

УДК 007.524

# ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННЫХ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

**В.П. Кутахов**

*НИИ «Институт имени Н.Е. Жуковского»*  
Россия, 125167, Москва, ул. Викторенко, 7  
E-mail: [kutahovvp@nrczh.ru](mailto:kutahovvp@nrczh.ru)

**Р.В. Мещеряков**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: [mrv@ipu.ru](mailto:mrv@ipu.ru)

**Ключевые слова:** робот, робототехника, роботизированное авиационное средство, БЛА.

**Аннотация:** В работе рассматривается формализованная постановка задачи взаимодействия группировки роботизированных авиационных средств. Показывается, что задача создания оптимальной группировки может быть сведена к задаче оптимизации.

## 1. Введение

В нашей стране, как и во всем мире, бурно развивается научно-техническое направление беспилотных летательных аппаратов (БЛА). В ближайшей перспективе они будут функционировать совместно в составе групп нескольких информационно связанных БЛА, решающих сложные функциональные задачи. Например, обследование территорий на предмет наличия различных факторов и адекватного воздействия на них, транспортировка грузов и т.д. Назовем такие группы - «Роботизированные авиационные системы» состав построение формальных моделей систем беспилотной авиации. С одиночного использования в решении функциональных задач к 2030 году одиночные беспилотники вырастут в крупномасштабные системы, автономно действующие группировки, используемые для мониторинга, воздействия, защиты объектов, решения транспортных и инфокоммуникационных задач [1-3].

Становится ясно, что в практическом и научно-теоретическом плане представляют интерес многокомпонентные группы БЛА, состоящие из различных по своему функциональному назначению аппаратов, которые в своей совокупности могут решать сложные задачи. Эти гетерогенные группы могут также быть многофункциональными, адаптируемыми по составу к текущим задачам.

Вместе с тем при постановке перспективных задач построения гетерогенной группировки роботизированных авиационных средств – БЛА – одной из первоочередных задач мы рассматриваем задачу об оптимальном составе группировки.

Для решения этой задачи представим гетерогенную роботизированную авиационную систему  $S$  следующей моделью/

Пусть

$$S = \{b_i \in B \mid B - \text{множество БАС}, i = \overline{1, N}\},$$

где  $S$  – система, собственно РАС;  $b_i$  –  $i$ -е беспилотное средство (далее – средство),  $N$  – количество средств в системе  $S$ .

Определим множество  $F$  свойств и функций средств, которые могут входить в состав системы  $S$ .

Тогда сопоставим беспилотному средству  $b_i$  набор свойств и функций  $\langle F \rangle$ , которыми оно обладает [4]. Введем ограничение: будем считать, что при объединении в группу беспилотных авиационных средств и получение нового системного качества, данное свойство будет описываться в  $\langle F \rangle \in W$  отдельным элементом и дополнительными параметрами, и ограничениями, позволяющими его использовать в количестве свойств  $K$ . Таким образом система  $S$  имеет в своем составе  $N$  средств, которые выполняют  $K$  функций. Вместе с тем каждое средство обладает собственным набором свойств  $\langle Fi \rangle$ .

Вместе с тем необходимо учитывать, что каждое средство имеет стоимость:

$$C_i = C_i^* + \sum_{k=1}^K C_i^k,$$

где  $C_i$  – общая стоимость  $i$ -го средства;  $C_i^*$  – стоимость собственно платформы средства;  $C_i^k$  – стоимость реализации функции системы  $S$ , реализующей  $K$  функций.

Представленный подход к формированию стоимости средства является укрупненным и в общем случае должен учитывать не только создание и выполнение функции в процессе работы системы  $S$ , но и подготовку, ввод в эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Таким образом стоимость системы  $S$  с функциями и характеристиками будет вычисляться как

$$C = \sum_{i=1}^N C_i,$$

где  $C$  – стоимость системы  $S$  из  $N$  средств;  $C_i$  – стоимость  $i$ -го средства.

Вместе с тем необходимо оценивать каждое средство и каждую функцию, которую он выполняет или обеспечивает ее реализацию в системе.

## 2. Набор функций

Каждое средство при обеспечении (реализации) функций системы обладает функциями, являющимися частью элемента общей функции, так что можем сформировать общую систему в виде матрицы, представленную в таблице 1.

Таблица 1. Матрица функций системы БАС.

