

УДК 004.023

М.А. Павленко, Д.А. Пархоменко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫБОРА МАРШРУТА ПОЛЕТА УДАРНОЙ АВИАЦИИ

*Предложен метод решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута полета к цели ударной авиации. Рассматриваемая задача сводится к задаче поиска кратчайшего пути на графе. Разработано формальное описание движения ударной авиации к цели. Предложен подход к оценке количества топлива, которое необходимо потратить для достижения цели. Кратчайшее расстояние между вершинами графа находится с использованием алгоритма Дейкстры. Рассмотрен пример реализации предлагаемого метода при выборе маршрута полета к цели фронтового бомбардировщика Су-24. Использование данного метода возможно при разработке средств автоматизации процесса выбора маршрута в перспективных комплексах средств автоматизации пунктов управления авиацией.*

**Ключевые слова:** управление полетом, ударная авиация, алгоритм Дейкстры, маршрутизация, маршрут, управление воздушным движением.

### Введение

**Постановка проблемы.** В условиях быстротечности современных боевых действий и высокой мобильности средств вооруженной борьбы возрастают требования к качеству оперативно-тактических расчетов, которые являются основой планирования авиационного удара. Особое внимание необходимо уделить выбору методического аппарата, который используется для выбора рационального маршрута полета к цели ударной авиации [1]. Поэтому развитие методического аппарата автоматизации процесса прокладки маршрута полета к цели ударной авиации является актуальной научной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В известной литературе решение задачи автоматизации процесса выбора маршрута полета к цели ударной авиации не рассматривалось. Однако в [2] рассматривалась задача трассировки движения мобильного робота по построению рельефа. Карта представляется в виде графа, определяются запрещенные – непроходимые зоны, разработан алгоритм поиска кратчайшего пути на основе принципа оптимальности Беллмана. В работе [3] предложена методика расчета оптимальной траектории аэродинамических объектов по критерию минимума интегрального показателя, характеризующего вероятность обнаружения и полетное время. Задача поиска оптимальной траектории сводится к поиску кратчайшего пути между двумя узлами графа, для чего предлагается использовать волновой алгоритм. Однако методика, предложенная в [2] предлагает расчет для постоянной высоты и постоянной скорости полета, что ограничивает возможности ее применения для автоматизации процесса прокладки маршрута полета к цели ударной авиации. Рассмотренные методы для решения задачи ограничены в своих возможностях. Это определяет

необходимость и актуальность решения задачи прокладки маршрутов для ударной авиации в процессе планирования ударов по наземным целям.

**Цель статьи.** Разработка метода автоматизации процесса выбора рационального маршрута движения воздушного объекта в условиях дефицита времени.

### Основной материал исследования

Как известно, маршрут полета выбирается с учетом действий вооруженных сил противоборствующих сторон, установленного коридора пролета линии фронта, рельефа местности, расположения ударных средств противника. При полете к цели следует обходить районы, прикрытые зенитными ракетными комплексами малой и средней дальности, а также зенитной артиллерией [4]. Кроме того, маршрут, выбранный для полета к цели, должен обеспечить надежное и точное самолетовождение в условиях сильного противодействия со стороны противника, а также досягаемость цели для ударной авиации в различных условиях [4].

Определим пространство поиска маршрута, которое будет ограничено: по дальности – тактическим радиусом действия самолета, по ширине – установленным коридором пролета линии фронта, по высоте – практическим потолком полета самолета.

Разобьем пространство поиска на элементы. Выбор размера пространственного элемента с одной стороны будет определять точность решения задачи – чем меньше элемент, тем точнее. С другой стороны размер элемента ограничен способностью самолета выполнить маневр достижения соседнего элемента с допустимой перегрузкой. Из соображений симметрии длина элемента равна ширине. Высота пропорциональна длине с коэффициентом пропорциональности равно отношению вертикальной скорости набора высоты к истинной скорости набора высоты.

Считая центр каждого элемента точкой маршрута, получим граф  $G(V,E)$ ,  $V$  — множество вершин графа,  $E$  — множество ребер графа. Каждая вершина (за исключением вершин принадлежащих граничным элементам пространства поиска) соединена с 26 вершинами прилегающих элементов дугами.

