

УДК: 51-7

# ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТА ПОЛЁТА ДО ЗАПАСНОГО АЭРОПОРТА И ЗАХОДА НА ПОСАДКУ В ЭКСТРЕННОЙ СИТУАЦИИ

**Д.А. Гальшев**

*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем*  
Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7  
E-mail: dagalishev@2100.gosniias.ru

**О.А. Хахалева**

*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем*  
Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7  
E-mail: oahahaleva@2100.gosniias.ru

**Л.П. Ракова**

*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем*  
Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7  
E-mail: lprakova@2100.gosniias.ru

**А.Г. Легран**

*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем*  
Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7  
E-mail: andrey\_legran@2100.gosniias.ru

**Ключевые слова:** гражданская авиация, маршрут захода на посадку, AUTOLAND.

**Аннотация:** В настоящей работе автор описывает разрабатываемые процедуры модуля автоматической посадки самолета в части решения задачи многокритериальной оптимизации и поиска оптимального маршрута для посадки самолета в экстренной ситуации.

## 1. Введение

В настоящее время актуальной задачей является автоматизация многих процессов во всех отраслях. В авиации делается акцент на перенос части функционала, исполняемого человеком, на бортовые системы. Подобный функционал должен отвечать требованиям надежности и безопасности, предлагая результат не хуже, чем результат работы человека, также в случае наступления экстренной ситуации. Бортовые системы должны обеспечить безопасность ухода самолета на посадку на подходящий ближайший аэродром, для чего необходима реализация функционала, способного обеспечить определение маршрута посадки.

## 2. Обоснование работы модуля AUTOLAND

## 2.1. Обоснование для выполнения

Допустим, что на борту самолета возникла критическая ситуация, требующая скорейшей посадки в ближайшем подходящем аэропорту. Подобная ситуация должна контролироваться со стороны бортовых систем. Для разрешения данной проблемы необходим модуль автоматической посадки самолета (AUTOLAND) с функционалом, способным выбрать оптимальный аэропорт и ВПП посадки, рассчитать маршрут посадки самолета, передать его в систему самолетовождения и согласовать со службами УВД для выполнения скорейшей посадки в случае получения сигнала об обнаружении экстренной ситуации.

Выбор оптимального маршрута необходимо начинать с выбора критериев оптимальности. Далее необходимо определить доступные аэропорты, провести их анализ и анализ состояния и параметров каждой из ВПП, для выбранной ВПП определить процедуры посадки и построить маршрут до начала данных процедур. Рассмотрим каждый из этих этапов.

## 2.2. Выбор критериев оптимальности маршрута

Среди множества возможных вариантов маршрутов посадки самолета необходимо выбрать наиболее допустимый в представленной ситуации. Для этого необходимо создать множество таких маршрутов и сравнить их по различным критериям. Одним из важных критериев является время, необходимое самолету для посадки в выбранном ближайшем аэропорту. Предварительный упрощенный расчет времени выполняется с учетом данных ветра на эшелоне, для чего дистанция до аэропорта рассчитывается по ортодромии. Самым быстрым будет маршрут прямо на точку захода на посадку, однако он не всегда будет самым оптимальным и безопасным. В целях обеспечения безопасности полета участников воздушного движения следует выбрать маршрут, исходя из данных по авиатрассам, с последующим согласованием данного маршрута посадки со службами УВД, используя сервис передачи данных CPDLC. В существующих условиях применяется оценка времени полета по маршруту посадки.

В каждом потенциальном аэропорту посадки может находиться одна или более работающих ВПП с различными параметрами, влияющими на возможность использования их для посадки самолета. Эти параметры также необходимо оценить, это длина ВПП, коэффициент сцепления, ветер на ВПП, влияющий на запас посадочной дистанции, который рассчитывается исходя из прогнозируемого посадочного веса ВС, ветра и коэффициента сцепления на ВПП.

Категория посадки, вес самолета, погодные условия в аэропорту также влияют на принятие решения о посадке.

Большинство данных с параметрами ВПП для аэропортов предоставляются в периодических донесениях METAR по сети ACARS.

Вес критериев при выборе аэропорта и ВПП посадки задается на основе экспертной оценки.

## 2.3. Выбор аэропорта и ВПП для захода на посадку

Для выбора оптимального аэропорта посадки необходимо определить количество доступных аэропортов, ограничив зону поиска по максимальному расстоянию, которое может пролететь самолет на остатке топлива. Из сформированного списка необходимо выбрать те аэропорты, которые способны обслуживать тип самолета, для которого производится данный поиск. Например, для самолетов малой авиации доступны почти все существующие аэропорты, а для больших транспортных самолетов – лишь небольшая их часть.

Имея список доступных аэропортов, данные о ВПП этих аэропортов, а также критерии оптимальности, решение задачи поиска оптимального аэропорта сводится к решению задачи многокритериальной оптимизации.

Решим задачу с помощью метод простого аддитивного взвешивания:

- выделим используемые критерии ( $x_{ij}$ , где  $i$  – количество критериев,  $j$  – количество ВПП всех выбранных аэропортов) оптимальности, которые были указаны выше;
- определим абсолютные значения показателей для каждой ВПП;
- выполним поиск минимального или максимального значений ( $p_{ij}$ ) для каждого показателя;

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \text{ или } p_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}};$$

- на основе экспертной оценки назначим каждому из критериев собственный весовой коэффициент ( $w_i$ );
- на основе минимального и максимального значений, найдем нормировочные значения показателей;
- получим итоговые значения показателей, перемножив значения нормировочных показателей на их соответствующие весовые коэффициенты;

$$\tilde{P} = w_i p_{ij};$$

- просуммируем значения итоговых показателей между собой для каждой ВПП, и получим вектор оценок показателей.

$$r(a_j) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tilde{p}_i.$$

Каждое из полученных значений будет являться показателем оптимальности конкретной ВПП конкретного аэропорта, что дает возможность сравнивать перспективные варианты между собой. Выбрав необходимый экстремум на полученном множестве значений можно определить оптимальную ВПП.

