



МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
и ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

**ОПТИМИЗАЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ
ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ
И ИХ СИСТЕМАМИ**

Тематический сборник научных трудов

МОСКВА – 1988

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ
И ИХ СИСТЕМАМИ

Тематический сборник научных трудов

Утверждено
на заседании секции № 3
НТК института
13 марта 1987 г.

Москва
Издательство МАИ
1988

A 185
0-627

УДК 629.7.05-52+517.977.5] (06)

Оптимизация управления летательными аппаратами и их системами: Тем. сб. науч. тр./МАИ. - М. Изд-во МАИ, 1988. - 93 с.; ил.

Сборник объединяет статьи, посвященные проблеме оптимизации управления ЛА. В большинстве работ развиваются методы учета неконтролируемых факторов, оказывающих существенное влияние на качество управления.

Многие из этих методов основаны на использовании минимаксного или обобщенного минимаксного подходов, позволяющих получать гарантирующие в том или ином смысле стратегии управления.

Представленные в сборнике статьи отражают общую тенденцию к повышению качества управления ЛА, что в настоящее время является одной из основных задач разработчика систем управления любых летательных аппаратов.

Сборник может быть рекомендован для специалистов, занимающихся разработкой систем управления ЛА, а также для аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук проф. В.В. Мальшев (председатель); д-р техн. наук проф. Шамриков Б.М. (зам. председателя); д-р физ.-мат. наук проф. М.М. Хрусталева (зам. председателя); д-р техн. наук проф. Г.Н. Лебедев; д-р техн. наук проф. А.И. Петров; канд. техн. наук доц. В.А. Леонов; канд. техн. наук нач. лаб. Э.И. Митрошин; канд. техн. наук доц. С.А. Волковский; канд. техн. наук доц. А.И. Зверев; канд. техн. наук доц. В.И. Гришин; канд. техн. наук доц. В.И. Самойленко

Рецензенты: В.Т. Битюцкий, М.Н. Цыбин

© Издательство МАИ, 1988

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОСАДКЕ САМОЛЕТА
В МИНИМАКСНОЙ ПОСТАНОВКЕ

I. В настоящее время имеется значительное число работ (см., например, [1, 2]), в которых анализируется поведение самолета на взлете и посадке при резком изменении скорости ветра (сдвиге ветра). Изучаются физические условия возникновения сдвига ветра, математические модели этого явления, способы управления самолетом.

В статье исследуется процесс посадки в условиях ветрового возмущения. Рассматривается движение на предпоследней прямой до момента пролета горца ВПП. Предполагаются известными лишь пределы возможных отклонений скорости ветра от некоторого "среднего" значения и само это значение. Учитывается инерционность изменения скорости ветра. Какие-либо сведения о пространственном расположении области сдвига ветра, равно как и информация о распределении перепадов скорости в ней, отсутствуют. Таким образом, естественно возникает задача о нахождении минимаксного способа управления [3, 4] самолетом по принципу обратной связи, рассчитанного на любое изменение скорости ветра в оговоренных пределах.

В работе минимаксное решение найдено для вспомогательных линейных задач. Затем оно используется при моделировании в полной нелинейной системе. Аналогично задаче минимаксного управления решается вопрос о максимальной ветровой помехе, также вырабатываемой по принципу обратной связи. Максиминный способ формирования помехи можно использовать в летных тренажерах, а также при сравнительном анализе тех или иных конкретных способов автоматического управления на посадке.

Представленные в статье результаты получены применением методов теории дифференциальных игр. Различным аспектам приложения этой теории к задаче посадки посвящены работы [5-8].

2. Динамика самолета описывается системой дифференциальных уравнений 12-го порядка. Вектор состояния включает три координаты x, y, z центра масс в системе, связанной с поверхностью ВПП (рис. 1), углы тангажа, рыскания и крена, а также соответствующие линейные и угловые скорости. К уравнениям самолета добавляются уравнения динамики рулевых приводов и двигателей. Управляющими являются задающие воздействия $\delta_{\beta 3}, \delta_{\alpha 3}, \delta_{\gamma 3}, \delta_{\rho 3}$,

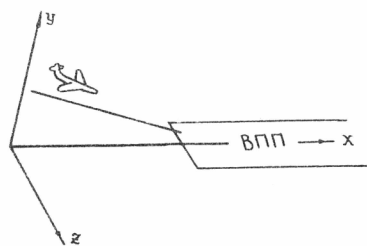


Рис. 1

определяющие положение элеронов, рулей направления и высоты, изменение тяги двигателей. Каждая из указанных величин ограничена снизу и сверху.

