

УДК 623.618

Д.О. Крикунов, В.А. Малышев
**МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ВОЕННОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
НЕДОСТАТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИИ О РАЗВИТИИ
ПОМЕХОВО-ЦЕЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ**

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

В статье рассмотрена задача распределения ресурсов автоматизированной системы управления военного и двойного назначения в условиях недостаточности информации о развитии помехово-целевой обстановки. Актуальность решения данной задачи обусловлена низким качеством планирования, распределения и использования ресурсов автоматизированной системы в условиях недостаточности информации о развитии помехово-целевой обстановки, что снижает эффективность как самой системы, так и ее применения. Задача решена по средствам разработанной модели распределения ресурсов системы при условии возможного появления на входе множества возмущений, учитывающей особенности текущей ситуации протекания вооруженного конфликта. Модель отличается представлением решения векторной задачи оптимизации и построения функции гарантированного выигрыша в бинарных отношениях конфликта, содействия и безразличия. Таким образом, решена задача распределения ресурсов автоматизированной системы управления военного и двойного назначения в условиях недостаточности информации о развитии помехово-целевой обстановки по средствам создания модели такой системы, учитывающей возможность появления на ее входе множества возмущений. Также обоснована декомпозиция системы, дающая возможность представить решение векторной задачи оптимизации в бинарных отношениях конфликта, содействия и безразличия. Предложены подходы к построению функции полезности и гарантированного выигрыша, а также численная схема оптимизации на этом множестве.

Ключевые слова: распределение ресурсов, модели, информация, технология, автоматизация, системы управления.

Введение. Распределение ресурсов автоматизированной системы управления военного и двойного назначения (АСУВДН) - это функция системы по регулированию использования своих ресурсов при наличии неопределенности характера протекания конфликта с использованием различных средств противоборства (уничтожения целей), а также из-за несоответствия текущей ситуации планируемому способу применения АСУВДН как наиболее эффективному в течение определенного времени. Распределение ресурсов предполагает ряд приемов, которые помогают элементу, принимающему решение (ЭПР), в достижении наилучших результатов. В таком случае задача ЭПР состоит в нахождении способов гибкого реагирования на изменение помехово-целевой обстановки с целью

минимизации влияния текущей ситуации на АСУВДН с помощью средств распределения ее ресурсов. Низкое качество использования ресурсов АСУВДН в условиях недостаточности информации о развитии помеховой целевой обстановки (НИРПЦО) снижает ее эффективность. Для решения имеющейся задачи наилучшим образом, смоделируем систему. В связи с этим необходимо разработать модели распределения ресурсов АСУВДН в условиях НИРПЦО, учитывающих существенные особенности протекания вооруженного конфликта в конкретной ситуации.

Построение модели. Результирующее управление u , которое воздействует на объект управления, образуется двумя составляющими, такими как программная (план x), и корректирующая (оперативное управление y) [1,2]. Данный вид управления может быть представлен по-разному: в виде суммы этих двух составляющих, либо какой-то другой заданной их функцией:

$$u=x+y \text{ или } u = F(x, y) \quad (1)$$

Оперирующей стороне необходимо обеспечить выполнение всех условий допустимости результирующего управления, которые вкратце можно записать следующим образом:

$$u \in U(\varepsilon) \quad (2)$$

где U - заданное множество в функциональном пространстве управлений, зависящее от возмущений ε . Помимо этого, оперирующая сторона старается максимизировать критерий качества управлений, на который также воздействуют возмущения:

$$J(u, \varepsilon) \rightarrow \max \quad (3)$$

В записях (2), (3) показана существенная особенность АСУВДН в условиях НИРПЦО: критерий качества и условия допустимости управления зависят от возмущений. Затем ведется учет и обратного влияния управления на множество ожидаемых возмущений Ξ_0 .

На основании априорной информации $I(\Xi)$ о возмущениях оперирующая сторона заранее формулирует план x :

$$x = X(I(\Xi)) \quad (4)$$

Следующим шагом будет рассмотрение двух вариантов априорной информированности [3]:

- известно лишь множество будущих возмущений Ξ_0 , которое задается, например, граничными значениями возмущений;

- известна функция распределения возмущений $\mu(\Xi)$, иными словами вероятность с которой возмущения могут попасть в любое подмножество Ξ исходного множества Ξ_0 .

