

УДК 623.4

А.И. БУРАВЛЕВ, доктор
технических наук, профессор
И.П. АНДРЕЙКОВ

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОЙ УНИФИКАЦИИ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ ПО КРИТЕРИЮ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ – СТОИМОСТЬ»

В статье решается задача оптимальной унификации системы вооружения по критерию «эффективность – стоимость» при допущении о выпуклости функции затрат от уровня унификации, который определяется числом решаемых функциональных задач одним образцом ВВТ. Разработаны методика и алгоритм решения задачи, основанные на построении дерева различных вариантов унификации образца ВВТ, оценке их стоимости и эффективности применения. Критерием унификации выступает стоимость унифицированного образца ВВТ, которая не должна превышать стоимости совокупности специализированных образцов ВВТ. В качестве критерия оптимального выбора уровня оптимизации используется минимум стоимости закупки необходимого количества образцов ВВТ для решения функциональных задач с заданной эффективностью. Рассмотрен пример, иллюстрирующий предложенную методику решения задачи.

Ключевые слова: унификация, критерий «эффективность-стоимость», выпуклость функции затрат, дерево вариантов унификации, минимум стоимости закупки ВВТ.

Введение

Задача формирования систем вооружения базируется на двух основаниях [1-3]:

- 1) обеспечение требуемой эффективности решения поставленных боевых задач;
- 2) минимизация затрат на ее создание.

Эти основания или *критерии* являются ключевыми в задачах программно-целевого управления развитием вооружения и военной техники (ВВТ).

Третьим основанием выступает принцип *унификации* ВВТ, реализация которого обеспечивает снижение номенклатуры образцов вооружения и военной техники, что приводит также к уменьшению затрат на производство и эксплуатацию ВВТ в войсках [3-5]. Унификация является элементом *стандартизации* и выступает основой *взаимозаменяемости* изделий, т.е. использование одного изделия вместо другого для выполнения одних и тех функций, что является важным требованием для продукции военного назначения.

Унификация в разной степени влияет на боевую эффективность и стоимость образцов ВВТ. Использование стандартных узлов, агрегатов, схемных решений, а также технологических процессов, безусловно, снижают стоимость производства ВВТ, а также упрощают их эксплуатацию в войсках. С другой стороны, унификация может негативно влиять на технические характеристики элементов, систем и комплексов ВВТ, так как ориентируется на применение известных конструктивных решений, унифицированной элементной базы и типовых технологий, не позволяющих получить значительное приращение качества и эффективности применения образцов ВВТ. Поэтому возникает необходимость в оценке оптимального уровня унификации образцов ВВТ и продукции военного назначения.

Система вооружения включает в себя определенную совокупность боевых и обеспечивающих систем. Боевые системы осуществляют непосредственное решение боевых задач (разведка, целеуказание, поражение объектов, связь). Обеспечивающие системы осуществляют приведение боевых систем в готовность к применению и их восстановление при утрате способности функционирования. Унификация боевых систем состоит в увеличении количества решаемых ими боевых задач без заметного снижения эффективности. Уровень унификации боевых систем непосредственно влияет на облик обеспечивающих систем. Унификация обеспечивающих систем направлена на расширение перечня их функциональных задач, таких как транспортировка, загрузка боекомплекта средств поражения, заправка топливом и другими компонентами, замена отказавших агрегатов и пр.

Наличие разнотипности образцов ВВТ в системе вооружения приводит к росту объемов военной техники, необходимости увеличения числа специалистов для ее технического обслуживания, увеличения

числа хранилищ и парковых зон для обслуживания военной техники. Все это приводит к росту затрат на техническую эксплуатацию ВВТ. В случае отказов или повреждений ВВТ возникает необходимость в их ремонте. Увеличение разнотипности ВВТ приводит также к росту потребных запасных частей, инструмента, расходного материала, ремонтно-технической документации для проведения ремонтно-восстановительных работ, что негативным образом сказывается на готовности и эффективности работы систем материально-технического обеспечения.

В данной статье рассматривается задача оптимальной унификации системы вооружения и методика ее решения применительно к боевым системам и комплексам.

Постановка задачи

Пусть задано множество видов боевых задач $X = \{j = \overline{1, n}\}$. Решение этих задач может быть обеспечено либо специализированными комплексами ВВТ, каждый из которых выполняет только одну боевую задачу, либо некоторым количеством унифицированных в разной степени комплексов. Выполнение специализированным комплексом ВВТ определенной боевой задачи характеризуется вероятностью W_j , которую будем считать максимальной для текущего научно-технического и производственного-технологического уровня разработок ВВТ.

