

**Лозовский И. В.**  
**I. V. Lozovsky**

**О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАЦИЙ,  
ВЫПОЛНЯЕМЫХ ЛЕГКИМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

**MATHEMATICAL SIMULATION OF LIGHT AIRBORN VEHICLE'S OPERATIONS**



**Лозовский Иван Владимирович** – аспирант кафедры «Технология самолётостроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, пр. Ленина, 27. E-mail: Lozovsky@yandex.ru.

**Mr. Ivan V. Lozovsky** – PhD Candidate, Department of Aviation Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). Email: Lozovsky@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приведены типовые операции для легких летательных аппаратов. Описана система математических моделей летательного аппарата, особенности математического моделирования операций. Приведен вариант критерия эффективности выполнения операции.

**Summary.** The paper describes typical operations for light airborne vehicles. A system of mathematical models of an aircraft is described. The features of mathematical modeling of operations are described. An efficiency indicator for operation performance is proposed.

**Ключевые слова:** системный анализ, легкая авиация, математическое моделирование.

**Key words:** system analysis, light aviation, mathematical simulation.

УДК 656.7.076

В настоящее время в мире значительный интерес уделяется созданию легких летательных аппаратов, которые могут быть более выгодными с экономической точки зрения для выполнения ряда задач. Из поставленных задач применения легких летательных аппаратов наиболее востребованы следующие: патрулирование береговой линии; патрулирование продуктопроводов и линий электропередач; использование летательного аппарата в качестве административного транспорта; связные функции; воздушное такси; мониторинг транспортных потоков; аэрофотосъемка; мониторинг окружающей среды; контроль состояния лесных массивов; рыбоохрана; патрулирование государственных границ; снабжение геологических партий и разведывательных групп; поисково-спасательные работы; сельскохозяйственные работы; медицинская помощь.

Большинство задач можно отнести к одной из трёх типовых операций:

- 1) транспортной;
- 2) поисковой;
- 3) авиационно-химических работ.

Методология проектирования летательных аппаратов в последние годы претерпела существенные изменения, суть которых в основном состоит в следующем:

- методы системного анализа и синтеза стали использоваться практически на всех этапах проекторочных работ;
- относительный объём неформализованных (творческих) поисков рациональных проектных решений снизился благодаря расширению сферы применения математического моделирования и более четкому структурированию проектных процедур;

• процессы разработки проекта и создания математических моделей, проблемно-ориентированных программных комплексов в ряде случаев совмещены по времени, что обусловлено необходимостью использования новых физических эффектов и принципиально новых решений.

Система математических моделей должна включать в себя (см. рис. 1):

- модель летательного аппарата;
- модель операции;
- расчет экономического эффекта (экономическая модель).

Задача моделирования летательного аппарата заключается в определении летно-технических характеристик, т.е. основывается на аэродинамическом расчете, массово-компоновочном расчете, расчете динамики полёта, расчете взлётно-посадочных характеристик. Модель учитывает тип и схему летательного аппарата.

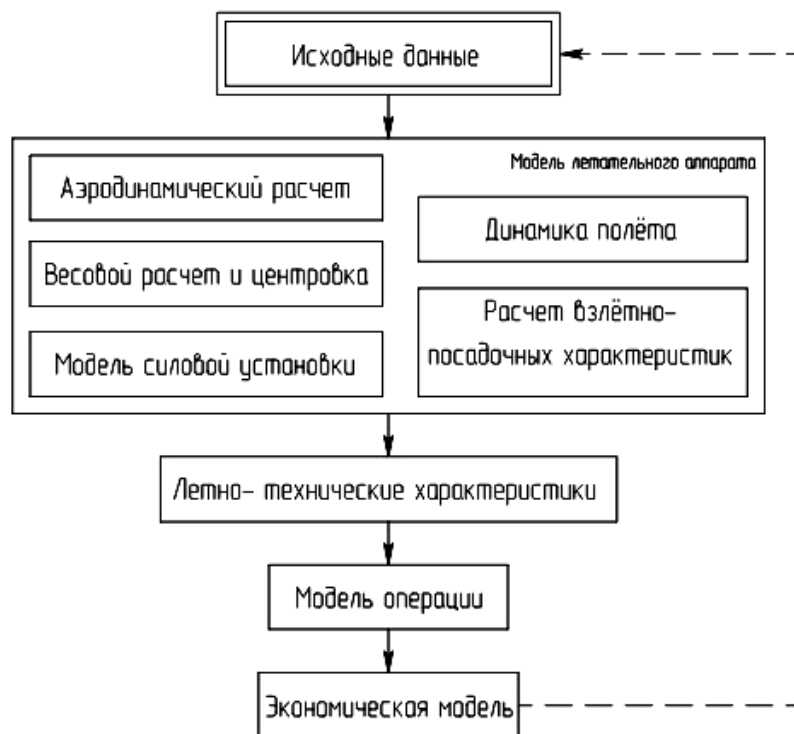


Рис. 1. Блок-схема взаимосвязей математических моделей  
(стрелками показаны потоки исходных данных)

