

УДК 519.7

В.К. Сиявский

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ УНИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваются вопросы формализованного представления задач управления развитием сложной военно-технической системы. Определено место задач унификации элементов в процессе управления развитием военно-технической системы. Рассматриваются вопросы формализации постановки задачи унификации элементов военно-технической системы и подходы к выбору методов их решения. Представлены типовые математические модели задачи унификации элементов военно-технической системы.

Введение

Решение современных проблем управления развитием военно-технических систем не может быть эффективным без научного обоснования принимаемых решений. Принципиальная невозможность проведения полномасштабных экспериментов для обоснования решений в этой области приводит к необходимости широкого применения математического моделирования. Вместе с тем в вопросах математического моделирования, применительно к процессам управления развитием военно-технических систем, существует много сложных и нерешенных проблем. Это обусловлено недостаточным взаимодействием между специалистами, одни из которых решают вопросы разработки и создания военно-технических систем, а другие применяют созданные системы в соответствии с их функциональным назначением.

Ключевыми элементами управления развитием военно-технической системы являются формирование и реализация решений по ее концептуальному облику при создании системы и обоснование решений по трансформации облика системы в процессе ее применения по назначению. При решении этих задач существенная роль отводится унификации элементов военно-технической системы на всех этапах ее развития. Унификация, являясь одним из методов стандартизации [1, 2], предполагает рациональное сокращение многообразия типов элементов военно-технической системы, имеющих одинаковое функциональное назначение. Сущность унификации состоит в выборе из множества возможных элементов относительно небольшого типажа (набора типов), позволяющего путем различной комбинации выбранных элементов создавать военно-технические системы, обеспечивающие удовлетворение заданных потребностей с допустимыми затратами имеющихся ресурсов.

Подходы специалистов, занимающихся разработкой и созданием военно-технических систем, к решению задач унификации элементов известны [3, 4]. В предлагаемой статье излагаются подходы к формализации задач унификации элементов сложной системы, отражающие взгляды на данную проблему специалистов в вопросах применения военно-технических систем.

1. Особенности военно-технических систем, структура задач управления их развитием

Известно, что в наиболее общем виде развитие систем любой природы представляет собой протекающий во времени процесс их зарождения, возникновения, становления и трансформации. Такой взгляд на развитие систем в полной мере применим и к техническим системам военного назначения, обладающим (наряду с иными свойствами) целенаправленностью. Целенаправленность военно-технических систем проявляется в том, что их зарождение, возникновение, становление и трансформация направлены на удовлетворение непрерывно возрастающих потребностей защиты национальных интересов государства в условиях трансформации военных угроз [5].

Жизненный цикл военно-технической системы по содержанию и сути протекающих процессов аналогичен жизненному циклу любой технической системы. Однако в отличие от многих технических систем гражданского назначения процесс развития большинства таких систем имеет свои специфические особенности. Прежде всего это связано с необходимостью постоян-

ного поддержания военно-технических систем в состоянии соответствия предъявляемым оперативно-стратегическим (оперативно-тактическим) требованиям, вытекающим из необходимости гарантированной нейтрализации военных угроз.

Заметим, что для большинства технических систем гражданского назначения эффективность их функционирования является категорией экономической, в то время как эффективность функционирования военно-технических систем принадлежит категориальному аппарату национальной безопасности государства [6]. Естественно, что и среди технических систем гражданского назначения есть системы, функционирование которых непосредственно связано с обеспечением национальной безопасности государства. Однако такие системы, как правило, являются системами двойного назначения.

Процессы создания и развития военно-технических систем протекают под воздействием различных противоречивых факторов и связаны с обеспечением соответствия их структуры и количественно-качественного состава задач и условиям функционирования Вооруженных сил и экономическим возможностям государства. Несоблюдение соответствия военно-технических систем задач и условиям функционирования Вооруженных сил, с одной стороны, может привести к переоценке возможностей тех или иных средств вооруженной борьбы и постановке перед соответствующими войсковыми формированиями нереальных задач. С другой стороны, создание военно-технических систем с возможностями, существенно превышающими уровень, необходимый для эффективного решения Вооруженными силами возложенных на них задач, ведет к неоправданным затратам [3, 7].

