

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ

**Гагаринские
научные чтения
по космонавтике
и авиации**



1989 г.



МОСКВА
"НАУКА"
1990

УПРАВЛЕНИЕ САМОЛЕТОМ ПРИ СДВИГЕ ВЕТРА

В.М. КЕЙН, В.С. ПАЦКО, В.Л. ТУРОВА

1 Традиционные способы управления на посадке плохо работают в условиях резкого изменения скорости ветра (сдвиг ветра). В то же время сдвиг ветра — не настолько редкое явление, чтобы пренебрегать им. Сдвиг ветра возникает в силу различных причин. Одна из них — прохождение самолетом зоны микровзрыва, образуемого за счет нисходящего потока воздуха, который ударяется о поверхность земли и растекается затем с образованием вихря.

Доклад посвящен игровому (минимаксному) способу управления на посадке, ориентированному на работу в условиях экстремального изменения скорости ветра. Способ основан на методах теории антагонистических позиционных дифференциальных игр двух лиц [1]. Применению методов теории дифференциальных игр к задаче посадки посвящены работы [2–5]. В докладе процесс посадки рассматривается до момента пролета торца взлетно-посадочной полосы (ВПП).

2. Для получения игрового закона управления полная нелинейная система дифференциальных уравнений движения самолета, включающая в себя уравнения приводов и учитывающая влияние трех составляющих скорости ветра, линеаризуется относительно номинального равномерного движения по глиссаде снижения. Полученная линейная система распадается на подсистемы бокового и продольного каналов. Для каждой из них ставится вспомогательная дифференциальная игра с фиксированным моментом окончания T и выпуклой терминальной функцией платы, зависящей от двух координат фазового вектора. В боковом канале плата определяется боковым отклонением в момент T и его скоростью. В продольном — плата зависит от отклонения по вертикали в момент T и скорости его изменения.

Управляющие воздействия первого игрока: для подсистемы бокового канала — “заданные” отклонения $\delta_{н.з}$ и $\delta_{э.з}$ соответственно руля направления и элеронов; для подсистемы продольного канала — “заданные” отклонения $\delta_{в.з}$ и $\delta_{р.з}$ руля высоты и органа управления силой тяги. Второй игрок распоряжается параметрами помехи. В боковом канале это w_{z_g} — воздействие, влияющее через уравнения инерционности на изменение боковой составляющей W_{z_g} скорости ветра, в продольном — воздействия w_{x_g} и w_{y_g} , определяющие продольную W_{x_g} и вертикальную W_{y_g} составляющие скорости ветра. Управляющие воздействия и воздействия помехи считаются ограниченными по модулю. Ограничения на помеху выбираются с учетом разумных представлений о возможном размахе колебаний составляющих скорости ветра. Первый игрок минимизирует значения функции платы, второй максимизирует.

3. Описанные вспомогательные линейные дифференциальные игры поддаются решению на ЭВМ при помощи разработанных в настоящее время стандартных программ [4,6]. В результате получаем законы формирования

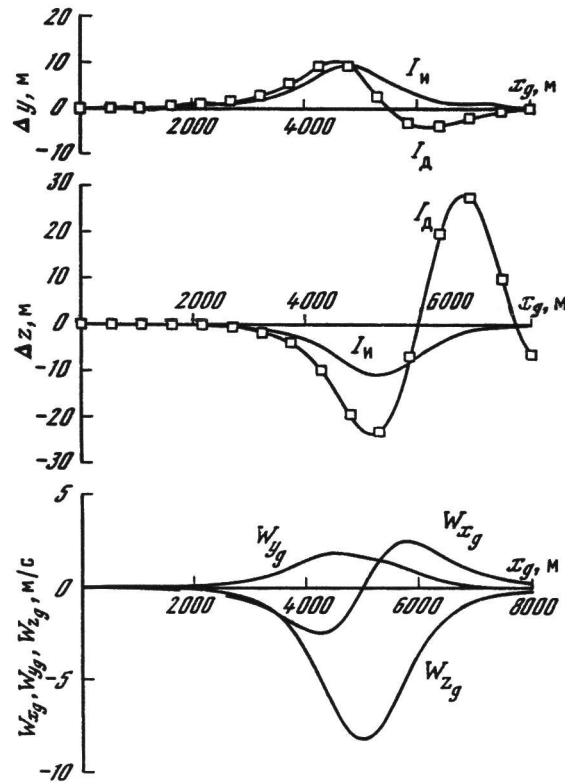


Рис. 1. Результаты моделирования процесса посадки

управляющих воздействий по принципу обратной связи, реализуемые при помощи наборов линий переключения. Каждый набор соответствует определенному управляющему воздействию и задан на сетке моментов τ_i обратного времени, отсчитываемого от момента T .

Наборы линий переключения для $\delta_{э.з}$, $\delta_{в.з}$ и определяют игровой способ управления в исходной нелинейной системе. При его реализации делается текущий прогноз времени, оставшегося до момента пролета торца ВПП. Соответственно прогнозу используются вполне определенные линии переключения для выбора $\delta_{э.з}$ и $\delta_{в.з}$. Поскольку воздействия $\delta_{н.з}$ и $\delta_{р.з}$ на этапе посадки имеют специфическое назначение (поддержание вблизи нуля значения угла скольжения и стабилизация воздушной скорости), было бы неестественно определять правило их выбора по аналогии с $\delta_{э.з}$ и $\delta_{в.з}$ из решения описанных вспомогательных задач. Поэтому воздействия $\delta_{н.з}$, $\delta_{р.з}$ при моделировании вырабатывались на основе принятых в настоящее время законов.

