

УДК 632.4.004.67

**М. А. ШИШАНОВ,**

*доктор технических наук, профессор,*

**Б. А. МЕЛЬНИК,** кандидат технических наук,

**Л. И. КОБЯКОВ,** научный сотрудник

*(Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники, г. Киев)*

## Методологические основы обоснования целесообразности повышения уровня ремонтпригодности вооружения и военной техники

*Для исследования путей повышения эффективности функционирования вооружения и военной техники (ВВТ) проведен анализ разработанного системного образа функционирования организованной совокупности образцов ВВТ. В рамках разработанной модели решены некоторые задачи обоснования целесообразности повышения уровня ремонтпригодности ВВТ.*

*Для дослідження шляхів підвищення ефективності функціонування озброєння та військової техніки (ОВТ) проведено аналіз розробленого системного образу функціонування організованої сукупності зразків ОВТ. У межах розробленої моделі вирішені деякі задачі обґрунтування доцільності підвищення рівня ремонтпридатності ОВТ.*

Ремонтпригодность должна рассматриваться как альтернатива другим путям обеспечения высокой эффективности функционирования вооружения и военной техники (ВВТ). Следовательно, необходимо сформулировать условия предпочтительности повышения ремонтпригодности при обеспечении высокой (или заданной) эффективности изделий ВВТ, т. е. необходимо сформулировать и решить задачу: в каких случаях целесообразно повышать ремонтпригодность, выделяя для этой цели соответствующие ресурсы.

Анализ теоретических моделей, которые описывают ведение боевых действий противоборствующими сторонами, современных военных конфликтов, показывает что средние значения численности боевых средств, непосредственно участвующих в боевых действиях, определяются:

соотношением сил;

эффективностью системы огня;

возможностями системы восстановления (ремонтпригодностью образцов ВВТ, возможностью сил и средств технического обеспечения).

В качестве примера повышения уровня ремонтпригодности образцов ВВТ можно привести данные о трудозатратах при ремонте (восстановлении) некоторых образцов бронетанковой техники США (табл. 1) [1].

Таблица 1

Снятие и замена сборочных единиц и деталей	Танк М1 "Абрамс" чел./час	Танк М60А1" чел./час
Силовая установка	4,1	8,0
Стартер	1,0	10,0
Бортовая передача	7,7	11,0
Передний опорный каток	1,1	1,5
Торсион	4,5	9,0
Гусеница в сборе	3,8	4,0
Генератор переменного тока	3,6	10,0
Трансмиссия	16,3	20,0
Уплотнение маски пушки	8,4	24,0-48,0

Данные, представленные в табл. 1, позволяют сделать вывод о том, что количество образцов бронетанковой техники, которые возвращаются в боевые порядки после восстановления, увеличивается в 2–2,5 раза, что позволяет поддерживать боеспособность войск на заданном уровне. Таким образом, повышения уровня ремонтпригодности образцов ВВТ является как оперативно-тактической, так и технической задачей.

Задача повышения уровня ремонтпригодности является задачей оптимизации процесса по двум критериям. Она может быть сформулирована и решена в общем виде следующим образом [2, 3]:

определить путь достижения максимальной эффективности системы при заданных ресурсах;

определить путь достижения заданной эффективности системы при минимуме расхода ресурсов.

Первая формулировка соответствует более свободной постановке задачи, которая характерна для этапа поисковых разработок; вторая – работе изделия ВВТ в комплексе с другими изделиями. В обеих постановках предполагается последовательное решение следующих частных задач:

- исследование функционирования ВВТ с целью выбора критерия эффективности процесса, альтернатив повышения их эффективности и установления взаимосвязей (ее решение заканчивается разработкой математической модели процесса, которой предшествует описательная модель);

- разработка метода оценки стоимостных затрат на реализацию каждой альтернативы (стоимостные модели процесса);

- сбор данных;

- проведение расчетов;

- анализ расчетов с целью выбора предпочтительной (оптимальной) альтернативы.