При создании военно-технической системы (включающем этапы ее зарождения, возникновения и становления), как правило, преследуется цель обеспечения соответствия системы предъявляемым оперативно-стратегическим (оперативно-тактическим) требованиям в условиях заданных ресурсных ограничений. Степень этого соответствия чаще всего выражается показателем потенциальной эффективности создаваемой военно-технической системы W . Ввиду того, что процесс создания военно-технической системы занимает определенные временные рамки, к моменту ввода системы в эксплуатацию значение этого показателя W_0 вследствие морального старения системы в процессе создания оказывается меньше требуемого значения W_{mp} на величину ΔW_0 (рис. 1).

В процессе функционирования военно-технической системы (связанного с этапом ее трансформации) целевая установка развития данной системы направлена на ее поддержание в состоянии, при котором показатель потенциальной эффективности функционирующей военно-технической системы $W \in \{W_{кр}, W_{mp}\}$, где $W_{кр}$ – критическое значение показателя W . При этом критерии $W_{кр}$, W_{mp} имеют вполне определенный физический смысл и количественные оценки, учитывающие цели функционирования, структуру, количественный состав и качественное состояние военно-технической системы.

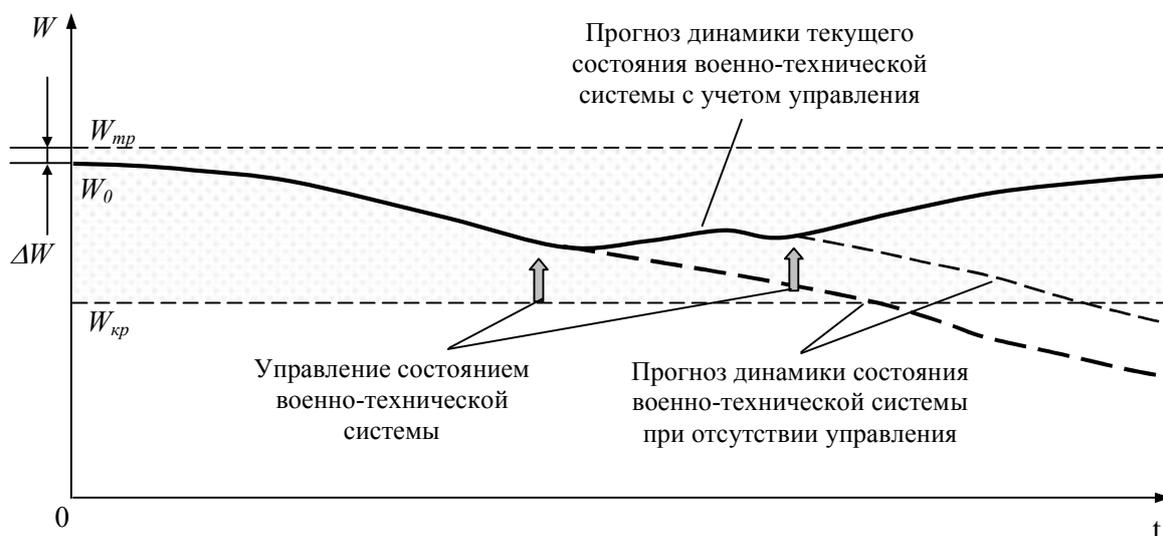


Рис. 1. Изменение состояния военно-технической системы в процессе функционирования

Цели функционирования военно-технической системы вытекают из ее функционального предназначения и характеризуются набором показателей назначения. Структурно военно-техническая система может быть представлена триадой ее основных подсистем: боевых (как правило, ударных) средств, средств управления и средств боевого и технического обеспечения [3, 7]. Количественный состав военно-технической системы определяется количеством элементов ее основных подсистем. Качественное состояние военно-технической системы характеризуется уровнем ее соответствия оперативно-стратегическим (оперативно-тактическим) требованиям, учитывающим уровень современности, техническое состояние и запас ресурса ее основных элементов [8–10].

Ограниченность ресурсов, требуемых для развития военно-технических систем, обуславливает необходимость управления процессом их развития. Управление развитием сложных военно-технических систем представляет собой циклический процесс формирования и реализации управляющих воздействий, направленных на рациональное использование ресурсов в интересах удовлетворения потребностей в создании новых и модернизации имеющихся военно-технических систем.