Оперативное управление y формируется после планирования, в процессе функционирования, используя текущую информацию $i(\varepsilon)$ о возмущениях. Это дает возможность, компенсировать часть нежелательных воздействий:

$$y = Y(x, i(\varepsilon)) \quad (5)$$

Под алгоритмом оперативного управления подразумевается полный список действий для каждой из существующих реализаций $\varepsilon \in \Xi_0$. Построение таких алгоритмов в нашем случае мы не рассматриваем, поэтому оператор (5) считаем заданным. Когда информация в данный момент времени полная, другими словами $i(\varepsilon) = \varepsilon$, то в некоторых решенных квазистатических задачах удалось аналитически создать оптимальный алгоритм оперативного управления [3,4].

Для выполнения боевой задачи по уничтожению целей противника требуется определенный комплекс ресурсов, часть которого имеется в АСУВДН, а другая - в вышестоящей системе (надсистеме). Объем централизованного пополнения ресурсов АСУВДН x планируется оперирующей стороной - оператором АСУВДН заранее. На объем и наличие ресурсов вышестоящей надсистемы ε оператор АСУВДН не может оказывать никакого воздействия, также при планировании величина ε неизвестна, т.е. находится в разряде возмущений. Суммарный объем ресурсов $x + \varepsilon$, состоит из двух частей, одна передана АСУВДН, и обладает единичной вместимостью, другая может находиться, в зависимости от тактической обстановки, в пассивном запасе емкостью r , либо быть готовой к применению вышестоящей системой [3]. С другой стороны, суммарного объема ресурсов $x + \varepsilon$ должно хватить, чтобы АСУВДН в условиях НИРПЦО, совместно с вышестоящей системой смогла осуществить необходимое противодействие противнику (уничтожение целей). Для этого необходимо обеспечить первоначальное наличие хотя бы ν -й доли от максимального (единичного) комплекса ресурсов АСУВДН ($0 < \nu < 1$). Недостающее количество ресурсов может быть восполнено перераспределением ресурсов АСУВДН или действиями вышестоящей системы.

Оперативное управляющее воздействие y заключается в перераспределении ресурсов АСУВДН для выполнения частной задачи.

Положительные значения управляющего воздействия соответствуют пополнению запаса, необходимого для достижения частной цели, отрицательные - уменьшению необходимого запаса ресурса [2]. Результирующее управление (1) здесь равно сумме плановой x и оперативной y составляющих

$$u=x+y \quad (6)$$

которые в текущей постановке являются не векторными функциями времени, а просто скалярными параметрами, которые выбирает ЭПР оперирующей стороны.

Множество (2) возможных результирующих управлений задается запасами ресурсов АСУВДН, приведенными к единице, минимально допустимым его количеством ν , а также размером r пассивного запаса. Такое множество очень зависит от возмущений - величины ε и u участвуют в условиях допустимости управления на одинаковых правах:

$$u \in U(\varepsilon) = \{x, y : x \geq 0, |y| \leq r, \nu \leq x + y + \varepsilon \leq 1\} \quad (7)$$

Качество управления оценивается качеством выполнения поставленной задачи, которая линейно зависит от всех трех видов ресурсов: централизованных x (ресурсов АСУВДН), нецентрализованных ε (ресурсов надсистемы) и компенсирующих y (перераспределенных) [1,3]:

$$J = x + qy + g\varepsilon \rightarrow \max, \quad (8)$$

где $g \geq 1 \geq q \geq 0$.