средство	Функция					
	1	2	...	$j$		$K$
1	$f_{1,1}$	$f_{1,2}$		$f_{1,j}$		$f_{1,K}$
2	$f_{2,1}$	$f_{2,2}$		$f_{2,j}$		$f_{2,K}$
...						
$i$	$f_{i,1}$	$f_{i,2}$		$f_{i,j}$		$f_{i,K}$

средство	Функция					
	1	2	...	$j$		$K$
$N$	$f_{N,1}$	$f_{N,2}$		$f_{N,j}$		$f_{N,K}$

В матрице  $j$  – номер функции, выполняемой некоторым средством в интересах функционирования системы, а  $f_{i,j}$  – параметр, описывающий степень, качество функции  $i$ -м средством.

Можно представить вырожденные случаи построения системы. Первый случай – система строится из однотипных средств, тогда все средства должны быть многофункциональными и обладающими всеми функциями  $f$  в одинаковой мере. Вторым – система строится из набора однофункциональных средств,  $i$ -е средство способно выполнять только  $j$ -ю функцию. Тогда матрица может быть сведена к диагональной.

Возможен более общий случай, когда различные средства могут выполнять несколько функций, но с различной степенью эффективности.

В первом случае, если бы все средства были однотипными и обладали одинаковыми наборами свойств для выполнения функций, то задача выбора минимального набора средств, которые обеспечивали бы работоспособность системы, упрощается. Стоимость такой системы будет рассчитана как

$$C = N C_1,$$

где  $C$  – стоимость системы из  $N$  средств;  $C_1$  – стоимость одного средства.

Оптимизировать набор средств в данном случае требуется лишь по одному критерию – минимальному количеству  $N$ , которых необходимо для выполнения всех функций, для которых создается система  $S$ .

### 3. Гетерогенная система беспилотных авиационных средств

В общем случае рассмотрим вопрос о формировании группы из средств ориентированных на решение нескольких задач для обеспечения функционирования системы.

Задача оптимизации системы сводится к следующей модели

$$\begin{cases} C \rightarrow \min \\ C_i = C_i^* + \sum_{k=1}^K C_i^k, \\ F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K f_{i,j} \\ f_i \rightarrow \min \sum_{j=1}^K f_{i,j} \end{cases},$$

Таким образом получаем оптимизационную задачу минимизации критерия стоимости при одновременной минимизации количества средств, которые необходимы для наличия  $j$ -й функций в системе.

Очевидно, что постановка задачи в данном виде не отражает выполнение конечной задачи и цели, ради которой создается система, однако может являться одной из типовых постановок при формировании базового набора средств для системы, аналогично [4-6].

### 4. Заключение

В работе представлена формализация задачи формирования системы роботизированных авиационных средств. Представлен подход к оптимизации системы состоящей

из набора беспилотных средств на основе минимизации критерия стоимости системы в целом.

В дальнейшем предполагается развитие представленного подхода к конкретной системе беспилотных средств, в первую очередь при создании беспилотной авиатранспортной системы. Кроме того, в работе не рассмотрены вопросы частичной реализации функций, а также ограничения, накладываемые на управляемость системы беспилотных средств, а также на возможность ее переконфигурации и перераспределения функций (задач) в ходе выполнения миссий.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (19-08-00331).

## Список литературы

1. Екимов А.И., Кутахов В.П., Пляскота С.И. Перспективные направления развития беспилотной авиационной техники // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 2 (92). С. 104-112.
2. Кутахов В.П., Беляев М.Ю., Попов А.П., Екимов А.И. О проблемных вопросах создания системы испытаний комплексов с БЛА // Юбилейная научно-техническая конференция «45 лет испытательно-моделирующему комплексу ГосНИИАС». Сборник докладов. 2017. С. 20-24.
3. Кутахов В.П., Пляскота С.И. Информационное взаимодействие в крупномасштабных робототехнических авиационных системах // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD '2017. Материалы Десятой международной конференции: в 2-х томах. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2017. С. 93-96.
4. Ананьев П.П., Мещеряков Р.В., Костеренко В.Н., Ким М.Л., Концевой А.С. Управление РТК для мониторинга и обследования подземных выработок // Прогресс транспортных средств и систем – 2018. Материалы международной научно-практической конференции. Под редакцией И.А. Каляева, Ф.Л. Черноусько, В.М. Приходько. 2018. С. 164-165.
5. Meshcheryakov Y., Meshcheryakov R. Automated system of monitoring and positioning of functional units of mining technological machines for coal-mining enterprises // MATEC Web of Conferences 13 “13th International Scientific-Technical Conference on Electromechanics and Robotics “Zavalishin's Readings” - 2018”. 2018. P. 3017.
6. Chueshev A., Melekhova O., Meshcheryakov R. Cloud robotic platform on basis of fog computing approach // Lecture Notes in Computer Science. 2018. Vol. 11097 LNAI. P. 34-43.