Современные ВВТ функционируют, как правило, организованными совокупностями – системами, занимающими определенное место в иерархическом ряду систем. Поэтому первую задачу – определение целевой функции, набора альтернатив и взаимосвязей между ними – целесообразно решать с помощью системной методологии [4].

Системная методология – инструмент логического анализа деятельности сложных социальных, военных или производственных организаций, формальное (математическое) описание которых достаточно сложно, но при упрощении может дать желаемые результаты. Целью такого анализа является выбор стратегии руководства при управлении организациями (системами) или же принятие предпочтительных решений при их про-

ектировании (модернизации) [5]. В зависимости от назначения системная методология классифицирует подсистемы систем (системы) на основные, вспомогательные, обеспечивающие и управляющие. Такие типовые подсистемы присущи большинству различного рода систем. Каждая из них реализует основной, вспомогательный, обеспечивающий и управляющий процессы [6].

В системах высшего уровня формируют требования к функционированию систем более низкого уровня. Однако различие между требуемыми и фактическими значениями показателей выполняемого системой процесса порождает проблему повышения эффективности или качества функционирования системы. Эффективность системы – это степень достижения поставленной цели в количественном выражении, а качество функционирования – качество полученного продукта; в дальнейшем рассматривается проблема повышения эффективности [6].

Выявление проблемы и поиск ее предпочтительного решения производится путем отбора и систематизации всех факторов, влияющих на функционирование системы, анализа их взаимосвязей и оценки влияния на показатели процесса. Для этого разрабатывается системный образ функционирования анализируемой системы (рис. 1). Система представляется в виде “черного ящика”, имеющего вход и выход. Она имеет определенную структуру, и её функционирование протекает при известных ограничениях.

В общем случае характеристиками входа являются количество, качество и стоимость “сырья”; характеристиками структуры системы – количество, качество и стоимость ее элементов для переработки “сырья”; характеристиками ограничений – режим функционирования системы более высокого уровня во времени и пространстве, условия окружающей среды, а также принципы и

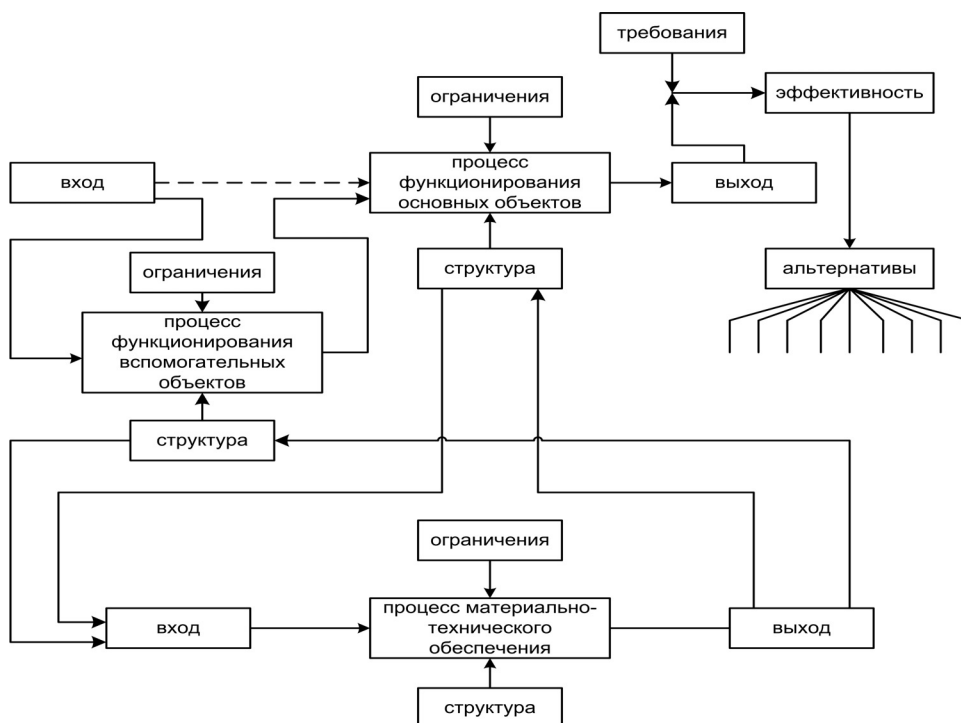


Рис. 1. Системный образ функционирования организованной совокупности образцов ВВТ