Управление процессами развития вновь создаваемой или же существующей военно-технической системы имеет вполне конкретные идентичные целевые установки, состоящие в формировании и реализации решений о необходимости и возможности создания (модернизации) системы, обоснованию концептуального облика и ее технической реализации, организации серийного производства элементов создаваемой (модернизируемой) системы.

С учетом изложенного процесс управления развитием сложной военно-технической системы может быть представлен в виде ориентированного графа (рис. 2), который отражает четыре этапа этого процесса, предполагающие принятие и реализацию соответствующих решений по обоснованию:

- необходимости создания (модернизации) системы и требований к ней (этап 1);
- возможности создания (модернизации) требуемой системы (этап 2);
- концептуального облика создаваемой (модернизируемой) системы (этап 3);
- конструктивного облика создаваемой (модернизируемой) системы с планом реализации серийного производства элементов и их интеграции в рамках рассматриваемой военно-технической системы (этап 4).

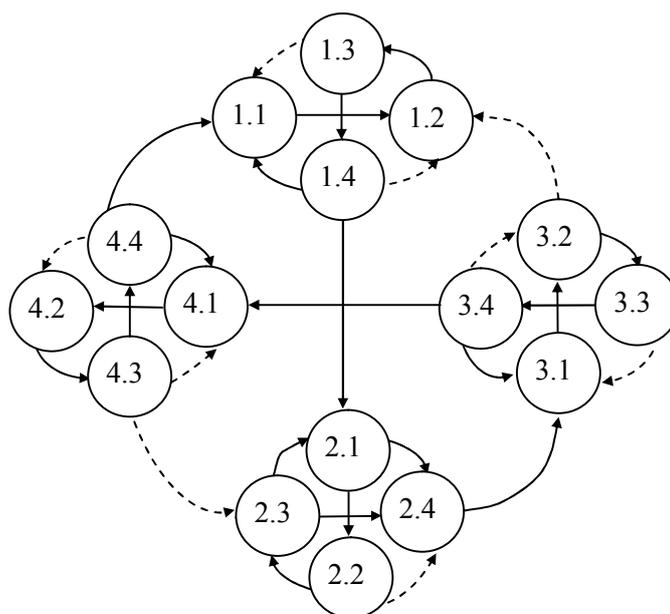


Рис. 2. Структура задач управления развитием военно-технической системы

На каждом из этапов управления развитием военно-технической системы реализация целевых установок достигается решением ряда управленческих задач. Поэтому каждый из этапов, в свою очередь, разделен на четыре подэтапа (см. рис. 2), и задачи этих подэтапов имеют следующее содержание:

- а) для первого этапа:
 - определение потребностей в результатах функционирования системы (1.1);
 - выявление неудовлетворенных потребностей (1.2);
 - определение принципиально неудовлетворимых потребностей (1.3);
 - установление наличия проблемной ситуации (1.4);
- б) для второго этапа:
 - анализ научных основ разрешения выявленной проблемной ситуации (2.1);
 - анализ технических возможностей создания новой (модернизации существующей) системы (2.2);
 - анализ экономических возможностей разработки и производства новой (модернизации существующей) системы (2.3);
 - анализ организационных основ разработки и производства новой (модернизации существующей) системы (2.4);
- в) для третьего этапа:
 - определение целей, задач и условий функционирования создаваемой (модернизируемой) системы (3.1);
 - определение общей структуры создаваемой (модернизируемой) системы (3.2);
 - определение технических требований к создаваемой (модернизируемой) системе в целом и ее элементам (3.3);
 - формирование технических заданий организациям промышленности на техническую реализацию производства новых (модернизацию существующих) элементов и системы в целом (3.4);
- г) для четвертого этапа:
 - проектирование и создание опытных образцов элементов системы, их испытание и доработка по результатам испытаний (4.1);
 - создание и опытная эксплуатация промышленных образцов элементов системы (4.2);
 - создание серийных образцов элементов системы (4.3);
 - производство и эксплуатация элементов системы (4.4).

