

А.И. Бакланов [и др.]. // Космическая техника и технологии. – 2020. – № 4. – С. 5-20.

3. Куренков, В.И. Основы проектирования космических аппаратов оптико-электронного наблюдения поверхности Земли: учебное пособие / В.И. Куренков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 461 с.

УДК 528.837:629.78. УДК 621.003.

А.С. Кучеров, Е.А. Пупков

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ВЫБОРА ВАРИАНТА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Введение. При выборе прототипа космического аппарата (КА) или его целевой аппаратуры возникает проблема, которая заключается в том, что различные характеристики КА-аналогов удовлетворяют предъявляемым требованиям в разной степени. Поэтому возникает задача многокритериальной оптимизации, не имеющая, как известно, математического решения, и выход заключается в выборе рационального варианта на основе разумного компромисса.

Постановка задачи и методика решения. Рассматривается следующая задача: выбрать прототип оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) для КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с высоким решением на местности по трём альтернативным критериям:

- максимальное линейное разрешение на местности L ;
- максимальная ширина полосы обзора B ;
- минимальная масса оптико-электронной аппаратуры m .

В результате анализа двадцати девяти КА ДЗЗ, для которых известны значения указанных параметров, методом кластерного анализа [1] была выделена группа КА, характеристики ОЭА которых приведены в табл. 1.

Для выбора варианта ОЭА, в наибольшей степени удовлетворяющего рассматриваемой системе критериев, следует прибегнуть к построению множества Парето. В случае дискретного множества альтернатив для этого может использоваться метод прямоугольников [2].

Табл. 1. Характеристики ОЭА рассматриваемых КА ДЗЗ

№	КА	L , м	B , км	m , кг
1	Pleiades-1B	0,7	20	195
2	Cartosat-2A	0,8	9,6	120
3	Ikonos	0,82	11,3	171
4	Kompsat-3	0,7	15	80
5	Kompsat-3A	0,55	12	80
6	ASNARO	0,5	10	97

Для двух показателей эффективности этот метод допускает простую наглядную интерпретацию. Пусть рассматривается двухкритериальная задача, в которой необходимо минимизировать оба показателя эффективности W_1 и W_2 . Вначале ищется самая левая точка в множестве показателей (множестве достижимости); если таких точек несколько, то выбирается самая нижняя из них. Через неё проводятся горизонталь и вертикаль. Затем ищется самая нижняя точка; если таких точек несколько, то выбирается самая левая из них. Через неё также проводятся горизонталь и вертикаль. Выбранные точки являются образами точек из множества Парето. Точки, не попавшие внутрь полученного прямоугольника, отбрасываются, и операция продолжается для оставшихся точек до полного их исчерпания. Для случая, изображённого на рис. 1, на множество Парето отобразятся точки 1, 2, 3, 4, 5, 6. Данный метод применим при любом числе критериев, с точностью до возможности его визуализации.

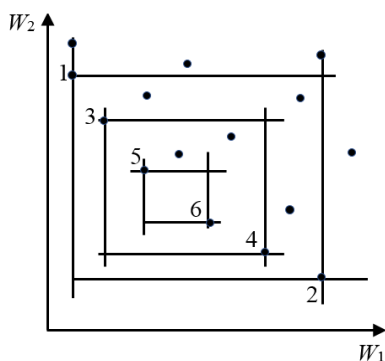


Рис. 1. Иллюстрация к методу прямоугольников

Для рассматриваемой задачи множество Парето, построенное методом прямоугольников в системе *MATLAB*, включает варианты 1, 4, 5 и 6 (см. табл. 1). Выбор предпочтительного варианта на множестве Парето требует привлечения дополнительной информации о системе предпочтений лица, принимающего решения. Этот выбор может быть осуществлён с помощью метода идеальной точки [3, 4].

Точка *A* в пространстве рассматриваемых показателей эффективности называется идеальной, если она оптимальна сразу по всем критериям. Как правило, такой точки не существует, но для каждой реальной альтернативы можно определить расстояние до идеальной точки и выбрать ту из них, для которой это расстояние минимально. Метод идеальной точки сводит исходную многокритериальную задачу к однокритериальной задаче оптимизации.

Алгоритм метода выглядит следующим образом.

1. Для каждого показателя эффективности находится его оптимальное значение. Совокупность этих значений соответствует условной идеальной альтернативе.

2. Производится нормировка значений всех показателей для каждой альтернативы относительно его оптимального значения таким образом, чтобы идеальной альтернативе соответствовало значение, равное единице: если показатель желательно минимизировать, то минимальное по множеству альтернатив значение показателя делится на значение показателя для данной альтернативы, если же показатель желательно максимизировать, то показатель для данной альтернативы делится на максимальное по множеству альтернатив значение показателя.