4. Обозначим через $I_{И}$ игровой способ управления и через $I_{Д}$ традиционный (действующий). В способе $I_{Д}$ все управляющие воздействия $\delta_{н.з}$, $\delta_{э.з}$, $\delta_{в.з}$, $\delta_{р.з}$ формируются при помощи принятых в настоящее время законов. На рис. 1 представлены результаты моделирования процесса посадки среднего транспортного самолета для способов $I_{И}$, $I_{Д}$. Начальное состояние

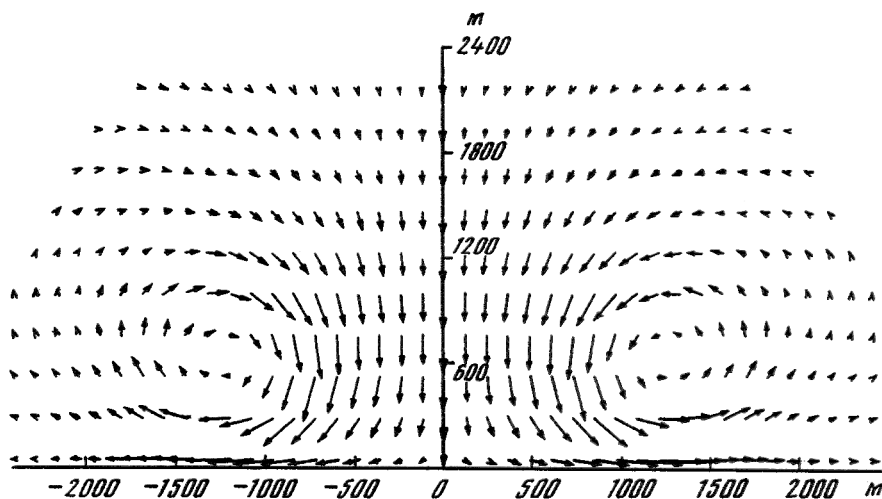


Рис. 2. Распределение скорости ветра в вертикальном сечении микровзрыва

взято на расстоянии 8000 м от торца ВПП. Значения фазовых координат в начальный момент совпадают с номинальными. Показаны графики вертикального Δu_g и бокового Δz_g отклонений от номинальных значений вдоль движения и графики реализаций W_{x_g} , W_{y_g} , W_{z_g} составляющих скорости ветра. Последние соответствуют способу I_{II} , для способа I_{II} они практически те же самые. По горизонтали откладывается пройденное расстояние. В последний момент самолет находится над торцом ВПП.

Ветровое возмущение образуется в результате микровзрыва. Математическая модель микровзрыва взята из работы [7]. Микровзрыв задается тремя параметрами: VO – скорость ветра в центральной части, HO – высота центральной части, RO – радиус вихря. Для конкретизации расположения микровзрыва относительно глиссады снижения следует выбрать координаты его центра в горизонтальной плоскости. Результаты счета на рис. 1 соответствуют микровзрыву с параметрами $VO = 7$ м/с, $HO = 600$ м, $RO = 1200$ м. Центр микровзрыва выбран на расстоянии $DX = 5000$ м по оси x_g от начального положения самолета (3000 м от торца ВПП) и на расстоянии $DZ = 1500$ м по оси z_g перпендикулярно оси ВПП. На рис. 2 приведено распределение скорости ветра в вертикальной плоскости, проходящей через центр микровзрыва.

Моделирование показывает, что игровой способ управления I_{II} парирует ветровое возмущение значительно лучше традиционного.

5. Подчеркнем еще раз, что для расчета игрового способа управления не требуется каких-либо точных сведений о пространственном расположении зоны экстремальных ветровых возмущений и тем более сведений о распределении скорости ветра в такой зоне. Для получения удовлетворительных результатов достаточно задать примерный размах колебаний скорости ветра. В этом состоит принципиальное отличие подхода, основанного на теории дифференциальных игр, от методов, где указанная информация является существенной [8]. Соответствующие игровому способу графики отклоне-

ний Δu_g , Δz_g на рис. 1 получены в случае, когда для вспомогательных линейных дифференциальных игр ограничения на модуль боковой и продольной составляющих скорости ветра были взяты равными 10 м/с, а ограничение на модуль вертикальной составляющей принято равным 5 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1974. 456 с.
2. Кейн В.М., Париков А.Н., Смуров М.Ю. Об одном способе оптимального управления по методу экстремального прицеливания // Прикл. математика и механика. 1980. Т. 44, № 3. С. 434–440.
3. Титовский И.Н. Игровой подход к задаче синтеза управления самолетом при заходе на посадку // Учен. зап. ЦАГИ. 1981. Т. 12, № 1. С. 85–92.
4. Боткин Н.Д., Кейн В.М., Пацко В.С. Модельная задача об управлении боковым движением самолета на посадке // Прикл. математика и механика. 1984. Т. 48, № 4. С. 560–567.
5. Корнеев В.А., Меликян А.А., Титовский И.Н. Стабилизация глиссады самолета при ветровых возмущениях в минимаксной постановке // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1985. № 3. С. 132–139.
6. Алгоритмы и программы решения линейных дифференциальных игр. Свердловск, 1984. 295 с. (Материалы по мат. обеспечению ЭВМ/АН СССР. УНЦ, ИММ).
7. Ivan M. A ring-vortex downburst model for real time flight simulation of severe wind shears // AIAA flight simulation technol.: Conf. St Louis (Miss.), 1985. P. 57–61.
8. Miele A., Wang T., Tzeng C.Y., Melvin W.W. Optimal abort landing trajectories in the presence of windshear // J. Optimiz. Theory. and Appl. 1987. Vol. 55, N 2. P. 165–202.