Унификация образца ВВТ направлена, прежде всего, на увеличение количества решаемых задач, что обеспечивает сокращение типажа ВВТ при сохранении уровня его боевой эффективности.

Введем стоимость разработки и производства C_i , ($i = \overline{1, m}$) определенного образца ВВТ, которая зависит от эффективности его боевого применения и степени универсальности.

Пусть для специализированных образцов ВВТ определенного класса известны данные их стоимости C_j и достигаемой эффективности применения W_j , ($j = \overline{1, n}$). Эти характеристики содержатся в аванпроектах и технических заданиях на разработку образцов ВВТ и затем уточняются в эскизном и техническом проектах [3; 6]. В настоящее время военно-технические и технико-экономические данные по ВВТ являются основой Единой системы исходных данных для программно-целевого

планирования развития вооружения и военной техники [3; 6]. На основе военно-технических и технико-экономических данных осуществляется прогнозирование направлений развития и уровень тактико-технических характеристик ВВТ [8-10].

Из теории и практики создания ВВТ различного назначения следует, что стоимость ВВТ C в рамках определенного научно-технического и технологического уклада монотонно возрастает с ростом их эффективности W . Часто эта зависимость представляется выпуклой вниз функцией $C(W)$ [1; 3; 6].

Для выпуклых функций значение функции от линейной комбинации двух и более значений аргумента не превышает значения линейной комбинации функции от этих аргументов:

$$\forall \alpha, 0 \leq \alpha \leq 1, W_1 < W_2, C(\alpha W_1 + (1 - \alpha)W_2) \leq \alpha C(W_1) + (1 - \alpha)C(W_2). \quad (1)$$

Это свойство наглядно отображают графики, приведенные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Типичная зависимость стоимости ВВТ от эффективности и ее кусочно-линейная мажоранта

Полагая $\alpha = \frac{1}{n}$, из (1) получаем:

$$C\left(\frac{\sum_{j=1}^n W_j}{n}\right) \leq \frac{\sum_{j=1}^n C(W_j)}{n}. \quad (2)$$

Если известен ряд оценок по эффективности образцов ВВТ:

$$W_1 < W_2 < \dots < W_n$$

и стоимости их разработки и производства:

$$C_1 < C_2 < \dots < C_n,$$

то их отношение $A_i = \frac{C_i}{W_i}$ для выпуклых функций сохраняет порядок значений:

$$A_1 < A_2 < \dots < A_n.$$

Это позволяет в оценочных расчетах использовать линейные оценки стоимости в ограниченной окрестности значений их показателей эффективности:

$$C_i = A_i W_i, \quad (3)$$

где A_i – коэффициент стоимости образца ВВТ.

Для выполнения боевых задач с заданной эффективностью $W_{\text{зад}}$ в составе системы вооружения необходимо иметь определенное количество комплексов ВВТ N_j , которое рассчитывается по известной формуле теории боевой эффективности:

$$N_j = \frac{\lg(1-W_{\text{зад}})}{\lg(1-W_j)}. \quad (4)$$

Выше отмечалось, что унификация, снижая затраты на стоимость разработки и производства ВВТ, может также приводить к снижению эффективности их применения. Поэтому будем рассматривать унификацию как процесс перехода от специализированных образцов ВВТ, решающих только одну боевую задачу с вероятностью W_j , к образцам ВВТ со вторым, третьим и т.д. уровнем унификации, определяемым числом решаемых боевых задач q .

При переходе ко второму и последующим уровням унификации стоимость образца ВВТ не должна превышать сумму стоимостей специализированных образцов, составленных из различных пар, троек и т.д. элементов исходного множества боевых задач, в противном случае унификация не будет иметь смысла:

$$\begin{aligned} C_{jk}(q=2) &\leq A_j W_j + A_k W_k; \\ C_{jks}(q=3) &\leq A_j W_j + A_k W_k + A_s W_s; \\ &\dots\dots\dots \\ C_{jk\dots n}(q \leq n) &\leq \sum_{j=1}^q A_j W_j; \quad j, k, s, \dots, q \in X. \end{aligned}$$

Здесь нижние индексы у показателя стоимости указывают номера боевых задач, по которым осуществляется унификация специализированных образцов ВВТ.