Разные величины коэффициентов g, q отражают несоответствие обстановки противоборства, которая для простоты считается на этапе планирования уже известной. В соответствии с выше сказанным оперативное управление y осуществляется по достоверной информации о возмущении ε и плане x , следовательно, из допустимого множества (7) можно выбрать величину y , максимизирующую критерий (8):

$$y = Y(x, \varepsilon) = y_{\text{в}} = \min \{1 - x - \varepsilon, r\} \geq y_{\text{н}} = \max \{\nu - x - \varepsilon, -r\} \quad (9)$$

Выражение (9) является алгоритмом оперативного управления (5), в соответствии с которым компенсирующий объем ресурсов всегда равен максимально возможному: $y=y_{\text{в}}$. Это либо обеспечивает полное использование ресурсов АСУВДН, если $y=1-x-\varepsilon \leq r$, либо полностью исчерпывает запас ресурсов надсистемы, если $y=r \leq 1-x-\varepsilon$. Нижняя граница

u_n принимает участие только в создании условий допустимости алгоритма Y , замыкающих соотношения (9). Допустимость оперативного управления гарантируется за счет выбора плана x .

При известном еще до планирования алгоритме оперативного управления Y условия (2) допустимости результирующего управления обязаны быть выполнены лишь по средствам выбора плана x . Этим обеспечивается достаточный запас ресурсов на регулирование. Условия (2), отображенные в пространство планов x , возможно разделить на три типа:

1. Условия, которые не зависят от возмущения, а также условия целочисленности или, в общем случае, дискретности некоторых компонент вектора планов x :

$$x \in X_1 = \bigcup_{n=0}^N X_1^n, \quad X_1^n \cap X_1^{n'} = \emptyset \text{ для } n \neq n' \quad (10)$$

В выражении (10) показан процесс построения множества X_1 . Это объединение конечного числа независимых подмножеств X_1^n , каждое, из которых возможно является компактным и зависит от номера n . Разрешены и чисто дискретные варианты, когда подмножества X_1^n конечны или счетны.

2. Условия, которые зависят от возмущения, но по своему назначению должны быть реализованы для всех априорно возможных реализаций возмущения, как в гарантирующей постановке задачи, так и в вероятностной:

$$x \in X_2(\varepsilon) = \{x : G_i(x, \varepsilon) \geq 0, i \in I_2\}, \quad \forall \varepsilon \in \Xi_0(x) \quad (11)$$

3. Условия, зависящие от возмущения:

$$x \in X_3(\varepsilon) = \{x : G_i(x, \varepsilon) \geq 0, i \in I_3\}, \quad I_2 \cap I_3 = \emptyset \quad (12)$$

В (11) и (12) $G_i(x, \varepsilon)$ представляет собой отображения, которые синтезируются из начальных отображений, задающих выражение (2) в пространстве результирующего управления u после его выражения через плановую x и корректирующую u составляющие и последующего исключения u по средствам алгоритма оперативного управления Y .

Условия (11) и (12) представляют собой системы неравенств. В них связи, такие как равенства, тождественные по ε , не могут быть удовлетворенными за счет выбора x , в связи с тем, что плановая составляющая, по сравнению с корректирующей, не может изменяться в

зависимости от возмущения в настоящий момент времени. Отступления от этого правила имеют место только тогда, когда алгоритм оперативного управления достоверно отражает возмущение для каких-либо исходных данных. Но в этом случае соответствующие им преобразованные отображения $G_i(x, \varepsilon)$ уже не зависят фактически от ε и относятся к разряду условий (10), в которых разрешаются как равенства, так и неравенства. Условия (11), выполняющиеся при любых возмущениях из $\Xi_0(x)$ как для вероятностной, так и для гарантирующей поставок, могут быть отнесены к выражению (10), не имеющему возмущения, в силу эквивалентности двух неравенств

$$G_i(x, \varepsilon) \geq 0 \quad \forall \varepsilon \in \Xi_0(x) \Leftrightarrow \inf_{\varepsilon \in \Xi_0} G_i(x, \varepsilon) \geq 0 \quad (13)$$

при не имеющего зависимость от возмущения ε плане x . В итоге условие одновременного выполнения выражений (10) и (11) можно отобразить более простым видом:

$$x \in X_0 = \{x : x \in X_1, G_i(x) \geq 0, i \in I_2\} \quad (14)$$

Вектор возмущений ε для удобства дальнейших рассуждений разделим на две подгруппы - непрерывные (η) и дискретные (χ):

$$\varepsilon = (\eta, \chi) \in \Xi_0(x) \Leftrightarrow \chi \in Z_0 = \{\chi_1, \chi_2, \dots\}, \eta \in H_0(x, \chi) \quad (15)$$