3. Рассчитывается рейтинговая оценка каждой *j*-ой альтернативы R_j :

$$R_j = \sqrt{\sum_{i=1}^k \alpha_i (1 - \tilde{W}_{ij})^2},$$

где α_i – весовой коэффициент *i*-ого показателя эффективности, характеризующий степень его важности в системе предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР); $\alpha_i \in [0; 1]$, $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$ $\tilde{W}_{ij}$ – нормализованное значение *i*-ого показателя эффективности для *j*-ой альтернативы; *k*– общее число критериев.

4. Определяется рейтинг каждой альтернативы в порядке неубывания рейтинговых оценок, поскольку чем меньше значение оценки R_j , тем данная альтернатива ближе к идеальной.

Используем данный метод для выбора наилучшего варианта ОЭА на полученном множестве Парето. Нормализованные значения рассматриваемых показателей эффективности приведены в табл. 2.

Табл. 2. Нормализованные характеристики ОЭА из множества Парето

№	КА	$\tilde{L}$	$\tilde{B}$	$\tilde{m}$
1	Pleiades-1B	0,714	1,000	0,410
4	Kompsat-3	0,714	0,750	1,000
5	Kompsat-3A	0,909	0,600	1,000
6	ASNARO	1,000	0,500	0,825

Ввиду субъективности задания значений весовых коэффициентов α_i , используемых при выборе альтернативы методом идеальной точки, результат существенно зависит от системы предпочтений ЛПР, поэтому представляет интерес исследовать получаемое решение на устойчивость. Для этого в системе *MATLAB* был произведён расчёт с различными значениями весовых коэффициентов, которые варьировались в пределах от 0 до 1 с шагом 0,05. При этом проверялось выполнение условия $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$.

Были получены следующие результаты (рис. 2):

- ОЭА КА типа Asnaro не была выбрана как оптимальная альтернатива ни разу;

- ОЭА КА типа Pleiades выбрана в 9 % случаев;

- ОЭА КА типа Kompsat-3 выбрана в 45% случаев;

- ОЭА КА типа Kompsat-3A выбрана в 46% случаев.

Из полученных результатов можно заключить, что, независимо от системы предпочтений ЛПР, обоснованным представляется выбор в качестве оптимальной альтернативы оптико-электронной аппаратуры КА типа Kompsat-3 или Kompsat-3A.

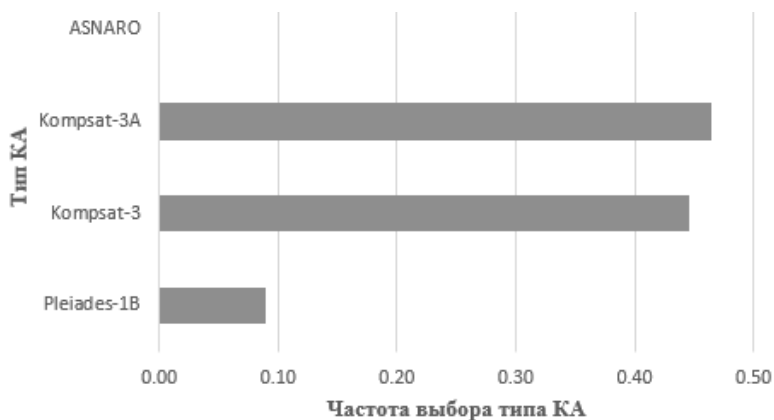


Рис. 2. Результаты выбора методом идеальной точки

Заключение. Последовательное построение множества Парето и использование метода идеальной точки позволяет выбрать вариант оптико-электронной аппаратуры КА ДЗЗ, в наибольшей степени удовлетворяющей заданной системе критериев.

Список использованных источников

1. Куренков, В.И. Методика построения регрессионных моделей для оценки масс элементов космических аппаратов с использованием кластерного анализа / В.И. Куренков, А.С. Кучеров, А.А. Якищук // Известия СНЦ РАН. – 2018. – №1. – С. 45-53.
2. Есипов, Б.А. Методы оптимизации и исследования операций. Конспект лекций: учеб. пособие / – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 179 с.
3. Краснощеков, П.С. Математические модели в исследовании операций. – М.: Знание, 1984. – 64 с.
4. Лотов, А.В. Многокритериальные задачи принятия решений: учеб. пособие / А.В. Лотов, И.И. Поспелова // – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.