Взаимосвязи задач, решаемых на каждом из выделенных этапов и подэтапов, отображены ориентированными дугами графа. При этом сплошные линии отражают основные, а пунктирные – вспомогательные связи. Эти взаимосвязи отражают присущие процессу развития военно-технической системы диалектическое единство и борьбу между необходимостью и возможностью, концепцией и конструктивным обликом создаваемой (модернизируемой) системы. Кроме того, эти взаимосвязи отражают применяемый при управлении развитием сложных систем кибернетический принцип внешнего дополнения: разрешение противоречий двух последовательных этапов (подэтапов) возможно только за счет возврата во внешние по отношению к ним предыдущие этапы (подэтапы) [5].

Анализ целевых установок всех этапов управления развитием военно-технической системы и перечня решаемых на каждом этапе управленческих задач позволяет сделать вывод, что в условиях ресурсных ограничений задачи унификации элементов должны рассматриваться на всех этапах (в первую очередь на третьем и четвертом), а результаты их решения являются одним из способов повышения эффективности использования финансовых и материальных ресурсов.

2. Формальная постановка задачи унификации элементов военно-технической системы

В наиболее общем случае задача унификации элементов военно-технической системы сводится к выбору из множества возможных вариантов некоторых подмножеств, удовлетворяющих определенным потребностям с допустимыми затратами ресурсов.

Формализация указанной процедуры выбора предполагает:

- установление и представление в измеримой форме целей унификации;

– формирование альтернативных вариантов решений;
 – сравнение альтернативных вариантов по эффективности и выбор целесообразного решения.

Формирование решений по унификации элементов военно-технической системы в рамках изложенной структуры в общем случае может быть представлено отображением

$$\theta_1 : (R, Y, P, T, Z) \rightarrow V, \quad (1)$$

где R – множество ресурсов;

$Y = \bigcup_i Y_i, i = \overline{1, n}$, – множество параметров различных типов элементов системы;

P – множество потребностей;

Z – множество целей, которые должны быть достигнуты в результате унификации;

T – множество моментов времени (этапов);

V – множество возможных (допустимых) вариантов решений по унификации элементов системы.

Отображение (1) представляет собой алгоритм, который каждому набору условий ($r \in R, y \in Y, p \in P, z \in Z, t \in T$) ставит в соответствие некоторое решение $v \in V$ из множества V возможных (допустимых) вариантов построения системы. Реализация этого решения приводит к некоторому результату, прогнозирование которого при выработке решения может быть в обобщенном виде представлено отображением

$$\theta_2 : (R, Y, P, T, V) \rightarrow S. \quad (2)$$

Отображение (2) представляет собой модель, связывающую вариант $v \in V$ решения с ожидаемыми результатами $s(t \geq t_0) \in S$ использования ресурсов $r \in R$ для создания совокупности элементов рассматриваемой системы с параметрами $y \in Y$, обеспечивающими выполнение потребностей $p \in P$. При этом качество выбранного варианта $v \in V$ определяется степенью достижения целей унификации.

Оценка качества в общем виде представляет собой отображение

$$\theta_3 : (R, Y, P, S, T, V) \rightarrow E, \quad (3)$$

где E – упорядоченное по степени предпочтения множество оценок достижения поставленных целей $z \in Z$.

В совокупности отображения (2) и (3) представляют собой модель для оценивания эффективности решений по унификации элементов военно-технической системы. При этом процедура формирования отображения (3) формально сводится к проверке выполнения некоторых требований (условий) следующего вида:

$$\begin{aligned} H(r, y, p, s, t) &= 0; \\ G(r, y, p, s, t) &\geq 0; \\ Q(r, y, p, s, t) &\rightarrow \text{extr}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $H(\cdot)$ – вектор требований типа равенств;

$G(\cdot)$ – вектор требований типа неравенств;

$Q(\cdot)$ – вектор экстремальных требований.

Если условия (4) в принципе выполнимы, то добиться их реального выполнения можно только путем изменения результатов применения изделий $s(t \geq t_0) \in S$ за счет соответствующего подбора элементов решения $v \in V$.

Таким образом, общая структура процесса формирования решений по унификации элементов военно-технической системы может быть представлена в виде алгоритма (рис. 3).