Весы дуг равны количеству топлива, потраченому на достижение соседней точки маршрута. Расход топлива определяется по расстоянию между центрами соседних элементов, с учетом разности по высоте, без учета маневра внутри элемента. Топливо, потраченное на маневр внутри элемента, с целью для упрощения расчета предлагается учесть после окончания расчета маршрута.

При наличии зон, запрещенных для полета — вершины графа, соответствующие элементам запрещенной зоны, не имеют ветвей. Такими зонами могут быть: элементы рельефа местности, запрещенные зоны, объекты, полет над которыми запрещен и др. [4].

Для решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута движения воздушных объектов используем алгоритм Дейкстры [5]. Выбор алгоритма обусловлен возможностью учета особенностей рассматриваемой задачи, а именно наличие начальной вершины графа и отсутствие ребер графа отрицательного веса, минимальным временем поиска маршрута [5]. Рассмотрим особенности работы алгоритма для решения данной задачи.

Инициализация алгоритма. Метка начальной вершины полагается равной 0, метки остальных вершин — бесконечности. Это отражает то, что расстояния от начальной вершины до других вершин пока неизвестны. Все вершины графа помечаются как не обработанные.

Шаг алгоритма. Если все вершины обработаны, алгоритм завершается. В противном случае, из еще не обработанных вершин выбирается вершина, имеющая минимальную метку. Рассматриваются всевозможные маршруты, в которых выбранная вершина является предпоследним пунктом. Вершины, в которые ведут ребра из нее, назовем соседями этой вершины. Для каждого такого соседа, кроме отмеченных как обработанные, рассмотрим новую длину пути, равную сумме значений текущей метки выбранной вершины и длины ребра, соединяющего ее с этим соседом. Если полученное значение длины меньше значения метки соседа, заменим значение метки полученным значением длины. Рассмотрев всех соседей, пометим выбранную вершину как посещенную и повторим шаг алгоритма.

Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены. Сложность рассмотренного алгоритма составляет  $O(n^2)$ , где  $n$  — это количество вершин графа [4]. На рис. 1 представлен метод решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута полета к цели ударной авиации.

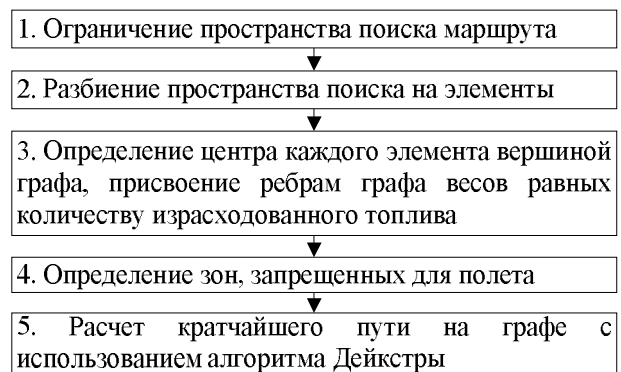


Рис. 1. Метод решения задачи автоматизации выбора маршрута полета к цели ударной авиации

В качестве примера рассмотрим выбор маршрута полета к цели фронтового бомбардировщика Су-24 с боевой нагрузкой восемнадцать бомб ФАБ-250М-54. Взлетная масса 36510 кг. Заправка топлива 9430 кг. Показатель лобового сопротивления (ПЛС) — 270 [6].

Ограничим пространство поиска маршрута. Тактический радиус действия Су-24 с указанной боевой нагрузкой 320 км [6]. Коридор пролета линии фронта [4] — 120 км. Практический потолок Су-24 с указанной массой и ПЛС — 5,5 км [6].

Разобьем пространство поиска на элементы. В рассматриваемом примере длина элемента — 10 км, что позволяет Су-24 при необходимости совершить маневр внутри элемента [6]. Высота элемента — 1,1 км [6].

Количество вершин графа  $n = 2574$ .