Возмущение содержит три независимые компоненты W_x, W_y, W_z , ограниченные по модулю и отсчитываемые от заданных постоянных значений W_{x0}, W_{y0}, W_{z0} . Инерционность изменения скорости ветра учитывается введением дополнительных дифференциальных уравнений, присоединяемых к основной системе. Величины W_x, W_y, W_z становятся при этом фазовыми переменными. Их изменение зависит от параметров w_x, w_y, w_z , имеющих те же ограничения, что и W_x, W_y, W_z .

Полученная в итоге система дифференциальных уравнений в векторной форме имеет вид

$$\dot{\xi} = f(\xi, \delta_3, w), \quad (1)$$

где $\delta_3 = (\delta_{\beta 3}, \delta_{\rho 3}, \delta_{\alpha 3}, \delta_{\gamma 3})$ - векторный параметр управления;
 $w = (w_x, w_y, w_z)$ - векторный параметр помехи.

3. Линеаризуя систему (I) в окрестности номинального движения (прямолинейное движение по глиссаде с заданной воздушной скоростью при оговоренных постоянных значениях W_{x0}, W_{y0}, W_{z0}), разделим ее на подсистемы продольного и бокового движений. Получим две независимые линейные системы.

В системе, соответствующей продольному каналу, управляющие воздействия – заданные отклонения руля высоты и органа управления силой тяги. Параметры помехи – w_x, w_y .

В системе, соответствующей боковому каналу, управление осуществляется через заданные отклонения элеронов и руля направления. Параметр помехи – w_x . Управляющие воздействия удовлетворяют тем же ограничениям, что и в системе (I), с учетом центрирования балансировочными значениями. Прежними остаются и ограничения на параметры помехи.

Отождествим выбор управления с первым игроком, помехи – со вторым. Рассмотрим для каждого канала дифференциальную игру с фиксированным моментом окончания T и выпуклой терминальной функцией платы. Значения ее минимизирует первый игрок и максимизирует второй.

Функция платы φ_x для продольного канала зависит от вертикального отклонения Δy и его скорости $\Delta \dot{y}$, подсчитываемых в момент T , и имеет вид

$$\varphi_x(\Delta y, \Delta \dot{y}) = \min \{ c \geq 0 : (\Delta y, \Delta \dot{y}) \in cM_x \}. \quad (2)$$

В качестве M_x возьмем симметричный относительно нуля выпуклый шестиугольник на плоскости $\Delta y, \Delta \dot{y}$ с вершинами $(-3; 0), (-3; 1), (0; 1), (3; 0), (3; -1), (-3; -1)$ (единицы измерения по осям – м, м/с). Множество M_x – допуск на $\Delta y, \Delta \dot{y}$ в момент T , функция φ_x показывает отклонение от допуска. Функция платы φ^* для бокового канала зависит от бокового отклонения Δz и его скорости $\Delta \dot{z}$ в момент T и задается аналогично φ_x при помощи шестиугольника с вершинами $(-6; 0), (-6; 1,5), (0; 1,5), (6; 0), (6; -1,5), (0; -1,5)$.

4. Разработанные к настоящему времени численные методы теории дифференциальных игр позволяют решить описанные линейные задачи. В частности, имеются стандартные программы для нахождения оптимальных стратегий игроков. Одна из форм реализации оптимальных стратегий – задание их при помощи линий переключения, определяющих выбор управляющих воздействий и воздействий помехи. Линии переключения зависят от $\tau = T-t$ (t – прямое время) и строятся на плоскости фазовых переменных некоторой дифференциальной игры второго порядка,

эквивалентной [3, 4] к задаче продольного, соответственно бокового, канала. На рис. 2 показаны линии переключения, определяющие выбор параметров w_x, w_y (точнее, их крайних значений) в задаче продольного канала при $\tau = 10$. Линии построены для двух вариантов ограничений на параметры помехи: 1) $|w_x| \leq 10, |w_y| \leq 5$; 2) $|w_x| \leq 5, |w_y| \leq 2,5$ (единица - м/с). Ограничения на управляющие воздействия при этом одни и те же.