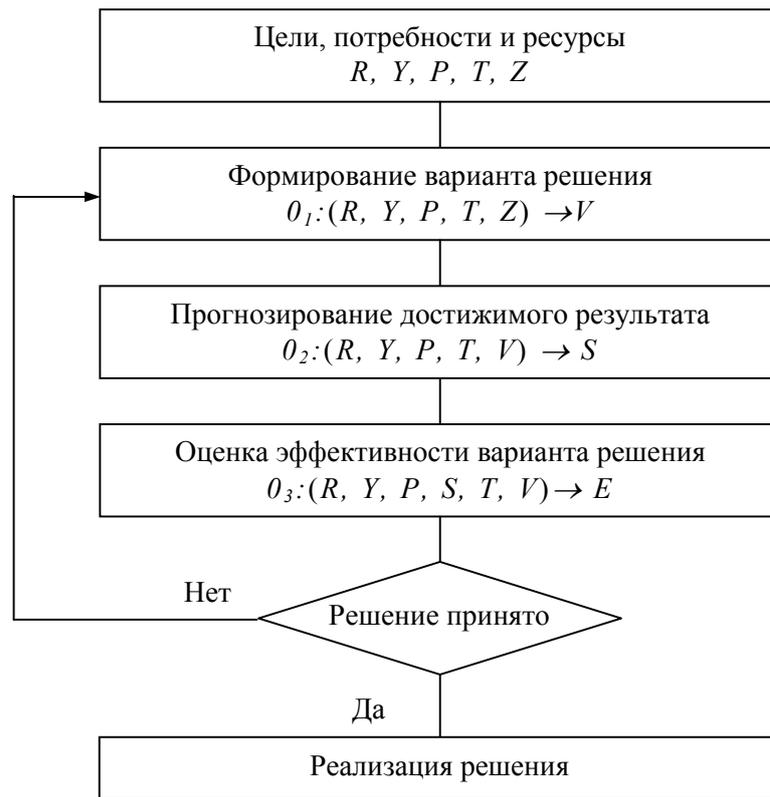


Рис. 3. Структура процесса принятия решения по унификации элементов системы

В рамках этой структуры задача формирования целесообразного варианта решения по унификации элементов системы может быть формально представлена в виде следующей модели выбора:

определить вариант решения

$$v^*(r, y, p, s, t_0) \in V, \quad (5)$$

для которого выполняется условие

$$Q(r, y, p, s, t \geq t_0, v^*) = \text{extr } Q, \quad (6)$$

при ограничениях

$$H(r, y, p, s, t \geq t_0, v^*) = 0; \quad (7)$$

$$G(r, y, p, s, t \geq t_0, v^*) \geq 0. \quad (8)$$

Постановка задачи унификации элементов системы в виде соотношений (5) – (8) является обобщенной, но в то же время достаточно содержательной для классификации и выбора на этой основе математического аппарата моделирования и методов нахождения решений.

В частности, в зависимости от размерности k_1 вектора $Q(\cdot)$ можно выделить балансные ($k_1 = 0$) и оптимизационные ($k_1 > 0$) модели. В балансных моделях оценивание эффективности не имеет большого значения, поскольку приемлемым считается любое решение, обеспечивающее баланс потребностей в элементах системы и ресурсов для их создания. В классе оптимизационных можно выделить однокритериальные ($k_1 = 1$) и многокритериальные ($k_1 > 1$) модели. В зависимости от размерностей k_2 и k_3 векторов $H(\cdot)$ и $G(\cdot)$ соответственно различают класс моделей безусловной оптимизации ($k_2 = k_3 = 0$) и класс моделей условной оптимизации ($k_2 + k_3 > 0$). Размерность i вектора $r \in R$ ресурсов определяет классы однономенклатурных

($I = I$) и многономенклатурных ($I > I$) моделей. Размерность n вектора Y_I параметров определяет классы однопараметрических ($n = I$) и многопараметрических ($n > I$) моделей. При этом если элементы множества Y являются подмножествами натуральных чисел, то модель относится к классу задач целочисленной оптимизации. В зависимости от учета параметров $t \in T$ различают динамические и статические модели. По степени детерминированности элементов и связей в соотношениях (5) – (8) различают детерминированные модели, стохастические модели, а также модели выбора решений в условиях неопределенности [11–19].