Расчет маршрута полета к цели самолета Су-24 занимает около 2 минут. Выбор маршрута возвращения после выполнения боевого задания на аэродром выполнен аналогично. Расчет топлива: работа двигателей на земле 7 мин — 245 кг, набор высоты 3700 м — 1250 кг, полет к цели — 2610 кг, маневр в районе цели — 1500 кг, полет от цели — 1680 кг, снижение с высоты 7800 м — 110 кг, для захода на посадку (10 мин) — 900 кг, гарантированный технический запас 7% — 660 кг, навигационный запас 5% — 475 кг.

Проиллюстрируем работу метода в условии отсутствия противодействия противника (в отсутствии зон запрещенных для пролета). Вертикальный профиль полета (рис. 2) рассчитанного маршрута соответствует профилю полета на максимальную дальность, что подтверждает правильность расчета. Горизонтальный профиль полета в простых условиях — прямая линия.

Проиллюстрируем работу алгоритма при наличии зоны, запрещенной для полета. Вертикальный профиль полета (рис. 3) соответствует профилю полета на максимальную дальность. Горизонтальный профиль полета (рис. 4) — огибает зону, запрещенную для полета.

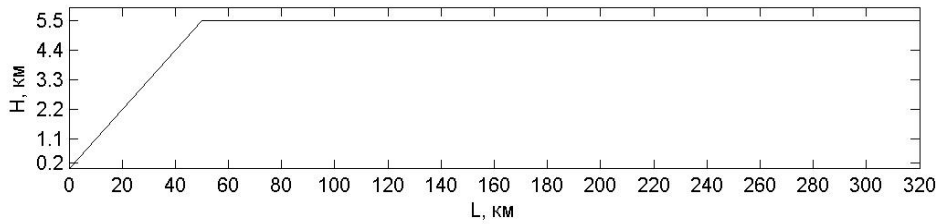


Рис. 2. Вертикальный профиль полета рассчитанного маршрута

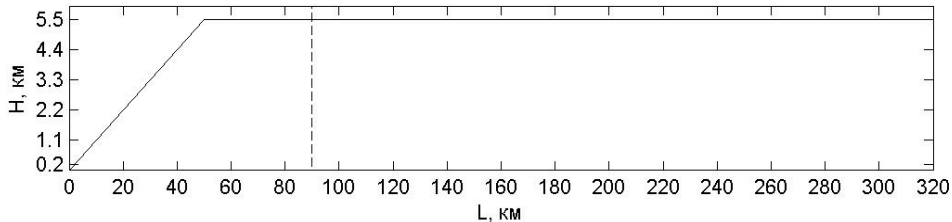


Рис. 3. Вертикальный профиль полета рассчитанного маршрута при наличии зоны, запрещенной для полетов: — - маршрут; - - - - зона, запрещенная для полета

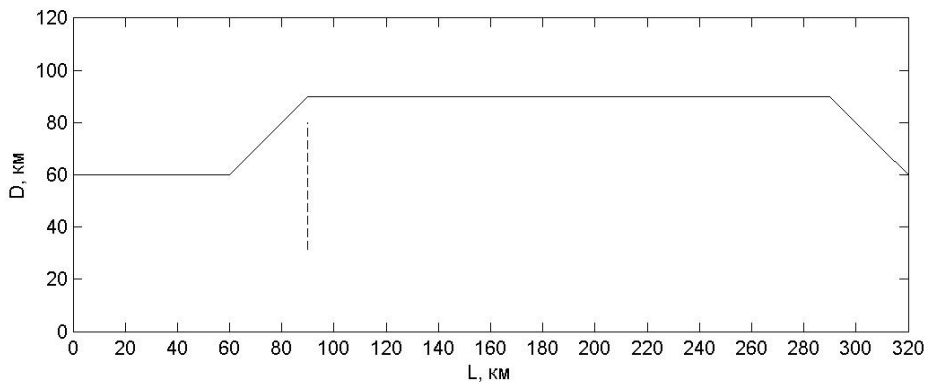


Рис. 4. Горизонтальный профиль полета при наличии зоны, запрещенной для полетов: — - маршрут; - - - - зона, запрещенная для полета

