштабное финансирование j -го образца, а равенство $\psi_j = \infty$ означает, что данный образец не может быть полностью профинансирован в рамках заданного бюджета.

Найдем средние суммарные затраты на реализацию ГПВ при некотором порядке выбора образцов ВВТ, например: $1, 2, 3, \dots, m$. Они будут равны сумме текущих объемов финансирования с учетом вероятности включения образцов ВВТ в программу:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{\Pi}^{(1)} &= \psi_1 P(x_1 = 1) + (\psi_1 + \psi_2) P(x_1 = 1; x_2 = 1) + \dots + \\ &+ (\psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_m) P(x_1 = 1; x_2 = 1; \dots x_m = 1) = \\ &= \psi_1 \rho_1 + (\psi_1 + \psi_2)(1 - \rho_1) \rho_2 + \dots + \\ &+ (\psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_m)(1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \dots (1 - \rho_{m-1}) \rho_m. \end{aligned}$$

Изменим порядок выбора образцов для включения в программу вооружения, поменяв образцы с номерами 1 и 2 местами.

В этом случае средние затраты на реализацию ГПВ составят;

$$\begin{aligned} \bar{C}_{\Pi}^{(2)} &= \psi_2 \rho_2 + (\psi_2 + \psi_1)(1 - \rho_2) \rho_1 + \dots + \\ &+ (\psi_1 + \psi_2 + \dots + \psi_m)(1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \dots (1 - \rho_{m-1}) \rho_m. \end{aligned}$$

Очевидно, первая схема отбора и финансирования проектов будет предпочтительнее второй, если

$$\bar{C}_{\Pi}^{(1)} \leq \bar{C}_{\Pi}^{(2)},$$

откуда следует соотношение

$$\frac{\psi_1}{\rho_1} \leq \frac{\psi_2}{\rho_2}.$$

Производя различные перестановки номеров проектов, включаемых в ГПВ (число таких перестановок составляет 2^m), и их упорядочивание, получаем в итоге следующий порядок номеров образцов ВВТ для включения в программу вооружения:

$$\frac{\psi_1}{\rho_1} \leq \frac{\psi_2}{\rho_2} \leq \dots \leq \frac{\psi_m}{\rho_m}. \quad (4)$$

Условие (4) реализуется с помощью следующего алгоритма:

$$i^* = \arg \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{\psi_i}{\rho_i} \right\}. \quad (5)$$

Согласно алгоритму (5) первым ($i^* = 1$) в ГПВ включается образец, имеющий минимальное отношение объема финансирования к коэффициенту покрытия поля ОТЗ

$\left\{ \frac{\psi_j}{\rho_j}, j = \overline{1, m} \right\}$; вторым ($i^* = 2$) включается образец с минимальным отношением

$$\left\{ \frac{\psi_j}{\rho_j}, j = \overline{1, m-1} \right\} \text{ из оставшихся проектов}$$

и.т.д.

Алгоритм заканчивает работу, как только наступит равенство $\psi_i = \infty$. Это означает, что остатки бюджета не обеспечивают полномасштабное финансирование очередного образца ВВТ. Таким образом, в ГПВ попадают образцы с полномасштабным финансированием, при этом суммарные затраты на реализацию ГПВ не превосходят ее бюджета.

При этом достигается максимальная вероятность покрытия системой ВВТ заданного множества ОТЗ.

На каждом шаге выбора проекта для включения в ГПВ происходит коррекция коэффициентов покрытия ρ_j , путем исключения из исходного множества Ω части ОТЗ, покрываемых включенными в ГПВ проектами:

$$\rho_i = \frac{n_i}{n - \sum_k n_k}. \quad (6)$$

Такая коррекция обеспечивает учет пересечений множеств задач, покрываемых системой образцов ВВТ.

Пример. Рассматриваются четыре конкурирующих проекта ВВТ для решения $n = 10$ оперативно-тактических задач. Исходные данные по проектам ВВТ приведены в таблице 1. Требуется выбрать проекты для включения для включения их в ГПВ при заданном бюджете $C_B = 420$ млн. у.е.

Решение.