3. Типовые модели задачи унификации элементов военно-технической системы

Все указанные особенности задач унификации элементов военно-технической системы находят отражение в средствах математического описания моделей и методах поиска решений. Многообразие таких моделей и методов не позволяет рассмотреть их в одной статье. Поэтому ограничимся описанием наиболее часто встречающихся на практике типовых моделей унификации элементов системы на основе модели однокритериальной целочисленной оптимизации. При этом в качестве критерия оптимальности будем принимать минимальную стоимость разработки, производства и эксплуатации элементов и системы в целом.

В частном случае постановка задачи унификации элементов военно-технической системы формулируется следующим образом.

Задано множество $J = \{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$ видов потребностей, которые необходимо удовлетворить (поставить в соответствие) элементами исходного множества $I_j = \{1, 2, \dots, i, \dots, m\}$ тех типов элементов системы, которые обеспечивают требуемый уровень удовлетворения потребности j -го вида.

Известны начальные затраты C_i^0 на разработку элемента i -го типа ($i \in I_j$) и удельные затраты c_{ij} , связанные с удовлетворением потребности j -го вида ($j \in J$) с помощью элемента i -го типа (включающие затраты на серийное производство и расходы на эксплуатацию).

Будем полагать, что для удовлетворения одной потребности необходим лишь один элемент приемлемого типа. При этом $x_{ij} = 1$, если i -й тип элемента используется для удовлетворения j -й потребности, и $x_{ij} = 0$ в противном случае.

При такой постановке математическая модель рассматриваемой задачи может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_i C_i^0 y_i + \sum_j \sum_i c_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_i x_{ij} &= 1, j \in J; \\ y_i &\geq x_{ij}, i \in I_j, j \in J; \\ x_{ij} &\in \{0, 1\}, i \in I_j, j \in J; \\ y_i &\geq 0. \end{aligned} \tag{9}$$

В данной модели $y_i = 1$, если элемент i -го типа удовлетворяет хотя бы одной потребности j -го вида, в противном случае $y_i = 0$ (когда элемент i -го типа не находит применения в рассматриваемой военно-технической системе). Кроме того, для данной модели удельные затраты c_{ij} , связанные с серийным производством и эксплуатацией элемента i -го типа, равны определенной величине, если элемент i -го типа удовлетворяет потребности j -го вида.

Модель (9) является наиболее простой моделью задачи унификации элементов военно-технической системы. Она учитывает стоимостные оценки элементов на этапах разработки, серийного производства и эксплуатации системы. Однако в модели (9) не учитывается вклад различных элементов в эффективность функционирования системы, а вполне понятно, что разработка военно-технической системы с низкой эффективностью нецелесообразна. Положим, что ϖ_{ij} – величина, характеризующая степень удовлетворения элементом i -го типа потребности

j -го вида, а $W_{дон}$ – предельно допустимая интегральная степень удовлетворения потребностей всех видов. С учетом данного обстоятельства и введенных параметров математическая модель задачи оптимизации состава элементов системы (9) трансформируется следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_i C_i^0 y_i + \sum_j \sum_i c_{ij} x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_j \sum_i \varpi_{ij} x_{ij} &\geq W_{дон}; \\ \sum_i x_{ij} &= 1, j \in J; \\ y_i &\geq x_{ij}, i \in I_j, j \in J; \\ x_{ij} &\in \{0, 1\}, i \in I_j, j \in J; \\ y_i &\geq 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Модели (9) и (10) являются дискретными моделями линейного программирования. Данные математические модели соответствуют случаю, когда все элементы военно-технической системы разрабатываются независимо (начальные затраты аддитивны) и из допустимого множества I_j для удовлетворения каждого j -го вида потребностей назначается элемент $i \in I_j$, требующий для этого минимальных затрат.

Для решения задачи унификации элементов военно-технической системы, математические модели которой описываются выражениями (9) и (10), могут применяться различные методы [11–19]. Выбор метода решения данной задачи во многом определяется особенностями исходных данных, к которым следует отнести свойства матрицы $\|c_{ij}\|$, а также свойства целевых функций моделей (9) и (10). В наиболее общем случае с матрицей $\|c_{ij}\|$ произвольного вида для решения рассматриваемой задачи применимы известные методы целочисленного и динамического программирования [11, 14–18]. Вследствие нецелочисленности некоторых переменных математических моделей (9) и (10) целесообразно применение метода ветвей и границ или же приближенных комбинаторных методов, основанных на упорядоченном переборе наиболее перспективных вариантов.