## Выводы

Рассмотрена задача автоматизации процесса выбора маршрута полета к цели ударной авиации. Предложенный метод возможно использовать при разработке средств автоматизации процесса выбора маршрута в перспективных комплексах средств автоматизации пунктов управления ударной авиацией. Однако выбранный маршрут, как правило, проходит через зоны, которые желательно, но не всегда возможно облететь – эти зоны невозможно обозначить как запрещенные. Поэтому перспективным направлением дальнейших исследований будет формализация различных видов зон, не желательных для пролета. Это позволит задавать сложные конфигурации пространства с различными свойствами, в которых необходимо производить поиск решения, что повысит качество описания условий в которых осуществляется поиск решений.

## Список литературы

1. Методическое пособие расчетам командных пунктов фронтовой истребительной и истребительно-бомбардировочной авиации [Текст] – М.: Воениздат, 1969. – 480 с.

2. Ларкин, Е.В. Метод трассировки движения мобильного робота по построению рельефа [Текст] / Е.В. Ларкин, Ву Зуй Нехиа // Журн. Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 7-2. – С. 136 – 140.

3. Леценко, С.П. Методика расчета оптимальной траектории полета воздушных объектов по критерию минимума вероятности обнаружения [Текст] / С.П. Леценко, М.П. Батурицкий, Д.Ю. Свистунов // Системы обработки информации. – X.: ХУПС, 2005. – Вып. 2(42). – С 103-110.

4. Борсук, А.Ф. Развитие тактики родов фронтовой авиации в годы Великой Отечественной войны, значение опыта войны для современности [Текст] / А.Ф. Борсук // Роль Военно-воздушных Сил в Великой Отечественной войне 1941–1945: материалы IX военно-научной конференции ВВС. – М., 1986. – 448 с.

5. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е издание [Текст] / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – М.: Вильямс, 2013. – 1328 с.

6. Инструкция по расчету дальности и продолжительности полета самолета Су-24 с двумя двигателями АЛ-21Ф-3 [Текст]: утв. командиром войсковой части 15650 23.05.78. – М.: Воениздат, 1979. – 112 с.

Поступила в редколлегию 21.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук ст. научн. сотр. Е.А. Украинцев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

**МЕТОД ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ МАРШРУТУ  
ПОЛЬОТУ УДАРНОЇ АВІАЦІЇ**

М.А. Павленко, Д.О. Пархоменко

*Запропоновано метод рішення завдання автоматизації процесу вибору маршруту польоту до цілі ударної авіації. Розглянуте завдання зводиться до завдання пошуку найкоротшого шляху на графі. Розроблено формальний опис руху ударної авіації до цілі. Запропоновано підхід до оцінки кількості палива, яке необхідно витратити для досягнення цілі. Найкоротша відстань між вершинами графа шукається з використанням алгоритму Дейкстри. Розглянуто приклад реалізації запропонованого методу при виборі маршруту польоту до цілі фронтового бомбардувальника Су-24. Використання даного методу можливо при розробці засобів автоматизації процесу вибору маршруту в перспективних комплексах засобів автоматизації пунктів управління ударною авіацією.*

**Ключові слова:** управління польотом, ударна авіація, алгоритм Дейкстри, маршрутизація, маршрут, управління повітряним рухом.

**METHOD OF SOLVING THE PROBLEM OF AUTOMATION OF THE SELECTION PROCESS  
OF FLIGHT PATH OF STRIKE AIRCRAFT**

M.A. Pavlenko, D.A. Parkhomenko

*A method is proposed for solving the problem of automation of the selection process of flight path to the target of strike aircraft. The problem reduces to the problem of finding the shortest path on a graph. The formal description of the motion of strike aircraft to the target. An approach to estimating the amount of fuel that must be spent to achieve the goal. The shortest distance between vertices of the graph is found using Dijkstra's algorithm. An example of the proposed method for choosing the route of flight to the target Su -24. Using this method it is possible the development of automation in the process of selecting a route perspective complex of automation of command and control attack aircraft.*

**Keywords:** flight control, strike aircraft, Dijkstra's algorithm, routing, route, air traffic control.