

УДК 35.814

В.П. Котляров, А.Н. Косоков, М.М. Потемкин

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

*Изложен подход к оптимизации доставки грузов летательными аппаратами по критерию важности обслуживаемых объектов с учетом технических и пространственных ограничений. Для оценки важности объектов и ранжирования вариантов распределения средств доставки грузов предложено использовать метод анализа иерархий.*

Задача оптимизации доставки грузов в силу своей актуальности достаточно полно рассмотрена в рамках исследования операций [1]. В традиционной постановке она сводится к определению количества грузов, перевозимых из пунктов отправления в пункты назначения, которые обеспечивают минимизацию издержек (максимум прибыли) при условии вывоза грузов от всех поставщиков и удовлетворения запросов всех потребителей.

Применительно к доставке грузов летательными аппаратами (ЛА) с учетом большего числа влияющих факторов, таких, как типосостав самолетов, расположение аэропортов, количество авиалиний, коэффициент исправности самолетов каждого типа и количество перевозимых грузов на каждой авиалинии, максимальное число рейсов самолетов каждого типа по авиалиниям за заданный промежуток времени и других, задача обеспечения минимума себестоимости (максимума прибыли) сформулирована в работе [2] и решается как задача линейного программирования.

Однако на практике возможны ситуации, когда экономические факторы не играют преобладающей роли, а основной задачей является доставка заданного количества грузов на объекты различной важности с учетом различных технических и пространственных ограничений, а также недостаточного количества ЛА для обеспечения всех потребителей. Задачи такого типа могут возникать при обслуживании трудно доступных районов, районов стихийных бедствий и в других чрезвычайных ситуациях.

В соответствии с классификацией, приведенной в работе [3], такие задачи оптимизации относятся к несбалансированным дискретным задачам распределения, когда требуется не только распределить ресурсы, но и решить, какие работы вообще не выполнять.

Как известно [1], решение задач такого типа связано с трудностями принципиального характера, так как полный перебор, как правило, не осуществим, а дискретность переменных затрудняет использование многих эффективных приемов математического программирования. Поэтому авторами сделана попытка предложить подход к решению дискретной задачи оптимизации в следующей постановке.

Пусть есть  $I$  типов объектов, причем  $Q_i$  – количество объектов  $i$ -го типа. Каждый объект имеет важность  $W_{iq}$ . Необходимо так спланировать доставку грузов по объектам, чтобы

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^{Q_i} W_{iq} K_{iq} \rightarrow \max,$$

$$K_{iq} \in \{0,1\},$$

т.е.  $K_{iq}$  принимает значение 1, если на  $q$ -й объект  $i$ -го типа была спланирована доставка грузов, и 0 – в противном случае.

При этом должны быть выполнены следующие ограничения:

– по количеству ЛА, привлекаемых с каждого аэродрома:

$$\sum_{i=1}^l \sum_{q=1}^{Q_i} P_k D_{kjqilr} \leq N_{kj}, \quad (1)$$

$$j = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n,$$

где  $P_k$  – минимальное количество ЛА в группе, выполняющей задание;  $D_{kjqilr}$  – количество групп ЛА  $k$ -го типа, назначаемых с  $j$ -го аэродрома на  $iq$  объект для доставки груза  $l$ -го типа при полете с  $r$ -профилем, т.е. количество распределяемых ЛА с одного аэродрома не должно превышать суммарное количество ЛА на этом аэродроме (по типам);  $N_{kj}$  – количество ЛА  $k$ -го типа на  $j$ -м аэродроме;  $m$  – количество аэродромов;  $n$  – количество типов ЛА;

– по дальности полета

$$R_{klr} \geq L_{jq}, \quad (2)$$

т.е. если дальность полета  $k$ -го типа ЛА с грузом  $l$ -го типа по профилю  $R_{klr}$  меньше расстояния между  $j$ -м аэродромом и  $iq$ -м объектом  $L_{jq}$ , то средства доставки груза с  $j$ -го аэродрома на  $iq$ -й объект не назначаются;

– по количеству доставляемого груза с одного аэродрома

$$C'_{klr} P_k D_{kjqilr} \geq C_{lig}, \quad (3)$$

т.е. весь требуемый груз  $l$ -го типа на  $iq$ -й объект в количестве  $C_{lig}$  доставляется с одного аэродрома, при этом один ЛА  $k$ -го типа доставляет  $C'_{klr}$  количество груза  $l$ -го типа с  $r$ -профилем полета.