правила функционирования анализируемой системы. Показателями выхода являются количество, качество и стоимость “продукта”, а также их различные оценки.

Если показатели выхода не удовлетворяют требуемым значениям, возникает проблема повышения эффективности процесса. Она может быть решена изменением характеристик входа, структуры и ограничений анализируемой системы, а также характеристик её подсистем, если таковые имеются. Набор решений ищется в области характеристик, поддающихся целенаправленному изменению (т. е. являющихся управляемыми).

Выбор предпочтительного (оптимального) решения может быть основан на экспертных оценках специалистов, на анализе данных функционирования систем-аналогов, на пассивном или активном (целенаправленный выбор экспериментальных точек) наблюдении за функционированием анализируемой системы.

В условиях ограничения ресурсов (ограничения стоимости “продукта”, включающей в себя стоимость “сырья” и системы) оптимальное решение следует искать по критерию эффективность–стоимость.

Универсальность системной методологии позволяет успешно применять её и при решении технических проблем, в частности, проблемы повышения эффективности и качества функционирования ВВТ путем улучшения их ремонтпригодности. Для оценки предпочтительности повышения ремонтпригодности ВВТ по сравнению с другими путями совершенствования эффективности их функционирования необходимо рассмотреть этот процесс с позиции системной методологии [7, 8].

Для этого проанализируем системный образ функционирования организованной совокупности образцов ВВТ, показанный на рис. 1.

Рассматриваемая совокупность состоит из трех типовых подсистем, связанных друг с другом определенным образом. Главной является подсистема образцов ВВТ, выполняющих в системе основную функцию, вспомогательной – подсистема вспомогательных объектов. Процесс материально-технического обеспечения, в том числе техническое обслуживание и ремонт, предназначенный для поддержания функционирования основных и вспомогательных объектов, осуществляется обеспечивающей подсистемой.

Характеристиками структуры основной подсистемы являются количество, характеристики качества и стоимость образцов ВВТ, выполняющих основную функцию, а также характеристики персонала: численность, его профессиональные и психофизиологические качества. Характеристиками ограничений функционирования основной подсистемы являются принципы эксплуатации ее машин, условий окружающей среды, безопасность. Аналогичными по содержанию являются характеристики структуры вспомогательных средств и ограничений их функционирования.

Показателями выхода из всей системы (эффекта от ее функционирования) являются количество, качество и стоимость полученного “продукта”. Например, пройденный путь, перевезенный груз, отремонтированные ВВТ и т. д. Показатели выхода сравниваются с требу-

емыми значениями эффекта функционирования. Соотношение фактического и требуемого эффекта определяет эффективность функционирования системы. Если эффективность системы недостаточна, т. е. фактический эффект от функционирования намного ниже требуемого, то возможны три пути повышения показателей ее выхода: за счет улучшения характеристик; входа, структуры основной подсистемы и ограничений ее функционирования (рис. 1).

В свою очередь, каждый из перечисленных путей имеет несколько направлений реализации. Так, совершенствование характеристик входа может быть достигнуто изменением параметров “сырья” за счет повышения эффективности или улучшения качества функционирования вспомогательной подсистемы, характеристики которой также могут быть изменены различными способами. Улучшение характеристик структуры основной подсистемы можно обеспечить ростом количества и совершенствованием качества функционирующих ВВТ, повышением квалификации эксплуатирующего их персонала. Улучшение характеристик ограничений функционирования можно, например, достичь подбором оптимального режима эксплуатации машин.