Число различных вариантов унификации равно сумме числа сочетаний по два, три и т.д. элементов множества боевых задач $X = \{j = \overline{1, n}\}$. Общее число вариантов равно $L = 2^n - 1$. Отсюда видно, что число возможных вариантов унификации находится в степенной зависимости от числа боевых задач.

Таким образом, для некоторого уровня унификации q стоимость l -го варианта унифицированного образца $C^{(l)}(q)$ не должна превышать стоимости такого же числа специализированных образцов ВВТ:

$$C^{(l)}(q) \leq \sum_{j=1}^q A_j^{(l)} W_j^{(l)}; (l = \overline{1, L}) \quad (5)$$

Выполнение этого условия обеспечивается свойством выпуклости функций стоимости (1).

Однако на практике это предположение может не выполняться в силу естественных энергетических и массогабаритных ограничений, которые не могут быть выполнены для заданного уровня унификации. В результате неравенство (5) изменяет свой знак, что является признаком остановки процесса унификации.

Используя свойство выпуклости (2), функцию стоимости унифицированного образца можно оценить формулой типа (3):

$$C^{(l)}(q) = \bar{A}^{(l)}(q) \bar{W}^{(l)}(q), \quad (6)$$

где $\bar{A}^{(l)}(q) = \frac{\sum_{j=1}^q A_j^{(l)} W_j^{(l)}}{\sum_{j=1}^q W_j^{(l)}}$ – среднее значение коэффициента стоимости унифицированного образца; $\bar{W}^{(l)}(q) = \frac{\sum_{j=1}^q W_j^{(l)}}{q}$ – среднее значение показателя эффективности унифицированного образца, которое находится в пределах

$$\min\{W_j\} < \bar{W}(q) < \max\{W_j\},$$

что соответствует предположению о возможном снижении боевой эффективности унифицированного образца ВВТ относительно специализированного образца.

Формула (6) представляет собой математическую модель оценки степени унификации ВВТ, параметрами которой являются показатели боевой эффективности, стоимости и универсальности.

Включение в систему вооружения определенного типа ВВТ должно учитывать не только стоимость его разработки и производства, но и стоимость эксплуатации. В соответствии со вторым основанием (критерием) эта стоимость также должна быть минимальной. Затраты на эксплуатацию часто принимаются пропорциональными стоимости образца ВВТ и продолжительности времени его эксплуатации T [3; 6]:

$$\Delta C_i = k_{\text{Э}i} C_i T_i, \quad (7)$$

$k_{\text{Э}i}$ – коэффициент эксплуатационных затрат i -го образца ВВТ.

На практике этот коэффициент составляет $k_{\text{Э}i} = 0,07 \dots 0,015$ стоимости единичного образца в год.

Суммарные затраты на формирование системы вооружения включают затраты на закупку ВВТ в необходимом количестве с учетом эксплуатационных затрат, а также затраты на создание инфраструктуры для размещения, хранения, проведению технического обслуживания и ремонтно-восстановительных работ (ТОиР), подготовки к применению.

Затраты на закупку ВВТ представляют собой сумму затрат по закупке ВВТ определенного типажа:

$$C_{\text{ВВТ}} = \sum_{i=1}^m C_i (q_i) N_i (1 + k_{\text{Э}i} T), \quad (8)$$

где m – количество типов ВВТ в составе системы вооружения; $N_i = \frac{\lg(1-W_{\text{зад}})}{\lg(1-W_i)}$ – количество потребных образцов ВВТ i -го типа.

Инфраструктурные затраты на строительство хранилищ, парков, площадок подготовки к применению и проведения ТОиР, технологического оборудования для них и пр. в значительной степени зависят от стоимости и типажа ВВТ. Количество хранилищ, парков, технологического оборудования для ТОиР увеличивается с ростом типажа, а стоимость технологического оборудования пропорциональна стоимости образцов ВВТ. Поэтому в первом приближении можно принять, что инфраструктурные затраты определяются следующей формулой:

$$C_{\text{И}} = m k_{\text{И}} C_{\text{ВВТ}}. \quad (9)$$

Эти затраты пропорциональны стоимости закупок $C_{\text{ВВТ}}$ и обратно пропорциональны типу q ВВТ в составе системы вооружения, где $m = \left[\frac{n}{q} \right]$ – число разнотипных ВВТ в составе системы вооружения; $k_{\text{И}}$ – коэффициент стоимости инфраструктурных затрат.

