

УДК 629.7.08

А.С. КАНИЦЕВ, кандидат технических наук,
доцент

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ И ВЫБОРУ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СРЕДСТВ АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ

В статье рассматривается многоэтапная декомпозиция системы восстановления средств аэродромно-технического обеспечения полетов на основе метода координации целей, при которой деление системы на частные подсистемы производится с целью решения оптимизационной задачи меньшей размерности. Представленный подход позволяет сделать вывод о необходимости выбора и обоснования обобщенного показателя эффективности функционирования системы восстановления средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации. В качестве количественной оценки такого показателя предлагается использовать число обеспеченных самолетовылетов при функционировании системы восстановления в течение заданного времени при минимуме затрат на ее создание.

Ключевые слова: декомпозиция; система восстановления; аэродромно-техническое обеспечение; эффективность; оптимизация.

Решение задачи структурно-параметрического синтеза системы восстановления средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации (средств АТО) стандартными методами математического программирования является крайне сложной задачей ввиду множественности связей и большого числа факторов, описывающих ее функционирование, что в конечном итоге приводит к «проклятию размерности». В таком случае при решении задач большой размерности представляется целесообразным использовать подход, основанный на декомпозиции исследуемой системы, предлагающий ее разделение на подсистемы [1-4].

Наиболее предпочтительным среди методов декомпозиции является метод координации целей [3], в соответствии с которым выделение подсистем может проводиться по схеме, представленной на рисунке 1.

Если каждую выделяемую в ходе декомпозиции подсистему представить в виде схемы, представленной на рисунке 2, то в дальнейшем можно разложить всю систему на совокупность подсистем¹.

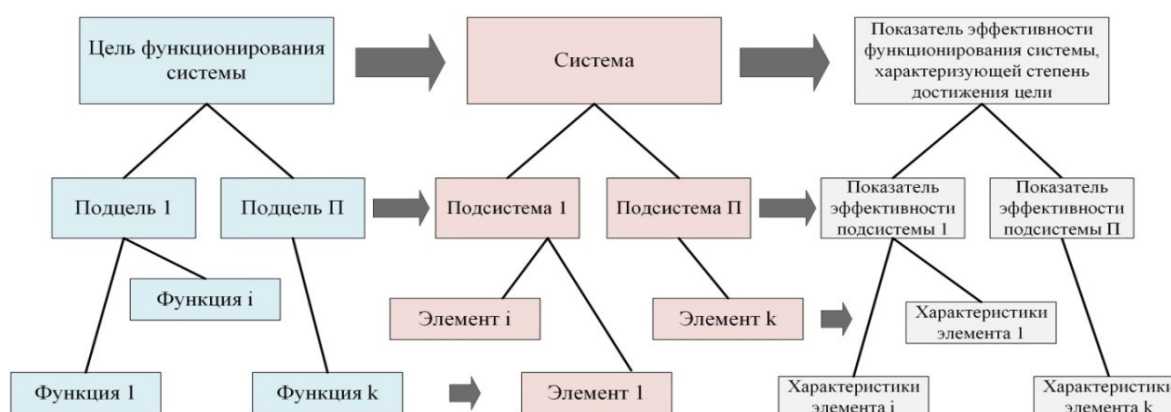


Рисунок 1 – Порядок проведения декомпозиции методом координации целей

¹ Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т.3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.



Рисунок 2 – Схема связей i -й подсистемы системы G

На рисунке 2 схематически представлена некоторая i -я подсистема системы G с характеристиками G_i и совокупность векторов входных воздействий и выходных результатов. Здесь $i \in \overline{1, N_n}$, где N_n – число подсистем в составе системы G . При этом компоненты вектора Y_i составляют части характеристик противника, учитываемых при функционировании i -й подсистемы. Компоненты вектора G_j , $i \neq j$ соответствуют характеристикам других подсистем, учитываемых при функционировании i -й подсистемы. Компоненты вектора X_i соответствуют характеристикам своих войск, учитываемых при функционировании i -й подсистемы. Рабочая нагрузка подсистемы представлена показателем $r_{n,i}$.

Для каждой i -й подсистемы в дальнейшем необходимо решать подзадачу меньшей размерности, чем размерность исходной задачи. Однако, ввиду взаимовлияния характеристик других подсистем на характеристики всей системы получить общее решение путем изолированного решения подзадач не представляется возможным. Следовательно, для решения задач обоснования значений характеристик системы G в целом требуется разработка специального математического аппарата агрегирования в классе задач нелинейного программирования большой размерности.