Следует отметить, что один из путей улучшения характеристик структуры основной подсистемы – повышение количества функционирующих машин, – может быть реализован совершенствованием показателей выхода функционирования обеспечивающей подсистемы. В данном случае имеется в виду повышение интенсивности ремонта ВВТ.

Функционирование обеспечивающей подсистемы основано на решении комплекса задач материально-технического обеспечения ВВТ при их ремонте (восстановлении работоспособности и ресурса). Согласно рис. 1 входом в обеспечивающую подсистему такого типа является поток изделий из основной и вспомогательной подсистем, нуждающихся в ремонте. В этом случае количественные характеристики входа в обеспечивающую подсистему будут определяться показателями безотказности и долговечности изделий при заданном их количестве в основной и вспомогательных подсистемах, режимом их эксплуатации и системой технического обслуживания и ремонта. Качественные характеристики входа в обеспечивающую подсистему будут определяться показателями ремонтпригодности, т. е. так называемой нормативной, зависящей только от конструкции объекта, продолжительностью, трудоемкостью и стоимостью диагностических, профилактических и ремонтных работ.

Характеристиками структуры обеспечивающей подсистемы будут количество и назначение ее звеньев, количественные и качественные характеристики технологического оборудования и персонала в каждом звене.

Характеристиками ограничений будут режим функционирования основных и вспомогательных объектов, условия окружающей среды, системы технического обслуживания и ремонта образцов ВВТ, безопасность работ.

Выходом из обеспечивающей подсистемы будет количество, качество и стоимость отремонтированных

объектов, возвращаемых в основную и вспомогательную подсистемы (см. рис. 1). Эти показатели являются функциями характеристик входа в обеспечивающую подсистему, ее структуры и ограничений ее функционирования. Следовательно, и здесь возможны три пути совершенствования процесса ремонта: улучшение характеристик входа (в данном случае являющихся свойствами объекта), характеристик ограничений и структуры подсистемы.

В свою очередь, каждый из перечисленных трех путей совершенствования процесса ремонта состоит из ряда частных реализаций. Например, можно повысить эффективность процесса ремонта, улучшая различные свойства изделия – безотказность, долговечность, ремонтпригодность или совершенствуя характеристики структуры обеспечивающей подсистемы – количество технологического оборудования, его качество, характеристики обслуживающего персонала и т. д. Наконец, можно выбирать различные системы технического обслуживания и ремонта ВВТ.

Отметим, что большинство характеристик процесса ремонта являются зависимыми. При этом характеристики входа в обеспечивающую подсистему, в данном случае характеристики объектов, обладают приоритетом по отношению к характеристикам ее структуры и ограничений.

Рассмотренный системный образ функционирования организованной совокупности ВВТ позволяет сформулировать исходные положения для постановки и решения задачи предпочтительности повышения ремонтпригодности по сравнению с другими путями совершенствования эффективности их функционирования, т. е. составить описательную модель процесса.

Функционирование ВВТ одинакового назначения следует рассматривать как процесс, состоящий из основного (собственно использование) и обеспечивающего (ремонта) подпроцессов. При этом обеспечивающий процесс находится на более низком иерархическом уровне. Критерием эффективности основного процесса является количество “продукта” или другие его оценки. Критерием эффективности обеспечивающего процесса – количество отремонтированного ВВТ или также другие его оценки. Повышение эффективности основного процесса может быть достигнуто улучшением характеристик “сырья”, структуры основной подсистемы, ограничений ее функционирования и повышением эффективности обеспечивающего процесса. Повышение эффективности обеспечивающего процесса также может быть достигнуто улучшением характеристик “сырья” (в данном случае характеристик объектов, реализуемых в процессе ремонта: безотказности, долговечности, ремонтпригодности), а также характеристик структуры и ограничений (обеспечивающей подсистемы).