Величина этого коэффициента также зависит от типажа ВВТ и определяется расчетно-экспертным методом по каждому типу ВВТ.

Общие затраты на формирование системы вооружения составят:

$$C_{CB} = C_{ВВТ} + C_{И} = (1 + mk_{И}) \sum_{i=1}^m C_i(q_i) N_i (1 + k_{Э} T). \quad (10)$$

Эти затраты подлежат минимизации согласно второму критерию программно-целевого планирования.

Поскольку функции $C_i(W)$ являются монотонно возрастающими, а функции $N_i(W)$ монотонно убывающими, то их произведение является также монотонно возрастающей (выпуклой) функцией (рисунок 2).

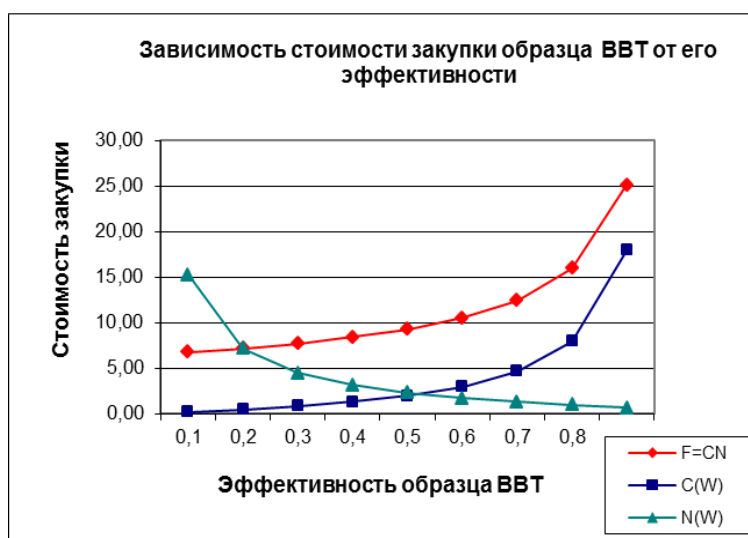


Рисунок 2 – Зависимости стоимости закупки ВВТ от его эффективности

Сумма выпуклых функций $F(W) = \sum_{i=1}^m C_i(W) N_i(W)$ является также выпуклой функцией. Поэтому на множестве вариантов унификации существует функция, принимающая минимальное значение по аргументу W .

Предполагая, что в составе системы вооружения могут находиться образцы ВВТ с разным уровнем унификации, свяжем с каждым типом ВВТ признак $z_{ij} = 1$, если j -я боевая задача выполняется i -м типом ВВТ, и $z_{ij} = 0$ – в противном случае. Матрица $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ характеризует функциональные возможности образов ВВТ, а сумма $\sum_{j=1}^n z_{ij} = q_i$ определяет их показатель унификации. Для полного покрытия множества боевых задач необходимо выполнение условия:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij} = n. \quad (11)$$

В результате получаем следующую задачу оптимальной унификации системы вооружения по критерию «эффективность-стоимость»: требуется сформировать систему вооружения, обеспечивающую

а) выполнение определенного множества боевых задач с заданной эффективностью при минимальных затратах на закупку комплексов ВВТ с учетом их эффективности и степени унификации (прямая задача):

$$C_{CB}(m, q, W_{зад}) = (1 + mk_{И}) \sum_{i=1}^m C_i(q_i, \overline{W}_i) N_i(q_i, W_{зад}) (1 + k_{Э}T) \rightarrow \min_{q, m};$$

$$q_i = \sum_{j=1}^n z_{ij}; N_i(q) = \frac{\lg(1-W_{зад})}{\lg(1-\overline{W}_i)}; \overline{W}_i(q) = \frac{\sum_{j=1}^q W_{ij}^{(l)} z_{ij}}{q};$$

$$(i = \overline{1, m}); \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij} = n; z_{ij} = \{0, 1\}; \quad (12)$$

б) выполнение максимально возможного числа боевых задач с требуемой эффективностью при заданной стоимости на формирование системы вооружения (обратная задача):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij} \rightarrow \max_{z_{ij} \in Z};$$

$$C_{CB}(m, q, W_{зад}) = (1 + mk_{И}) \sum_{i=1}^m C_i(q_i, \overline{W}_i) N_i(q_i, W_{зад}) (1 + k_{Э}T) \leq C_{зад};$$

$$q_i = \sum_{j=1}^n z_{ij}; N_i(q) = \frac{\lg(1-W_{зад})}{\lg(1-\overline{W}_i)}; \overline{W}_i(q) = \frac{\sum_{j=1}^q W_{ij}^{(l)} z_{ij}}{q}; (i = \overline{1, m}); z_{ij} = \{0, 1\}. \quad (13)$$

Исходными данными для обеих задач являются параметры ВВТ и инфраструктуры системы вооружения: $\{W_j, j = \overline{1, n}\}$, $W_{зад}$, $C_{зад}$, $k_{Э}$, $k_{И}$, T .