Кроме того, каждая i -я подсистема характеризуется показателем эффективности функционирования W_i , который для всей системы G должен быть свернут в единый показатель эффективности функционирования системы W в целом [1; 5].

В общем виде функционирование i -й подсистемы G можно представить следующим образом:

$$W_i = F_i(W_{i-1}, G_i, Y_i, X_i, G_j, r_{n,i}), \quad (1)$$

где F_i – математическая модель, отражающая функционирование i -й подсистемы; W_{i-1} – матрица частных показателей эффективности подсистем $(i - 1)$ -го уровня.

В этом случае показатель эффективности функционирования системы G будет равен:

$$W = F_o(W_i), \quad (2)$$

где F_o – оператор свертки частных показателей эффективности подсистем из состава системы восстановления средств АТО в показатель эффективности функционирования самой системы.

Рассмотрим процесс проведения декомпозиции системы восстановления средств АТО авиационной группировки.

Первым этапом декомпозиции является процесс упорядочивания целей и задач системы G (декомпозиция цели и задач). С этой целью рассматривается теоретико-множественное представление системы восстановления средств АТО, которая будет представлена кортежем следующего вида:

$$G = \langle U_G, F_G, Q_G, G_G, E \rangle. \quad (3)$$

Рассмотрим первые два элемента множества (3). Разложим главную цель функционирования системы G – «Восстановление готовности средств АТО авиационной группировки, получивших повреждения и эксплуатационные отказы» U_G , на составляющие. Указанная цель реализуется путем достижения следующих подцелей:

U_{G1} – не допустить простоя в восстановлении работоспособности средств АТО по причине отсутствия централизованного управления данным процессом;

U_{G2} – обеспечить восстановление работоспособности средств АТО;

U_{G3} – не допустить простоя функционирования системы восстановления средств АТО по причине отсутствия запасных частей и других материальных средств ремонта.

Используя для процедуры формирования упорядоченного множества промежуточных целей математический аппарат булевой алгебры², запишем:

$$U_G = U_{G1} \wedge U_{G2} \wedge U_{G3}. \quad (4)$$

Цель кодируется булевой переменной, принимающей лишь два значения: 1 – цель достигнута или 0 – цель не достигнута.

Анализ условий функционирования системы G показал, что достижение частных целей невозможно без необходимой и достаточной информации о поведении системы G . Поэтому необходимо сформулировать еще одну цель системы:

U_{G4} – обеспечить информационную поддержку достижения целей $U_{G1} - U_{G3}$.

Тогда выражение (4) может быть записано в следующем виде:

$$U_G = (U_{G1} \wedge U_{G2} \wedge U_{G3}) \wedge U_{G4}. \quad (5)$$

Каждой цели системы G должна соответствовать функция системы и реализующие эту функцию структурные элементы со своими характеристиками.

Вторым этапом проводится функциональная декомпозиция. Под функциональной декомпозицией понимается выделение подсистем, выполняющих относительно самостоятельные функции, характеристики которых могут оптимизироваться автономно, исходя из задач, стоящих перед конкретной подсистемой. Несмотря на то, что связи между этими подсистемами не могут быть окончательно порваны, они могут быть значительно ослаблены за счет проведения корректной декомпозиции на основе физических представлений функционирования этих подсистем. В дальнейшем избыточность в системе за счет оставшихся связей устраняется в ходе агрегирования подсистем.

Сформулируем функции системы восстановления средств АТО, определяющие множество F_G , которые позволяют достичь выполнения целей из множества U_G . Формулировка функций системы G может быть представлена в следующем виде:

F_{G1} – осуществление управления силами и средствами системы восстановления средств АТО;

F_{G2} – проведение эвакуации, всех видов ремонта, а также восполнения путем замены невосстанавливаемых средств АТО на работоспособные;

F_{G3} – своевременная поставка запасных частей и других материальных средств для организации ремонта.

Каждая из указанных функций должна иметь шкалу оценок, порог выполнения которых определяется в качестве требований к системе, реализующим эти функции, лицом, принимающим решение.