Дискретные возмущения χ , входящие в конечное или счетное множество Ξ_0 отвечают за скачкообразные изменения ситуации в данный момент времени. Такие возмущения вызываются, например, новыми ограничениями, которые возникают после завершения этапа планирования. Реализация дискретных возмущений χ_i может оказывать влияние на множество H_0 будущих значений непрерывных возмущений η . План x выбирается в зависимости от структуры множества H_0 . В принципе нет противопоказаний и для зависимости $Z_0(x)$.

Множества Z_0 и H_0 будущих дискретных (χ) и непрерывных (η) возмущений считаются известными уже в начале этапа планирования [4].

Тогда для каждого значения χ_j дискретных возмущений, в соответствии с моделью гарантированного выигрыша

$$\varphi = \sum_{\{\text{АСУВДН}, \xi_n\} \in \{\bar{>I}\}} \alpha_n (q_{\text{АСУВДН}}^r - q_{\text{АСУВДН}}^o) + \sum_{\{\text{АСУВДН}, \xi_n\} \in \{>I\}} \beta_n (q_{\text{АСУВДН}}^r - q_{\text{АСУВДН}}^o);$$

$$\alpha_n \geq 0, \beta_n \leq 1; \sum_{\{\text{АСУВДН}, \xi_n\} \in \{\bar{>I}\}} \alpha_n = 1; \sum_{\{\text{АСУВДН}, \xi_n\} \in \{>I\}} \beta_n = 1; n = \overline{1, N}$$

где α_n, β_n - веса соответствующих свойств возмущений ξ_n с позиций АСУВДН, $\bar{>I}, >I$ - отношения содействия и конфликта соответственно, $q_{\text{АСУВДН}}^o$ - ожидаемая функция полезности. Введем множество H_j^+ благоприятных непрерывных возмущений η . Благоприятными считаются возмущения η , если они для фиксированного плана x не нарушают условие допустимости результирующего управления и дают возможность реализации \tilde{J} критерия качества, не опускающуюся ниже необходимого уровня c :

$$H_j^+(x, c) = \left\{ \eta : \eta \in H_0(x, \chi_j), G_i(x, \eta, \chi_j) \geq 0, i \in I_2, \mathcal{J}(x, \eta, \chi_j) \geq c \right\} \quad (16)$$

где $\mathcal{J} = J(F(x, Y(x, i(\eta, \chi_j))), \eta, \chi_j)$.

Другие возмущения η из $H_0 \setminus H_j^+$ являются неблагоприятными. Таким образом, множество Z^+ благоприятных дискретных возмущений χ составляют лишь те χ_j , которым (16) является непустым множеством, т.е.

$$Z^+(x, c) = \left\{ \chi : \chi = \chi_j \in Z_0, H_j^+(x, c) = \emptyset \right\} \quad (17)$$

оставшиеся возмущения χ принадлежат к неблагоприятным.

Разделение всех возможных возмущений на непересекающиеся подмножества благоприятных и неблагоприятных возмущений выполняется для фиксированного множества планов x и фиксированной нижней оценки c реализации \tilde{J} критерия качества результирующего управления. Ясно, что для последующего рассмотрения имеют значение планы, которые соответствуют условиям (17), не включающих в себя возмущений. Остальные условия (15) допустимости плана реализуются лишь на множестве благоприятных возмущений. При условии увеличения оценки c множество благоприятных возмущений станет сужаться (точнее, не расширяться), и для всех c , превышающих некоторый критический уровень, оно будет пустым. Но с точки зрения выбора плана интерес представляет не «истощение» множества благоприятных возмущений, а его необходимая «полнота». Гарантирующая и вероятностная постановки различаются требованиями к полноте множества благоприятных возмущений.