Сформулированные задачи оптимизации относятся к классу дискретных (целочисленных) задач нелинейного программирования. В силу выпуклости целевых функций эти задачи разрешимы [7]. Для их решения используются известные алгоритмы дискретного программирования (метод прямого перебора, метод ветвей и границ, метод динамического программирования на сетях). Далее в качестве примера рассмотрим прямую задачу оптимизации. Ее решение проведем в два этапа.

На первом этапе определим максимально возможный уровень унификации, когда стоимость унифицированных образцов ВВТ не превышает суммарной стоимости специализированных ВВТ (2).

На втором этапе при полученном (максимальном) уровне унификации решаем задачу выбора оптимального типажа ВВТ для полного покрытия множества боевых задач при минимальных затратах на формирование системы вооружения с учетом закупки ВВТ и их эксплуатации.

Методика оптимальной унификации системы вооружения по критерию «эффективность-стоимость»

Для заданного множества боевых задач $X = \{j = \overline{1, n}\}$ строим дерево возможных вариантов унификации системы вооружения с оценкой ее эффективности и стоимости. Дерево вариантов унификаций включает в себя возможные сочетания вариантов специализированных образцов ВВТ, обеспечивающих решение одной, двух, трех и т.д. вплоть до построения варианта комплекса, обеспечивающего решение всех предусмотренных боевых задач. Корень дерева обозначим цифрой 0. От корня образуются ветви из n специализированных комплексов (первый уровень ветвления). Второй уровень ветвления образуется из числа парных комбинаций C_n^2 комплексов ВВТ, выполняющих две боевые задачи. Третий уровень включает число C_n^3 комплексов, обеспечивающих выполнение трех боевых задач. Процесс ветвления завершается построением комплекса ВВТ (если это технически возможно), обеспечивающего выполнение всех боевых задач. Общее число комбинаций составляет $M = \sum_{i=1}^n C_n^i = 2^n$. На рисунке 3 показано дерево возможных решений по унификации комплексов ВВТ для числа задач $n = 5$.