Таким образом, каждой промежуточной цели будет соответствовать своя функция, что позволяет нам утверждать, что при наличии соответствующих элементов с определенными характеристиками можно общую систему G разложить на ряд частных подсистем. Формализованно механизм упорядочивания целей и функций системы G может быть записан следующим образом:

$$U_G = \{U_{Gi}\} \rightarrow F_G = \{F_{Gi}\} \rightarrow Q_G = \{Q_{Gi}\} \rightarrow G = \{G_i\}. \quad (6)$$

Декомпозиция цели и функций системы G позволяет выделить совокупность подсистем из ее состава, при этом каждая i -я подсистема формализованно может быть представлена кортежем вида:

$$G_i = \langle U_{Gi}, F_{Gi}, Q_{Gi}, E \rangle. \quad (7)$$

² Эффективность технических систем... Указ. соч.

Основываясь на вышеизложенном, подход к обоснованию структуры системы G и ее декомпозиции методом координации целей можно представить в виде схемы, представленной на рисунке 3. Структура системы G должна отражать цели ее функционирования. Так, количество и назначение подсистем системы G должно соответствовать частным целям U_{Gi} ее функционирования, а состав самих подсистем должен определяться функциями F_{Gi} , реализующими частные цели.

Исходя из проведенного анализа выполняемых функций в составе системы G , выделяются следующие подсистемы:
 управления восстановлением средств АТО;
 ремонтно-эвакуационных органов;
 материального обеспечения ремонта;
 информационной поддержки принятия решений по воспитанию боевой готовности средств АТО.

Представленная в структуре системы G подсистема информационной поддержки принятия решений по восстановлению боевой готовности средств АТО не оптимизируется по своим характеристикам, а только учитывается при синтезе приведенных выше подсистем.

В дальнейшем для формализованного описания процессов функционирования подсистем системы G необходимо указать параметры единой системы исходных данных по характеристикам противника и своих войск, позволяющих решать задачи анализа и синтеза в единой информационной среде.

Совокупность таких исходных данных представлена в таблице 1.

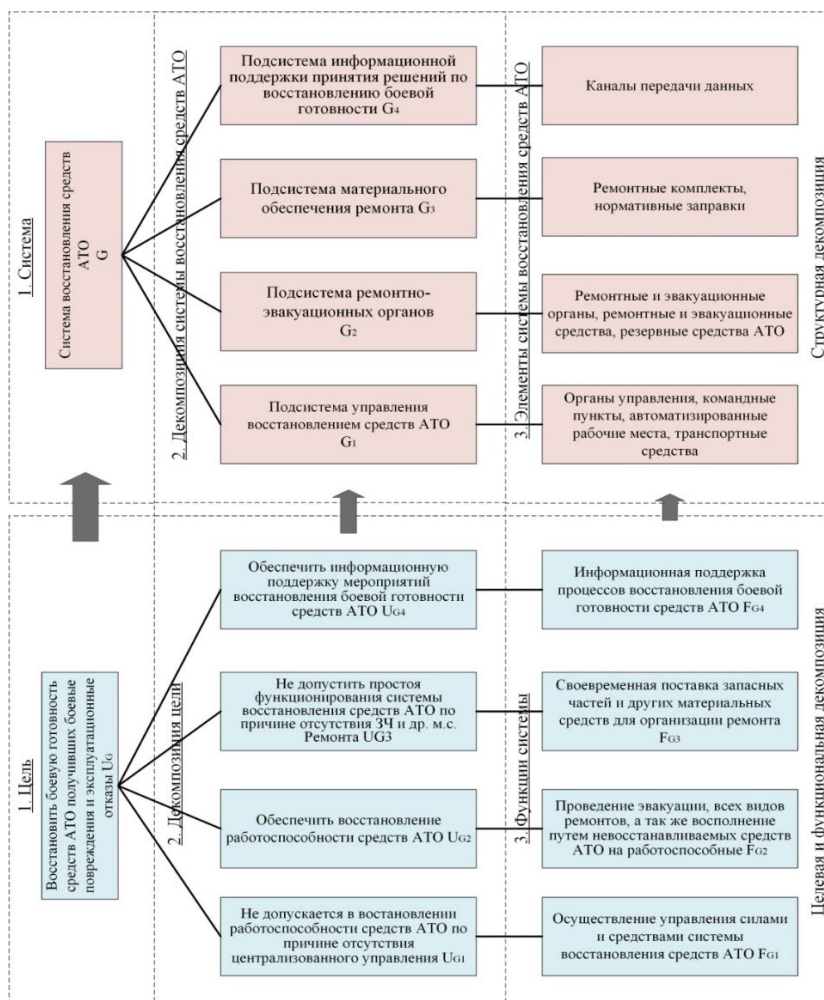


Рисунок 3 –Декомпозиция и подход к обоснованию структуры системы восстановления средств АТО методом координации целей