В задаче об управлении ресурсами АСУВДН объем ресурсов вышестоящей системы ε является непрерывной переменной. До начала планирования она оценивается только сверху величиной d , так что $\Xi_0=[0,d]$.

Множества (16), (17) (рисунок 1) благоприятных возмущений при каждом фиксированном x в силу (7) - (9) представляются отрезками следующего вида

$$\Xi^+(x,c) = [\varepsilon_{\text{н}}^+(x,c), \varepsilon_{\text{в}}^+(x)] \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{н}}^+ &= \max \{ \varepsilon_{\text{н}0}, \varepsilon_{\text{н}1}, \varepsilon_{\text{н}2}, \varepsilon_{\text{н}3} \}; \\ \varepsilon_{\text{в}}^+ &= \min \{ \varepsilon_{\text{в}0}, \varepsilon_{\text{в}1} \}; \\ \varepsilon_{\text{н}0} &= 0; \\ \varepsilon_{\text{н}1} &= 1 - r - x; \\ \varepsilon_{\text{н}2} &= \frac{1}{g} (c - x - qr); \\ \varepsilon_{\text{н}3} &= \frac{1}{g - q} (c - (1 - q)x - g); \\ \varepsilon_{\text{в}0} &= d, \varepsilon_{\text{в}1} = 1 + r - x. \end{aligned}$$

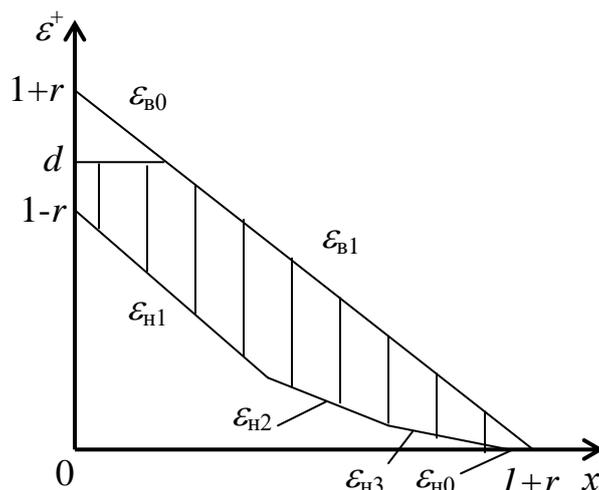


Рисунок 1- Диапазоны благоприятных объемов ресурсов АСУВДН для различных планов x

В (18) и на рисунке 1 обозначено:

- $\varepsilon_{\text{в}0}$ - верхняя априорная оценка возмущений;
- $\varepsilon_{\text{в}1}$ - максимальное возмущение по уровню ресурсов, допустимое надсистемой;

- ε_{H0} - нижняя априорная оценка возмущений;
- ε_{H1} - минимальное возмущение, допустимое при условии минимальной загрузки;
- ε_{H2} - минимальное возмущение, обеспечивающее ожидаемый результат c при возможности свободного набора ресурсов;
- ε_{H3} - минимальное возмущение, обеспечивающее ожидаемый результат c при наличии остатка ресурсов.

С ростом интенсивности противоборства c нижние границы ε_{H2} и ε_{H3} поднимаются, другие остаются константами. В соответствии с этим интервал благоприятных возмущений (18) сужается, вырождаясь при определенном значении c в пустое множество. Это является общим свойством множеств благоприятных возмущений (16), (17). Далее возникают проблемные вопросы, связанные с оценкой влияния возмущений на эффективность противодействия, что позволяет использовать результаты исследования в моделях поддержки принятия управленческих решений.