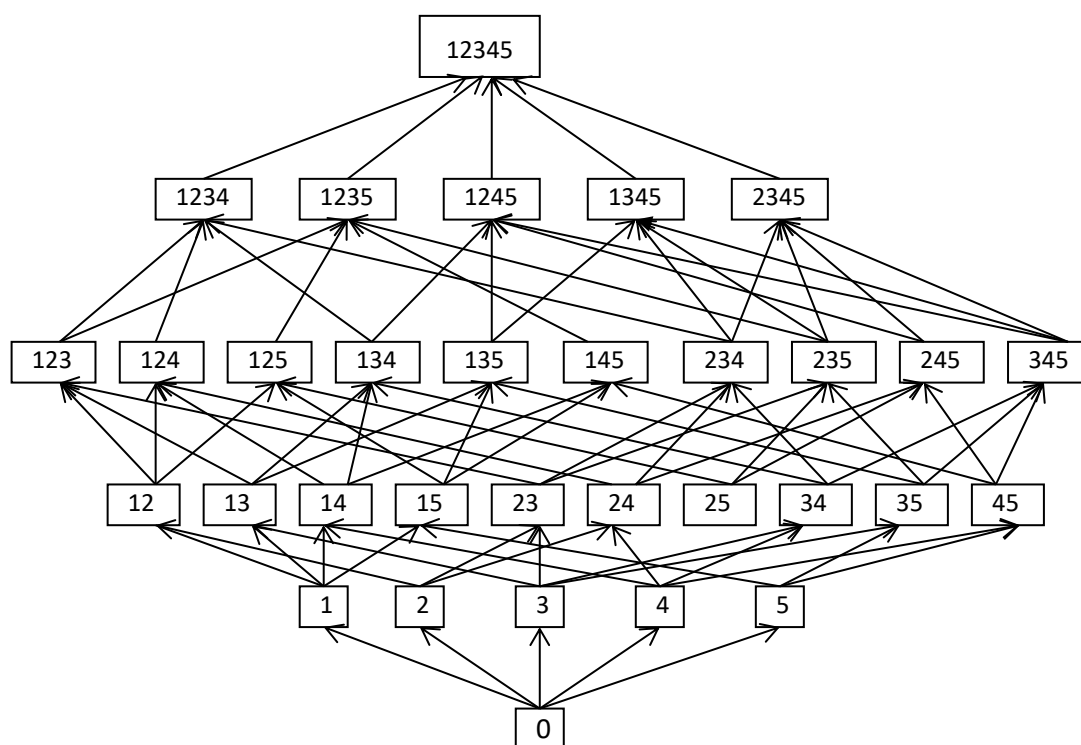


Рисунок 3 – Дерево вариантов унификации

По каждой боевой задаче на основе моделирования, эмпирических и экспертно-аналитических оценок определяется вероятность выполнения боевой задачи W_j уже имеющимся или предполагаемым специализированным комплексом ВВТ, по которой рассчитывается их потребное количество для требуемой вероятности выполнения боевых задач $W_{\text{зад}}$ (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет возможных вариантов унификации комплексов ВВТ

Перечень БЗ	1	2	3	...	n	Расчетные параметры
Вероятность выполнения БЗ	W_1	W_2	W_3	...	W_n	$\bar{W} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j}{n}$
Стоимость образца ВВТ	C_1	C_2	C_3	...	C_n	
Потребное число комплексов ВВТ	N_1	N_2	N_3	...	N_n	
Стоимость закупки ВВТ	$C_1 N_1$	$C_2 N_2$	$C_3 N_3$...	$C_n N_n$	$C = \sum_{j=1}^n C_j N_j$
Варианты унификации						
$q = 1$	1	2	3	4	5	$C(i^*) = \min_i C(j)$
$q = 2$	(1, j)	(2, j)	(3, j)	...	(n - 1, n)	$C(i^*, j^*) = \min_{i,j} C(i, j)$
$q = 3$	(1, (i*, j*))	(2, (i*, j*))	(3, (i*, j*))	...	(n, (i*, j*))	$C(i^*, j^*, k^*) = \min_{i,j,k} C(i^*, j^*, k)$
...			
$q = n$						$C(1, 2, \dots, n)$

Далее оцениваются стоимости разработки и производства специализированных образцов ВВТ на основе эмпирических данных и прогнозных расчетно-экспертных оценок. Затем на каждом уровне ветвления формируются варианты унификации и рассчитываются стоимости закупок образцов ВВТ.

При выполнении условия (5):

$$C^{(l)}(q) \leq \sum_{j=1}^q A_j^{(l)} W_j^{(j)}$$

l -й вариант унификации считается допустимым. Из допустимых вариантов выбирается вариант с минимальной стоимостью:

$$l^*(q) = \arg \min_l \{C^{(l)}(q)\}. \quad (14)$$

Он является оптимальным для данного уровня унификации.

Следующий $q + 1$ оптимальный вариант будет включать оптимальные образцы q -го уровня и дополнительно включаемые образцы предыдущих уровней. Таким образом, реализуется схема динамического программирования при формировании оптимального варианта унификации [11]:

$$C^{(l^*)}(q + 1) = \min_{j \in X} \{C^{(l^*)}(q) + C_j\}. \quad (15)$$

Останов процесса унификации происходит при нарушении условия (5).

После определения оптимального уровня унификации решается вторая часть исходной задачи – формирование системы вооружения из образцов ВВТ разного уровня унификации, удовлетворяющей критериям (12), (13).

Данная задача является задачей о назначениях [7; 11]. Эффективным алгоритмом является метод ветвей и границ с булевыми переменными [11]. Для каждого возможного варианта унификации рассчитывается полная стоимость оснащения системы вооружения ВВТ (10). Далее рассчитывается индекс $\chi(q)$ включения того или иного варианта оснащения в систему вооружения согласно правилу:

$$\chi(q) = \begin{cases} 1, & C_{CB}(q) \leq C_{CB}(q = 1) \\ 0, & C_{CB}(q) > C_{CB}(q = 1) \end{cases}. \quad (16)$$

Все варианты оснащения, для которых $\chi_l(q) = 0$, исключаются из рассмотрения, как неудовлетворяющие принципу унификации. Из оставшихся выбирается вариант с минимальной стоимостью оснащения:

$$C_{CB}^{(l^*)}(q) = \min_l C_{CB}^{(l)}(q); (q = 1, 2, \dots, n), \quad (17)$$

полностью покрывающий весь перечень боевых задач. Для обратной задачи выбирается вариант, обеспечивающий максимальное покрытие при заданной стоимости системы вооружения.