Таблица 1 – Совокупность исходных данных по характеристикам противника и своих войск

Множество характеристик	Наименование элементов множества	Элементы множества	Область существования
По противнику Y	Y_1	- объекты удара (номера средств АТО); - момент времени нанесения удара; - количество и тип АСП	Ω_Y
По своим войскам X	X_1	- параметры размещения элементов авиационной группировки на местности	Ω_{X_1}
	X_2	- конструктивно-технологические характеристики средств АТО	Ω_{X_2}
	X_3	- тактико-технические характеристики средств АТО	Ω_{X_3}
	X_4	- ремонтно-технологические характеристики средств АТО	Ω_{X_4}
	X_5	- эксплуатационные факторы, воздействующие на средства АТО	Ω_{X_5}

Для каждой подсистемы необходимо разработать механизм оценки эффективности функционирования относительно этих исходных данных и характеристик системы G . Выбор перечня характеристик системы G будет произведен в дальнейшем при постановке и решении конкретных задач по обоснованию требований к ее подсистемам.

Функциональная декомпозиция системы G дает возможность осуществить структурную декомпозицию. Под структурной декомпозицией понимается выделение сил и средств, решающих задачи восстановления боевой готовности средств АТО в соответствии с их иерархическим положением в авиационной группировке. Каждая из вышерассмотренных подсистем на всех уровнях иерархии имеет в своем составе соответствующие силы и средства.

С повышением уровня иерархии функции сил и средств системы G расширяются, однако, в их составе можно выделить силы и средства, функционирующие в интересах отдельных подсистем. Это позволяет в общей задаче оптимизации выделить частные задачи с учетом элементов структуры, в интересах рассматриваемой подсистемы, характеристики которой оптимизируются.

Декомпозиция системы восстановления средств АТО авиационной группировки в представленном варианте является в некоторой степени условной, так как между подсистемами остаются устойчивые связи, а характеристики каждой из них оказывают влияние на соответствующие характеристики другой подсистемы. Так, повышая требования к любой из вышперечисленных подсистем при заданном значении показателя, характеризующего эффективность системы G в целом, можно «смягчить» требования к другим подсистемам. При этом следует учитывать, что изменения требований означает изменение значений параметров и непременно влечет за собой изменение затрат на их реализацию.

Проведенная многоэтапная декомпозиция позволит реализовать механизм функционально-структурного анализа для определения состава и характеристик подсистем системы G , для этого необходимо поставить и решить совокупность частных задач обоснования структур и характеристик указанных подсистем, имеющих меньшую размерность по сравнению с исходной задачей, для системы восстановления средств АТО в целом. Однако при решении оптимизационных задач меньшей размерности можно сделать вывод о необходимости выбора и обоснования обобщенного показателя эффективности функционирования системы восстановления средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации. Так как эффективность является комплексным свойством, то показатель эффективности целенаправленного процесса функционирования системы должен включать три группы компонентов, характеризующих возможные целевые эффекты (результативность операции W), затраты ресурсов (ресурсоемкость операции C) и затраты времени (оперативность операции T)³:

$$\vec{\Xi} = \langle W, C, T \rangle. \tag{8}$$

³ Эффективность технических систем... Указ. соч.

При этом функционирование любой системы всегда сопряжено с определенной целевой установкой, поэтому одним из важнейших вопросов при исследовании эффективности операций, производимых системой, является определение цели операции.

Практика исследования эффективности сложных систем показывает, что наиболее сложным этапом является формулирование цели функционирования системы и выбор показателя эффективности W . При этом показатель эффективности функционирования системы восстановления средств АТО, а также показатели эффективности ее подсистем должны удовлетворять ряду требований:

во-первых, показатель эффективности должен отражать количественную меру прямого эффекта; во-вторых, он должен иметь однозначное количественное выражение; в-третьих, являться эффективным в статистическом смысле и чувствительным к оптимизируемым параметрам подсистем системы восстановления средств АТО; в-четвертых, должен быть достаточно простым в расчетном отношении с учетом требований полноты содержащейся в нем информации.