Модель операции (модель функционирования) разрабатывается на основе построенной схемы операции в виде ряда последовательных этапов (шагов) и совокупности элементарных действий составляющих её элементов. Увеличивая глубину проработки модели операции, можно провести более детальный анализ различных вариантов, но это приводит к резкому росту затрат времени на поиск и подготовку исходной информации. Уменьшение же размерности модели операции приводит к потере части информации и, как следствие, к нерациональным проектным решениям на выходе. Модель операции должна учитывать особенности ландшафта, климата, инфраструктуры.

На рис. 2 представлена схема транспортной операции, где выделяются следующие этапы: два наземных участка (А-а1, а2-Б); взлет и набор высоты (а1-1); воздушный участок (1-2); заход на посадку и посадка (2-а2); погрузка, разгрузка в точках а1 и а2.

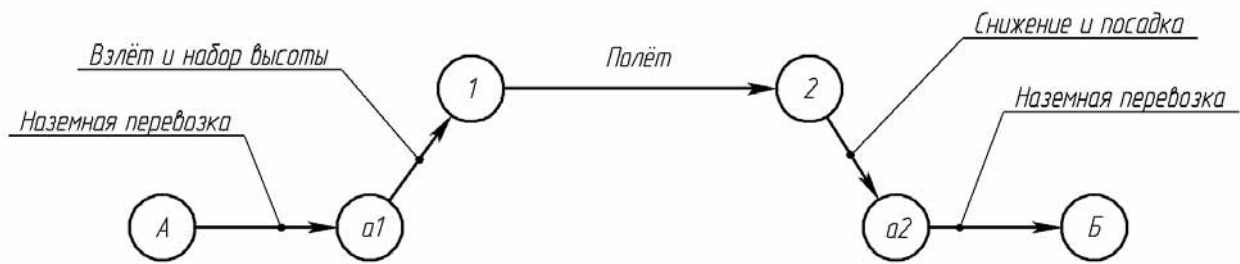


Рис. 2. Схема транспортной операции

На рис. 3 представлены схемы двух видов поиска (поиск в заданной зоне и поиск на рубеже). Поиск представляет обследование заданного района для обнаружения объекта или установления его отсутствия. Он проводится в тех случаях, когда нет данных о месте нахождения объекта на определённый момент времени.