В результате получается система вооружения с оптимальным уровнем унификации ВВТ.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий применение изложенной выше методики для формирования оптимальной системы вооружения.

Пример. В таблице 2 приведены исходные данные для $n = 5$ специализированных комплексов ВВТ, каждый из которых решает только одну боевую задачу. В таблице приведены значения эффективности выполнения боевых задач, стоимость комплексов ВВТ, стоимость их закупки и оснащения системы вооружения, рассчитанные по изложенной выше методике.

Далее строится дерево унификации комплексов ВВТ для уровней $q = 2,3,4,5$.

В таблице 3 приведены данные расчетов характеристик унифицированных комплексов ВВТ для $q = 2$.

В таблице 4 приведены расчетные данные стоимости некоторых унифицированных комплексов ВВТ и индексы оснащения системы вооружения.

Таблица 2 – Исходные данные для пяти специализированных комплексов ВВТ

Тип образца ВВТ	1	2	3	4	5
Уровень унификации q	1	1	1	1	1
Эффективность применения комплекса W	0,3	0,5	0,7	0,4	0,6
Потребное число образцов ВВТ N	4,5	2,3	1,3	3,2	1,8
Коэффициент стоимости образца A	1	1,5	2,3	1,3	1,8
Стоимость образца $C(W)$, у.е.	0,30	0,75	1,61	0,52	1,08
Стоимость закупки ВВТ, у.е.	1,35	1,74	2,15	1,64	1,90
Стоимость эксплуатации ВВТ, у.е.	2,71	3,48	4,30	3,28	3,79
Общая стоимость СВ, у.е.	39,5				
Численность ВВТ	13				

Таблица 3 – Данные расчетов характеристик унифицированных комплексов ВВТ для уровня $q = 2$

Тип образца ВВТ	12	13	14	15	23	24	25	34	35	45
Эффективность применения W	0,4	0,5	0,35	0,45	0,6	0,45	0,55	0,55	0,65	0,5
Потребное число образцов ВВТ N	3,2	2,3	3,7	2,7	1,8	2,7	2,0	2,0	1,5	2,3
Коэфф. стоимости образца ВВТ A	1,3	1,9	1,2	1,5	2,0	1,4	1,7	1,9	2,1	1,6
Стоимость образца ВВТ C	0,53	0,96	0,41	0,69	1,18	0,64	0,92	1,07	1,35	0,80
Стоимость закупки ВВТ	1,65	4,43	3,06	3,72	4,15	3,42	3,69	4,29	4,12	3,72
Стоимость эксплуатации ВВТ	3,31	8,87	6,13	7,43	8,29	6,84	6,14	8,59	8,25	7,43

Минимальная стоимость системы вооружения достигается набором комплексов ВВТ (25,34,1) численностью $N = 13$ ед.

Для уровня унификации $q = 3$ минимальная стоимость достигается для трех типов комплексов ВВТ (134,2,5) с численностью ВВТ $N = 12$ ед.

При уровне унификации $q = 4$ минимальная стоимость системы вооружения достигается для двух типов комплексов (2345,1) с численностью $N = 13$ (таблицы 5, 6).

Для $q = 5$ условие унификации также выполняется, общая стоимость системы вооружения составляет $C_{CB}(q) = 25,9$ у.е. при численности ВВТ $N = 12$ ед.

Таблица 4 – Расчетная стоимость унифицированных комплексов с уровнем унификации $q = 3$

Варианты оснащения СВ	25,34,1	14,23,5	15,34,2	35,24,1	15,23,4	14,25,3	13,25,4	12,34,1	12,35,4	12,45,3
Стоимость СВ	30,50	40,79	38,27	41,10	43,40	36,04	41,61	34,48	33,0	32,23
Индекс оснащения СВ	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1

Таблица 5 – Расчетная стоимость унифицированных комплексов с уровнем унификации $q = 4$