Таким образом, необходимо так определить количество ЛА, доставляющих требуемое количество грузов нужного типа на каждый объект с учетом варианта загрузки ЛА и профиля полета, чтобы суммарная важность обслуживаемых объектов была максимальной, причем варианты загрузки ЛА по типу грузов в сочетании с возможными профилями их полетов определяются характеристиками каждого типа ЛА.

Задачу целесообразно решать в несколько этапов.

На первом этапе с целью сокращения числа вариантов надо провести анализ расположения объектов и типов доставляемых к ним грузов. Объекты, расположенные достаточно близко и требующие доставки однотипных грузов, могут быть объединены [4].

На втором этапе необходимо определить степень важности объектов, т.е. задать значения  $W_{iq}$ . В тех случаях, когда оценка приоритетов затруднительна, целесообразно применить метод анализа иерархий [5], обеспечивающий получение численных значений важности объектов в зависимости от цели доставки грузов.

На третьем этапе путем анализа ограничений (1) – (3) исключаются из рассмотрения варианты, которые не могут быть реализованы технически.

На четвертом этапе одним из известных методов [1] – [3] формируют группу конкурирующих оптимальных вариантов распределения ЛА.

На заключительном этапе конкурирующие варианты могут сравниваться между собой по дополнительным критериям (например, по равномерности загрузки аэродромов, минимальной суммарной длине полетов и т.д.) или методом анализа иерархий.

Такой подход к решению задачи распределения, на наш взгляд, позволяет объединить в процессе планирования строгие математические методы и формализованный опыт специалиста, что способствует принятию более качественных решений.

### Список литературы

1. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 328 с.
2. Крушевский А.В. Справочник по экономико-математическим моделям и методам. – К.: Техніка, 1982. – 208 с.
3. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
4. Волкович В.Л., Волошин А.Ф., Заславский В.А. и др. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

Стаття надійшла до редакції 6 квітня 1998 року.



**Володимир Петрович Котлярів** (1954) закінчив Київський інститут ВПС в 1977 році. Кандидат технічних наук старший науковий співробітник, начальник Управління центрального науково-дослідного інституту. Автор більше 50 праць у галузі авіаційних тренажерів і багатозв'язних систем динаміки польоту.

**Volodymir P. Kotlyarov** (b. 1954) graduated from Kyiv Institute MAF (1977). PhD (Eng), senior scientific researcher, Head of Administration of Central Scientific Research Institute. Author of more than 50 publications in aviation simulators and multiconnected systems of flight dynamics.



**Олександр Миколайович Косошов** (1961) закінчив Харківське вище авіаційне інженерне училище в 1983 році. Має наукові праці в галузі моделювання процесів технічного обслуговування літальних апаратів при програмному плануванні системи технічної експлуатації.

**Olexandr M. Kosogov** (b.1961) graduated from Charkiv HAIS (1983). Author of several publications in the field of simulation of processes of technical maintenance of airplanes in program planning of technical maintenance.



**Михайло Михайлович Потьомкін** (1957) закінчив Київський політехнічний інститут (1980). Кандидат технічних наук. Науковий напрямок: чисельна оптимізація конструкцій апарата високого тиску з алмазними ковадлами.

**Mikhail M. Potyomkin** (b.1957) graduated from Kyiv Polytechnical Institute (1980). PhD (Eng), specializes in the field of numerical optimization of diamond anvil cell design.