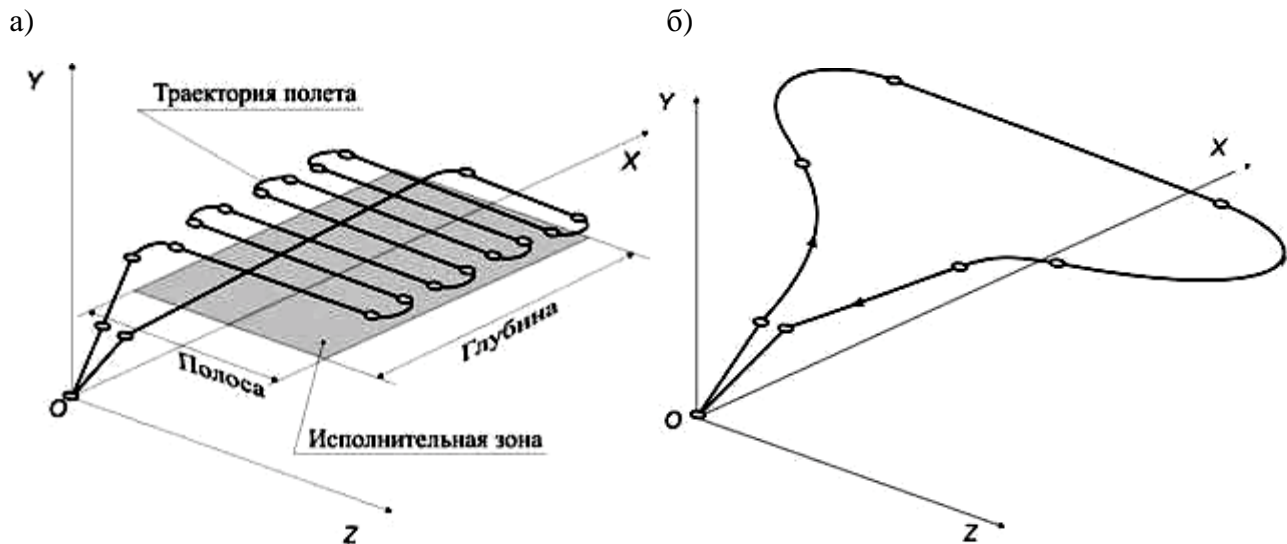


Рис. 3. Схема поисковой операции: а – поиск в заданной зоне; б – поиск на рубеже

Этапы операции поиска аналогичны этапам транспортной операции. На этапе непосредственного поиска (аналогичен этапу 1-2 транспортной операции, см. рис. 2) рассматривается производительность поиска. Для первого случая определяется площадь поиска (исполнительной зоны), для второго – длина рубежа:

$$W = Ш_{п.о} \cdot v_{po},$$

$$Ш_{п.о} = (N_n - 1) d_n + 2D_{об},$$

$$v_{po} = k_v (v_n + v_{ц}),$$

где  $Ш_{п.о}$  – эффективная полоса обнаружения;  $N_n$  – количество наблюдателей;  $D_{об}$  – диаметр зоны обнаружения;  $d_n$  – расстояние между наблюдателями;  $v_{po}$  – средняя относительная скорость поиска;  $k_v$  – коэффициент скорости;  $v_n$  – скорость наблюдателя;  $v_{ц}$  – скорость цели. Коэффициент скорости определяется по формуле

$$k_v = 0,446 \left( \frac{v_n}{v_{ц}} \right)^2 - 0,789 \frac{v_n}{v_{ц}} + 0,989.$$

**Лозовский И. В.**

**О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАЦИЙ,  
ВЫПОЛНЯЕМЫХ ЛЕГКИМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

Диаметр зоны обнаружения характеризуется используемыми средствами наблюдения, например: радиолокацией, оптическими приборами, а также помехами в данном диапазоне (в том числе и погодными условиями).

Технология выполнения авиационно-химических работ заключается в последовательном нанесении параллельных полос химикатов на обрабатываемый участок. Схема операции представлена на рис. 4.

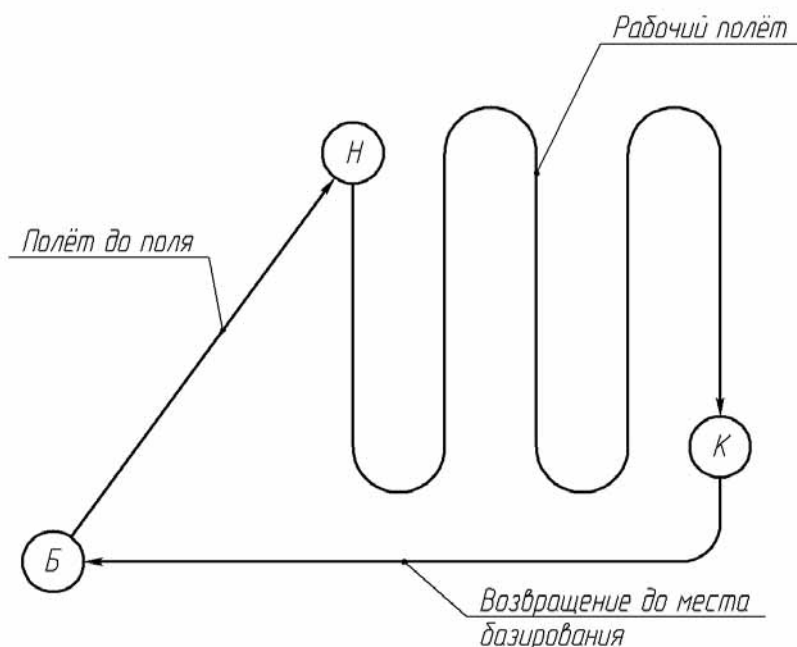


Рис. 4. Схема операции авиационно-химических работ

Особенностью авиационно-химических работ является то, что рабочая высота полёта составляет  $H_{\text{раб}} = 5 \dots 20$  м, в зависимости от рельефа, в конце каждого прохода (гона) необходимо выполнить разворот. Моделирование данной операции показывает, что большое время тратится на развороты (до 50 %) и перелёт с места базирования до обработки и обратно (до 30 %). Уменьшение этих показателей ведёт к увеличению эффективности операции.