Следует отметить, что перечень возможных моделей задачи унификации элементов военно-технической системы не ограничивается только приведенными моделями. В более сложных моделях в целевых функциях учитывается зависимость затрат на разработку и производство элементов системы от их планируемой серийности, а также используются более сложные зависимости для описания вклада различных элементов в эффективность функционирования военно-технической системы. Задачи подобного рода относятся к многокритериальным (многомерным) оптимизационным задачам, решаемым с использованием методов векторной оптимизации, что ограничивает применение таких моделей на практике.

Заключение

Предлагаемые в статье подходы к формализации задач унификации элементов целесообразно и возможно реализовать в системе поддержки принятия решений при создании сложных военно-технических систем. Это позволит при заданных ресурсных ограничениях и требованиях к их функциональным возможностям повысить обоснованность управленческих решений по обеспечению требуемой эффективности функционирования данных систем.

Список литературы

1. Большой энциклопедический словарь. – М.: Большая Российская энциклопедия; СПб.: Норинт, 2002. – С. 1251.
2. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

3. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория вооружения: учеб. пособие / Под ред. А.А. Рахманова. – М.: 46 ЦНИИ МО РФ, 2002. – 234 с.
4. Демидов Б.А. Методы военно-экономического анализа: учеб. пособие. Ч. 1. – Харьков: ВИРТА ПВО, 1985. – 619 с.
5. Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г. Формальная структура задач стандартизации и унификации при управлении развитием сложных технических систем // Защита и безопасность. – 2004. – № 4.
6. Национальная безопасность Республики Беларусь. Современное состояние и перспективы / В.М. Мясникович, П.Г. Никитенко, В.В. Пузиков и др. – Мн.: ИООО «Право и экономика», 2003. – 562 с.
7. Основы теории и методологии планирования строительства Вооруженных Сил Российской Федерации / Под общ. ред. А.В. Квашнина. – М.: Воентехиздат, 2002. – 232 с.
8. Рахманов А.А., Буренок В.М., Мельников И.Д. Государственная программа вооружения: этапы и принципы формирования // Военная мысль. – 2000. – № 1. – С. 44–48.
9. Буренок В.М., Мельников И.Д., Лавринов Г.А. Качество Государственной программы вооружения: проблемы и пути их решения // Военная мысль. – 2002. – № 2. – С. 61–65.
10. Буренок В.М., Толстов Г.С. Мониторинг технического состояния вооружения и военной техники // Военная мысль. – 2001. – № 6. – С. 27–31.
11. Вагнер Г. Основы исследования операций. В 3 т. – М.: Мир, 1972–1973.
12. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2001. – 208 с.
13. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учеб. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
14. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций: учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 436 с.
15. Исследование операций: модели и применения / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.
16. Розен В.В. Математические модели принятия решений в экономике: учеб. пособие. – М.: Книжный дом «Университет», 2002. – 288 с.
17. Таха Х.А. Введение в исследование операций. 6-е изд.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
18. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении: учеб. пособие. – 3-е изд. – М.: Дело, 2004. – 440 с.
19. Бочков А.П., Гасюк Д.П., Филюстин А.Е. Модели и методы управления развитием технических систем: учеб. пособие. – СПб.: Союз, 2003. – 288 с.

Поступила 02.06.05

*Научно-исследовательский институт
Вооруженных Сил Республики Беларусь,
Минск, Калиновского, 4
e-mail: niivs@it.org.by*

V.K. Sinjavsky

METHODICAL APPROACHES TO FORMALIZATION OF TASKS OF UNIFICATION OF ELEMENTS OF MILITARY-TECHNICAL SYSTEM

Questions of formalized representation of problems of evolution control for complex military-technical system are considered. The place of tasks of element unification during the military-technical system evolution control process is determined. The questions of problem statement formalization for military-technical system element unification and approaches to solution methods choice are considered. The typical mathematical models of the task of military-technical system element unification are proposed.