Тип образца ВВТ	1234	1235	1245	1345	2345
Эффективность применения W	0,48	0,525	0,45	0,500	0,550
Потребное число образцов ВВТ N	2,5	2,2	2,7	2,3	2,0
Коэффициент стоимости образца A	1,6	1,8	1,4	1,7	1,8
Стоимость образца C	0,78	0,92	0,63	0,86	0,96
Стоимость закупки ВВТ	1,94	1,99	1,69	2,00	1,94
Стоимость эксплуатации ВВТ	3,87	3,98	3,39	4,01	3,88

Таблица 6 – Расчетная стоимость унифицированных комплексов с уровнем унификации $q = 5$

Вариант оснащения СВ	1234,5	1235,4	1245,3	1345,2	2345,1
Стоимость СВ	24,60	24,31	25,31	24,73	23,31
Численность ВВТ	13	13	13	13	13

В результате система вооружения, удовлетворяющая прямой задаче программно-целевого планирования (12), может включать в себя следующие комплексы ВВТ с разным уровнем унификации: (14,25,3), (125,3,4), (1,2345), (12345).

На рисунке 4 показан график зависимости стоимости системы вооружения от уровня и варианта унификации.

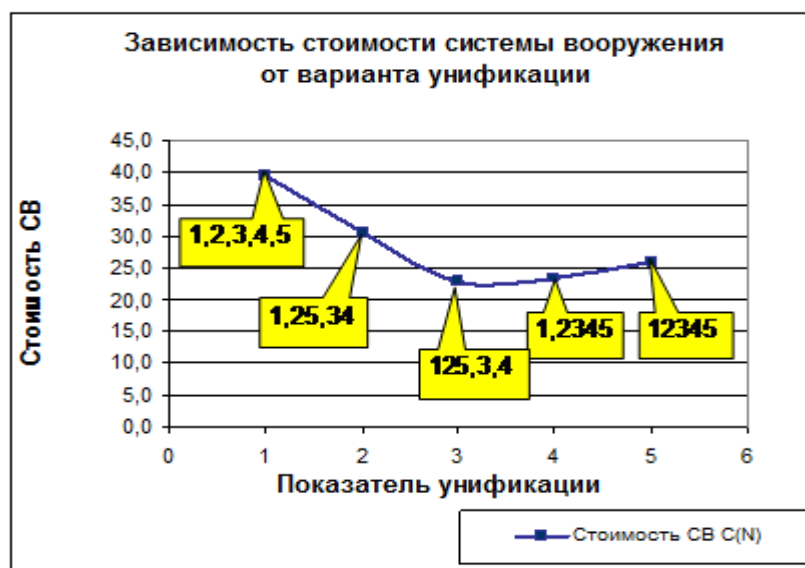


Рисунок 4 – Зависимость стоимости системы вооружения от уровня и варианта унификации

Приведенный пример достаточно наглядно демонстрирует методику решения задачи оптимальной унификации систем вооружения по критерию «эффективность-стоимость». Для практической реализации разработан алгоритм и его программная реализация в системе МАТЛАБ.

Разработанная методика оптимизации состава систем вооружения с учетом требований унификации комплексов ВВТ может быть использована при разработке предложений по обоснованию исследовательских вариантов государственной программы вооружений.

Список использованных источников

1. Журавлев А.В. Теория управления развитием вооружения. Ч. 1. Основы общей теории вооружения. М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2003. – 223 с.
2. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / Под ред. М.М. Московского. М.: Издательский дом «Граница», 2005. – 520 с.
3. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. Ч. 1, 2 / Под ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. – 532 с.
4. Буренок В.М., Косенко А.А., Лавринов Г.А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. М.: Издательский дом «Граница», 2007. – 728 с.
5. Береснев В.Л., Гимади Э.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск: Наука, 1978. – 233 с.
6. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники: монография. М.: Граница, 2015. – 304 с.
7. Вагнер Г. Основы исследование операций: в 3-х т. Пер. с англ. М.: Мир, 1972.
8. Мышкин Л.В. Прогнозирование развития авиационной техники: теория и практика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 304 с.
9. Гальченко А.В., Тегин В.А. Долгосрочный прогноз стоимости боевых летательных аппаратов и численности ВВС стран мира // Вооружение и экономика. 2013. №3(19).
10. Гальченко А.В., Тегин В.А. Долгосрочный прогноз стоимости танков и численности бронесил стран мира // Вооружение и экономика. 2013. №1(22).
11. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. Пер. с англ. М.: Мир, 1974. – 513 с.