При наличии стоимостных ограничений на реализацию каждого из путей они становятся альтернативами по отношению друг к другу. При этом в число альтернатив входят также их возможные комбинации.

Теперь задачу оценки целесообразности повышения ремонтпригодности ВВТ можно сформулировать следующим образом:

определить условия предпочтительности совершенствования процесса ремонта в целях повышения эффективности использования ВВТ по назначению;

определить условия предпочтительности повышения ремонтпригодности машин в целях совершенствования процесса ремонта.

Используя рассмотренный выше системный образ процесса функционирования организованной совокупности ВВТ, перейдем теперь к его математическому описанию. Это позволит осуществить формализованную постановку рассматриваемой задачи [8].

Обозначим целевую функцию процесса как результат функционирования машин  $Q$ , ее требуемое значение, исходя из задач функционирования системы высшего порядка,  $Q_T$ , а фактическое значение –  $Q_\phi$ . Предполагается, что  $Q_\phi < Q_T$ .

В качестве критерия оценки эффективности процесса, как правило, выбирают вероятность выполнения задачи  $E$  или среднее значение эффекта функционирования  $Q_\phi$ . Величина вероятностного критерия может быть определена по выражению (1)

$$E = \frac{Q_\phi}{Q_T}. \quad (1)$$

Задача достижения требуемой эффективности процесса функционирования изделий ВВТ может быть сформулирована как необходимость получения  $\min(Q_T - Q_\phi)$ . Чтобы найти пути достижения этого условия, определим целевую функцию  $Q_\phi$ . Для этого отберем характеристики функционирования изделий ВВТ на основе рассмотренного системного образа (см. рис. 1).

Допустим, имеется  $n$  характеристик входа  $X_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $m$  характеристик структуры системы  $Y_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $l$  характеристик ограничений  $Z_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$ . Тогда целевая функция процесса может быть представлена в общем виде следующим выражением:

$$Q_\phi = f(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_m; z_1, z_2, \dots, z_l). \quad (2)$$

Определим количество альтернатив для достижения  $\min(Q_T - Q_\phi)$ . В их число следует включать только управляемые характеристики  $X_i$ ,  $Y_j$ ,  $Z_k$ . Общее число альтернатив в этом случае будет определяться по формуле

$$N_{\Sigma_y} = C_{N_y}^0 + C_{N_y}^1 + C_{N_y}^2 + \dots + C_{N_y}^{N_y} = 2^{N_y}, \quad (3)$$

где  $N_{\Sigma_y}$  – теоретическое количество альтернатив;  $\hat{N}_{N_y}^i$  – число сочетаний из  $N_y$  по  $i$ , при  $i$ , изменяющемся от 0 до  $N_y$ .

Обозначим каждую альтернативу  $\chi_i$ , а затраты на ее реализацию –  $C_i$ . При этом  $i \in N_{\Sigma_y}$ . Теперь задачу выбора оптимальной альтернативы можно сформулировать так: из  $N_{\Sigma_y}$  значений  $\chi_i$  выбрать такое  $\chi_{i_T}$ , чтобы при  $\chi_i = \chi_{i_T}$  выполнялось условие  $\min(Q_T - Q_\phi)$ , при  $C_i = \min C$ .

Опустимся в нашем системном образе на уровень ниже и определим целевую функцию процесса ремонта. По аналогии с процессом функционирования изде-

лий ВВТ обозначим целевую функцию ремонта  $Q_{\sigma}$ , ее требуемое значение, исходя из функционирования основной системы, –  $Q_{\sigma T}$ , а фактическое значение –  $Q_{\sigma \phi}$ .

Отметим, что  $Q_{\sigma} = Y_j$ . Это означает, что целевая функция процесса ремонта, являющаяся одной из характеристик структуры основной системы, входит как аргумент  $Y_j$  в выражение (2) и поэтому может рассматриваться как одна из альтернатив  $X_i$  повышения эффективности процесса функционирования изделий ВВТ.