Модель оценки экономических показателей разрабатываемого летательного аппарата определяет финансовые, материальные и людские затраты на всём протяжении жизненного цикла системы (разработка, изготовление, эксплуатация, утилизация).

Рассмотрим транспортную операцию, выполняемую различными летательными аппаратами с одинаковой полезной нагрузкой. Критерием оценки такой операции может служить критерий Д. Л. Томашевича:

$$\Theta = \frac{P}{B},$$

где  $\Theta$  – эффективность летательного аппарата;  $P$  – транспортная работа летательного аппарата;  $B$  – затраты на всём протяжении жизненного цикла системы. Таким образом, чем больше значение  $\Theta$ , тем летательный аппарат более эффективен для эксплуатанта.

Результаты моделирования представлены на рис. 5, где показан график зависимости эффективности транспортной операции от дальности полёта для различных летательных аппаратов.

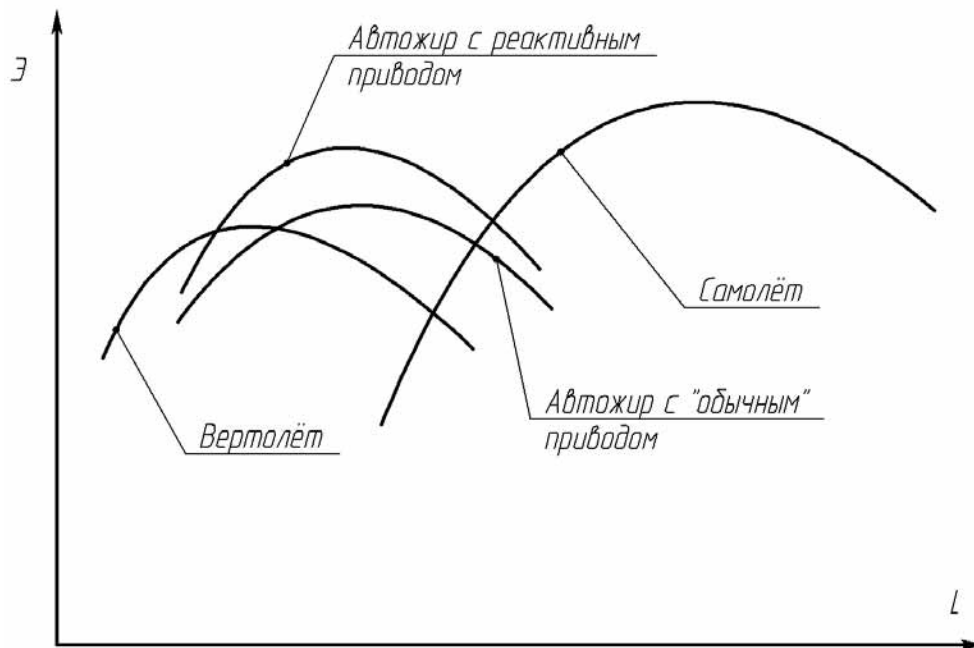


Рис. 5. Зависимость эффективности транспортной операции от дальности полёта различных летательных аппаратов

Полученная функция может использоваться в качестве целевой как при проведении предварительных расчетов, так и при проведении оптимизационного проектирования, поскольку для каждого летательного аппарата существует своя зона ограничений максимальных значений эффективности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по исследованию операций / В. А. Абчук [и др.]; под общ. ред. Ф. А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.: ил.
2. Гуляев, В. В. Математическое моделирование при формировании облика летательного аппарата / В. В. Гуляев, О. Ф. Демченко, Н. Н. Долженков. – М.: Машиностроение / Машиностроение-Полёт, 2005. – 496 с.
3. Сарымсаков, Х. Г. Сельскохозяйственные самолёты / Х. Г. Сарымсаков. – М.: Машиностроение, 1979. – 184 с.
4. Саркисян, С. А. Экономическая эффективность перевозок грузов воздушным транспортом / С. А. Саркисян, Э. С. Минаев, П. А. Нечаев. – М.: Транспорт, 1984. – 168 с.