Шаг 1. Рассчитываем объемы финансирования проектов $\psi_1 = 110,5$ млн. у.е.; $\psi_2 = 117$ млн. у.е.; $\psi_3 = 164$; $\psi_4 = 126$ млн. у.е. и определяем коэффициенты покрытия поля ОТЗ:

$$\rho_1 = \frac{3}{10} = 0,3; \quad \rho_2 = \frac{2}{10} = 0,2;$$

$$\rho_3 = \frac{4}{10} = 0,4; \quad \rho_4 = \frac{3}{10} = 0,3.$$

Определяем приоритетный номер проекта ВВТ для включения в ГПВ:

$$\min \left\{ \frac{110,5}{0,3}; \frac{117}{0,2}; \frac{164}{0,4}; \frac{126}{0,3} \right\} = 368,3 \Rightarrow i^* = 1.$$



Таблица 1

Проект ВВТ	Количество решаемых ОТЗ n_i	Число потребных образцов ВВТ N_j	Потребный срок разработки и производства T_i , год	Стоимость разработки и производства единичного образца ВВТ \bar{c}_j , млн. у.е.	Стоимость закупки единичного образца C_{3j} , млн. у.е.
Проект №1	3	25	4	12	2,5
Проект №2	2	50	3	9	1,8
Проект №3	4	20	5	20	3,2
Проект №4	3	30	4	15	2,2

Шаг 2. Оцениваем остаток бюджета программы $C_B = 420 - 110,5 = 309,5$ млн. у.е. и количество ОТЗ, покрываемые оставшимися образцами ВВТ. Пусть это число задач составляет

$$n_2 = 2; n_3 = 3; n_4 = 2.$$

В общем случае может измениться и потребная численность образцов ВВТ. В данном примере будем считать, что эта численность остается неизменной.

Потребные объемы финансирования для оставшихся проектов составляют:

$$\psi_2 = 117; \psi_3 = 164; \psi_4 = 126.$$

Уточняем количество ОТЗ для оставшихся проектов и пересчитываем коэффициенты покрытия оставшегося поля ОТЗ:

$$n = 7; \rho_1 = \frac{2}{7} = 0,28;$$

$$\rho_3 = \frac{3}{7} = 0,43; \rho_4 = \frac{3}{7} = 0,28.$$

Определяем очередной приоритетный номер проекта для включения в ГПВ:

$$\min \left\{ \frac{117}{0,28}; \frac{164}{0,43}; \frac{126}{0,28} \right\} = 381,4 \Rightarrow i^* = 3.$$

Шаг 3. Оцениваем остаток бюджета $C_B = 309,5 - 164 = 145,5$ млн. у.е. и располагаемые объемы финансирования оставшихся проектов: $\psi_2 = 117; \psi_4 = 126$. Пересчитываем коэффициенты покрытия относительно оставшегося поля ОТЗ:

$$n = 4; n_2 = 2; n_4 = 2;$$

$$\rho_2 = \frac{2}{4} = 0,5; \rho_4 = \frac{2}{4} = 0,5.$$

Определяем очередной приоритетный номер проекта для включения в ГПВ:

$$\min \left\{ \frac{117}{0,5}; \frac{126}{0,5} \right\} = 234 \Rightarrow i^* = 2.$$

Таким образом, в ГПВ попадают проекты №1, №2, №3.

Суммарные затраты на реализацию ГПВ при этом составят:

$$C_{ГПВ} = 110,5 + 164 + 117 = 391,5 \text{ млн. у.е.},$$

а коэффициент покрытия поля ОТЗ:

$$\rho = 1 - (1 - 0,3) \cdot (1 - 0,43) \cdot (1 - 0,5) = 0,8.$$

Остаток бюджета программы может быть использован для финансирования поисковых исследований других проектов ВВТ (в том числе проекта №3) с последующим их включением в очередную программу вооружения.

Как следует из изложенного выше, предлагаемая методика и алгоритм оптимизации номенклатуры образцов ВВТ проектов является простым и эффективным инструментом для решения практических задач и может быть использован на этапе конкурсного отбора проектов для включения в ГПВ.

Список использованных источников

1 Московский А.М. Основные проблемы научного обоснования Государственной программы вооружения на 2006-2015г.г.// Актуальные проблемы военно-научного обоснования Государственной программы вооружения на современном этапе. Сборник материалов 5-ой научной конференции РАН. - М.: 2005.

2 Рахманов А.А. Методическая база обоснования основных параметров Государственной программы вооружения // Актуальные проблемы военно-научного обоснования Государственной программы вооружения на современном этапе. Сборник материалов 5-ой научной конференции РАН. - М.: 2005.

3 Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И./ Под ред. А.А. Рахманова Теория вооружения. - М.: 46 ЦНИИ МО, 2002.

4 Беллман Р. Динамическое программирование. Пер. с англ. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1960.

5 Буравлев А.И., Кудрявцев М.М. Методика оптимизации проектных решений при разработке и модернизации военно-технических систем./ Вопросы оборонной техники. Научно-технический сборник. - М.: ЦНИИЭИСУ, Серия 3, выпуск 5-6 (282-283), 1997.