Заключение. Таким образом, решена задача распределения ресурсов АСУДВН в условиях НИРПЦО по средствам создания модели такой системы учитывающей возможность появления на ее входе множества возмущений. Также обоснована декомпозиция системы, позволяющая представить решение векторной задачи оптимизации в бинарных отношениях конфликта, содействия и безразличия. Предложены подходы к построению функции полезности и гарантированного выигрыша, а также численная схема оптимизации на этом множестве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.196 с.
2. Российский О.Г., Ахмеров Д.Е. Основные операции оптимизационной модели распределения ресурсов ПВО / О.Г. Российский, Д.Е. Ахмеров// Военная мысль,2007 - № 4. С. 73-77
3. Михайлов Р.Л., Ларичев А.В., Смылова А.Л., Леонов П.Г. Модель распределения ресурсов в информационном конфликте организационно-технических систем / Р.Л. Михайлов, А.В. Ларичев, А.Л. Смылова, П.Г. Леонов// Вестник череповецкого государственного университета, 2016. № 6 (75). С. 24-29
4. Зырянов Ю.Т., Коновалов О.А. Алгоритм решения задачи распределения ресурсов в организационно-технической системе /

- Ю.Т. Зырянов, О.А. Коновалов // Всерос. науч.-практ. конф. «Инновации в авиационных комплексах и системах военного назначения. Системы управления, связи и навигации». Воронеж, 2009. Ч. 9. С. 78-83.
5. Федоров Н.Ю. Методика управления муниципальными унитарными предприятиями // Научный журнал КубГАУ, 2012. № 82 (08).

D.O. Krikunov, V.A. Malyshev

**MODEL OF DISTRIBUTION OF RESOURCES OF THE AUTOMATED
MANAGEMENT SYSTEM OF MILITARY AND DOUBLE
APPOINTMENT IN CONDITIONS OF INSUFFICIENCY OF
INFORMATION ON DEVELOPMENT OF INTERFERENCE-TARGET
SITUATION**

*Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named
after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin»*

The article considers the problem of resource allocation automated control system of military and dual-use in terms of lack of information about the development interference-target situation. The urgency of this problem caused by low quality of planning, allocation and utilization of resources of the automated system in terms of the lack of information about the development interference-target situation, which reduces the efficiency of the system itself and its application. The problem is solved by means of the developed model resource allocation system in terms of the possible appearance at the entrance to a variety of perturbations adapted to the current situation of the occurrence of armed conflict. The models is a representation of the solution of a vector optimization problem and construct the function a guaranteed win in the binary relationships of conflict, cooperation and indifference. Thus, solved the problem of resource allocation automated control system of military and dual-use in terms of lack of information about the development interference-target situation by means of creating a model of such a system taking into account the possibility of its entrance to a variety of disturbances. It also justifies the decomposition of the system, which allows representing the solution of vector optimization problem binary relations of conflict, cooperation and indifference. Proposed approaches to the construction of a utility function and a guaranteed win, and a numerical optimization scheme on this set.

Keywords: resource allocation, models, information, technology, automation, control systems.

REFERENCES

1. Teorija avtomatičeskogo upravljenja: učebnoe posobie / V.F. Djadik, S.A. Bajdali, N.S. Krinicyn; Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehničeskij universitet. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehničeskogo universiteta, 2011. 196 p.

2. Rossijskij O.G., Ahmerov D.E. Osnovnye operacii optimizacionnoj modeli raspredelenija resursov PVO / O.G. Rossijskij, D.E. Ahmerov // Voennaja mysl', 2007 - № 4. P. 73-77
3. Mihajlov R.L., Larichev A.V., Smyslova A.L., Leonov P.G. Model' raspredelenija resursov v informacionnom konflikte organizacionno-tehnicheskikh sistem / R.L. Mihajlov, A.V. Larichev, A.L. Smyslova, P.G. Leonov // Vestnik cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta, 2016. - № 6 (75). P. 24-29
4. Zyrjanov Ju.T., Konovalov O.A. Algoritm reshenija zadachi raspredelenija resursov v organizacionno-tehnicheskoy sisteme / Ju.T. Zyrjanov, O.A. Konovalov // Vseros. nauch.-prakt. konf. «Innovacii v aviacionnyh kompleksah i sistemah voennogo naznachenija. Sistemy upravlenija, svjazi i navigacii». Voronezh, 2009. Ch. 9. P. 78-83.
5. Fedorov N.Ju. Metodika upravlenija municipal'nymi unitarnymi predpriyatijami // Nauchnyj zhurnal KubGAU, 2012. № 82 (08).