Значение показателя эффективности определяется множеством факторов, и как числовая характеристика этот показатель должен являться функцией этих факторов. Основные факторы, влияющие на эффективность операции, выполняемой системой, можно разделить на две группы. Первая группа включает в себя параметры системы в реализуемой ею операции. Вторая группа учитывает условия проведения операции, т.е. условия функционирования системы и условия ее применения (ситуационные и организационно-технические, способ применения системы, действия противника и т.д.). Чем больше факторов входит в показатель, тем он полнее. Однако, при выборе функциональной связи показателя эффективности с параметрами операции и факторами, учитывающими условия ее проведения, необходимо учитывать неодинаковую значимость отдельных элементов системы и условия проведения операции.

Показатель эффективности зависит от структуры системы, значений ее параметров, характера взаимодействия с внешней средой. Он определяется целенаправленным процессом функционирования системы, т.е. является функционалом от этого процесса.

Сформулированная цель функционирования системы восстановления средств АТО предполагает введение показателя и критерия его оценки, которые бы удовлетворили приведенным выше требованиям. Однако, вследствие того, что рассматриваемая система восстановления средств АТО выполняет совокупность операций, каждая из которых оценивается своим показателем, которые, в свою очередь, могут иметь различную физическую сущность, выбор главного показателя с применением традиционных методов свертки (мультипликативной или аддитивной) является сложной задачей. Существует возможность исказить физический смысл обобщенного показателя эффективности всей системы восстановления средств АТО в целом, проводя агрегирование показателей различной физической сущности (в абсолютном или относительном выражении), рискуя при этом не получить ответа на вопрос: достигнута ли цель функционирования системы и в какой степени?

Для решения этой задачи обычно прибегают к использованию показателя эффективности, характеризующего функционирование надсистемы по отношению к исследуемой системе или «суперсистемы». В этом случае имеется возможность «замкнуть» частные показатели эффективности функционирования подсистем на обобщенный показатель эффективности функционирования «суперсистемы».

В качестве показателя эффективности, характеризующего степень приспособленности системы восстановления средств АТО авиационной группировки к выполнению стоящих перед ней боевых задач, в наибольшей степени подходит коэффициент сохранения эффективности применения средств АТО авиационной группировки.

$$W = \frac{N_{\text{с.в.}}[G(Q_G, G_G)/X, Y] - N_{\text{с.в.}}(X, Y)}{N_{\text{с.в.}}(X, Y)}, \quad (9)$$

где $N_{\text{с.в.}}[G(Q_G, G_G)/X, Y]$ – число самолетовылетов частей и подразделений авиационной группировки с учетом функционирования адаптивной системы восстановления средств АТО; $N_{\text{с.в.}}(X, Y)$ – число самолетовылетов частей и подразделений при функционировании существующей системы восстановления средств АТО.

Для расчета значений $N_{с.в.}[G(Q_G, G_G)/X, Y]$ и $N_{с.в.}(X, Y)$ разработаны методика оценки эффективности аэродромно-технического обеспечения частей и подразделений авиационной группировки и алгоритм дисперсионного анализа, позволяющий оценить степень влияния качества аэродромно-технического обеспечения на количество самолетовылетов.

С учетом выражения (8) обобщенный показатель эффективности функционирования системы восстановления средств АТО примет вид:

$$\text{Э: } \begin{cases} C_G[G(Q_G, G_G)/X, Y] \rightarrow \min_{G \in \Omega_G} \\ \text{при } W[G(Q_G, G_G)/X, Y] \geq W_{\text{тр.}} \\ T_G[G(Q_G, G_G)/X, Y] \leq T_{\text{зад.}} \end{cases} \quad (10)$$

Таким образом, можно получить количественную оценку показателя эффективности, отражающую число обеспеченных самолетовылетов с учетом функционирования системы G , в течение заданного времени при минимуме затрат на создание и функционирование системы восстановления средств АТО.

Необходимо отметить, что в этом показателе отражается степень влияния подсистем из состава системы G на эффективность выполнения задач. Достижение цели функционирования системы G возможно при нахождении значений показателей эффективности ее подсистем в области допустимых значений. Конкретное значение оптимизируемых переменных для каждой из подсистем будет определяться при решении частных задач оптимизации.

Список использованных источников

1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: Математические основы. М.: Мир, 1978. – 311 с.
2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К.. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике. В 2 кн. Кн.1. М.: Мир, 1986. – 349 с.
3. Сингх М., Титли А. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление. М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
4. Цурков В.И. Декомпозиция в задачах большой размерности. М.: Наука, 1981. – 352 с.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. – 399 с.