Как и для основного процесса, эффективность ремонта  $Q_{\sigma \phi}$  является функцией  $n$  характеристик входа  $x_{\sigma_i}$ ,  $m$  – характеристик структуры обеспечивающей системы  $y_{\sigma_j}$ ,  $l$  – характеристик ограничений процесса ремонта  $z_{\sigma_k}$ . Тогда функция этого процесса будет иметь вид

$$Q_{\sigma \phi} = f(x_{\sigma_1}, x_{\sigma_2}, \dots, x_{\sigma_n}; y_{\sigma_1}, y_{\sigma_2}, \dots, y_{\sigma_m}; z_{\sigma_1}, z_{\sigma_2}, \dots, z_{\sigma_l}) \quad (3)$$

Если в результате решения задачи выбора оптимальной альтернативы достижения  $\min(Q_T - Q_{\phi})$  будет установлено, что  $X_{iT} = Q_{\sigma \phi}$  и при этом  $Q_{\sigma T} > Q_{\sigma \phi}$ , то возникает задача повышения эффективности процесса ремонта, т. е. достижения  $\min(Q_{\sigma T} - Q_{\sigma \phi})$ .

Эта задача идентична задаче обеспечения заданной эффективности процесса функционирования ВВТ. Здесь также требуется выделить управляемые характеристики процесса из их общего числа, определить возможное количество альтернатив и найти оптимальную по критериям  $\min(Q_{\sigma T} - Q_{\sigma \phi})$  и  $\min C_{\sigma}$ .

**Выводы.** Таким образом, обоснование целесообразности повышения ремонтпригодности машин, сформулированное как задача выбора оптимальной альтернативы обеспечения заданной эффективности функционирования в условиях ограничения ресурсов, требует разработки двух математических моделей: модели функционирования ВВТ и модели их ремонта. Эти модели должны быть взаимосвязаны таким образом, чтобы целевая функция модели ремонта являлась одним из аргументов функции, описывающей процесс функционирования ВВТ. А одним из аргументов математической модели ремонта должен быть показатель ремонтпригодности машин. Затем последовательно определяется оптимальная для каждого процесса альтернатива

обеспечения заданной эффективности при минимуме расхода ресурсов. Повышение ремонтпригодности машин можно считать целесообразным, если установлено, что оптимальной альтернативой обеспечения заданной эффективности функционирования ВВТ является повышение эффективности процесса их ремонта. В свою очередь, оптимальным путем обеспечения требуемой эффективности ремонта будет являться повышение ремонтпригодности изделий.

Следует еще раз подчеркнуть, что вопрос о повышении ремонтпригодности ВВТ должен рассматриваться как один из альтернативных путей обеспечения более высокой эффективности их функционирования. Инструментом для обоснования такого решения является системный анализ и математическое описание процессов функционирования ВВТ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационный бюллетень в/ч 68054 [Текст] / в/ч 68054. – М., 1991. – С. 101–107.
2. Ушаков, Н. А. Методы исследования эффективности функционирования технических систем [Текст] / Н. А. Ушаков. – М.: Знание, 1986.
3. Барлоу, Р. Математическая теория надежности [Текст] / Р. Барлоу, Ф. Прошан : пер. с англ. / под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: Сов. радио, 1969.
4. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справ. В 10 т. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1986.
5. Мазуренко, В. О. Основы науки управления [Текст] / В. О. Мазуренко, М. М. Мельник. – Сумы, 1996.
6. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справ. В 10 т. Т. 8. – М.: Машиностроение, 1990.
7. Чуев, Ю. В. Исследование операций в военном деле [Текст]. – М.: Изд-во МО, 1970.
8. Управление в системах РАВ. Основы теории управления и исследования операций [Текст] / Алексеев А. Г. [и др.]. Ч. 1. – Л.: Изд-во ВАА, 1980.

**Рецензент А. С. Довгополий**, д-р техн. наук, проф. (Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники, г. Киев)