## 2.4. Определение оптимального маршрута

После того, как был выбран аэропорт и ВПП посадки необходимо выбрать процедуры стандартного захода на посадку и прибытия из навигационной базы данных по критерию минимизации расстояния от текущего положения ВС или первой точки графа до первой точки STAR или первой точки перехода STAR TRANS. Для автоматической посадки определяющим критерием является наличие инструментальных средств посадки ILS (приоритет от 3 категории до 1) или GLS (обеспечивает 1 категорию).

Необходимо определить условия поиска оптимального маршрута.

Если в момент получения сигнала о наступлении критической ситуации самолет находится в терминальной зоне аэропорта и этот аэропорт был определен как самый оптимальный, тогда удобнее провести маршрут «ПРЯМО НА» от текущего положения до первой точки маршрута стандартной схемы прибытия.

Если в момент получения сигнала о наступлении критической ситуации самолет находится на значительном отдалении от выбранного запасного аэропорта, тогда необходимо рассчитать кратчайший маршрут.

Алгоритмы поиска оптимального маршрута сводятся к созданию направленного графа и выбору метода решения задачи. Граф представляет собой набор элементов и связей между ними. В рамках решения задачи поиска оптимального маршрута используются уже имеющиеся элементы (поворотные пункты маршрута) и связи

(авиатрассы) для построения графа. Используя данные из навигационной базы данных можно построить направленный граф.

Точка начала поиска оптимального маршрута обозначается как начальный элемент маршрута и определяется, исходя из текущего положения самолета или как следующая точка в плане полета.

Точка начала захода на посадку обозначается как конечный элемент маршрута и берется из навигационной базы данных в соответствии со стандартными процедурами захода на посадку выбранной оптимальной ВПП аэропорта.

Каждый элемент в графе должен находиться в строго определенной зоне поиска оптимального маршрута и иметь связь хотя бы с одним другим элементом графа.

После построения графа применяются методы поиска оптимального пути из теории графов. Одним из таких методов является метод  $A^*$ , который рассчитывает кратчайший путь до каждого элемента в графе до момента нахождения пути к конечному элементу. Таким образом, метод  $A^*$  позволяет найти близкий к оптимальному маршрут за допустимое количество времени.

После нахождения маршрута полета от начального элемента графа до конечного необходимо добавить к нему маршрут стандартной схемы прибытия выбранной оптимальной ВПП аэропорта. Таким способом получен оптимальный маршрут захода на посадку в определенном аэропорте от выбранной начальной точки.

### **3. Описание алгоритма работы модуля AUTOLAND**

Для инициализации алгоритма определения оптимального маршрута захода на посадку необходимо получение сигнала.

Процедура инициализации включает получение данных о метеоусловиях, расчет максимальной дистанции поиска начального элемента графа по критерию времени, а также расчет минимальной и максимальной дистанции поиска конечного элемента графа (по критерию времени, доступного топлива и верхнего ограничения по дистанции). Далее производится процедура подготовки списка доступных ВПП.

Список доступных ВПП представляет собой список всех работающих ВПП всех доступных аэропортов. Доступные аэропорты определяются на основании минимальной и максимальной дистанции поиска конечного элемента графа, а также возможности совершения посадки самолета выбранного типа. После получения списка доступных аэропортов, каждая ВПП анализируется на предмет возможности совершения посадки по критерию достаточности длины ВПП без риска выкатывания. В случае, если ВПП позволяет совершить посадку, то она анализируется в соответствии с критериями оптимальности, после чего добавляется в список доступных ВПП.

Далее определяется наиболее оптимальная ВПП. Имея выбранную ВПП, определяется конечный элемент графа как первая точка маршрута стандартной схемы прибытия, которая берется из навигационной базы данных.

Следующим шагом модуль Autoland определяет начальный элемент графа. В зависимости от данных плана полета выбирается точка из плана полета или же точка близкая к местоположению самолета.

После этого определяется положение самолета. Если положение самолета определено в терминальной зоне выбранного аэропорта, то оптимальный маршрут определяется как маршрут, состоящей из начального и конечного элементов графа, а также маршрут стандартной схемы прибытия на ВПП.

Если самолет находится на достаточном расстоянии от ВПП, тогда, на основании начального и конечного элементов графа, строится сам граф. Максимальная дистанция поиска элементов графа определяется как расстояние от начального и конечного

элементов графа с добавлением значения  $\delta$ . Далее методом  $A^*$  определяется оптимальный маршрут.

Полный оптимальный маршрут посадки определяется как маршрут, найденный с помощью метода  $A^*$  с добавлением маршрута захода на посадку на ВПП.

Получив оптимальный маршрут посадки, модуль Autoland передает его в систему самолетовождения для согласования с наземными системами УВД по CPDLC, принятия и выполнения согласованного маршрута.

### **3. Заключение**

В результате функционального анализа модуля автоматической посадки AUTOLAND можно сделать вывод, что разработанный функционал обеспечивает повышение безопасности и эффективности работы экипажа.