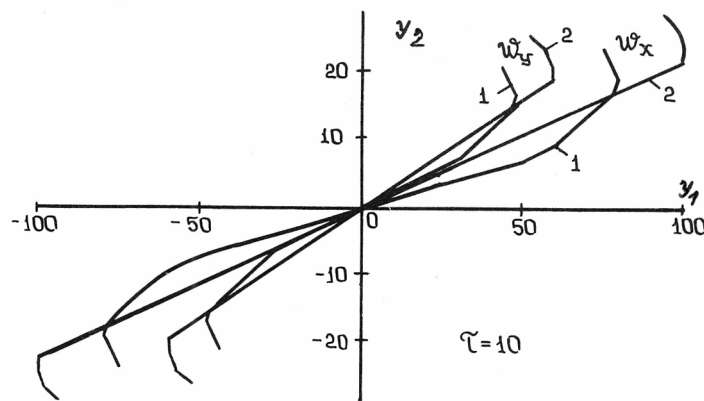


Рис. 2

5. Решения вспомогательных линейных дифференциальных игр можно по-разному использовать в полной нелинейной модели (I). Опишем одну из возможностей.

Пусть в начальный момент $t=0$ положение $x(0)$ системы (I) по оси x равно нулю и находится на расстоянии 3000 м от горца ВПП. Положим $W_{x0} = -5, W_{y0} = W_{z0} = 0$. Скорость номинального движения по оси x V_{x0} и дистанция, проходимая за ~ 45 с, соответствующие приведенным составляющим скорости ветра, равны соответственно 67 м/с и 3000 м. Пусть $|W_x| \leq 10, |W_y| \leq 5, |W_z| \leq 10$.

При решении вспомогательных задач возьмем $T = 15$ с. Построим линии переключения. В системе (I) для управления используем линии переключения, определяющие δ_{B3} и δ_{z3} . Формирование воздействий δ_{p3} и δ_{n3} будем вести при помощи алгоритмов управления, принятых в настоящее время [9]. Полученный таким образом способ управления обозначим I_u (игровой). Способ управления по принципу обратной связи, когда все управляющие воздействия определяются на основе принятых в настоящее время алгоритмов, обозначим I_d (действующий).

Символом \overline{II}_* обозначим способ задания помехи, при котором линии переключения используются для формирования параметров w_x и w_y , а w_z полагается тождественно равным нулю. Символ \overline{II}^* будет означать способ, при котором с помощью линий переключения задается w_x , а w_x и w_y полагаются нулевыми.

Пока расстояние $d(t)$ по оси x до торца ВПП больше $TV_{x0} = 1005$ м, для выбора управления и помехи будем использовать линии переключения, соответствующие одному и тому же значению $\tau = T = 15$ с. Если $d(t) \leq TV_{x0}$, то будем использовать линии, соответствующие $\tau = d(t)/V_{x0}$.

Таким образом, мы корректируем время, оставшееся до пролета торца ВПП, и выбираем δ_{B3} и δ_{B3} (в способе I_{II}) так, чтобы получить возможно меньшие значения функций φ_* , φ^* в момент пролета. Параметры помехи выбираются из противоположных соображений.

Формирование управления в системе (I) будем вести по времени с шагом 0,05 с, формирование помехи — с шагом 0,2 с.

6. Результаты численного моделирования представлены на рис. 3-7. На всех рисунках по горизонтали откладывается пройденное расстояние. Были взяты два варианта начальных условий:

1) вертикальное отклонение $\Delta y = 10$ м, остальные отклонения нулевые;

2) боковое отклонение $\Delta x = 20$ м, остальные отклонения нулевые.

На рис. 3 показаны графики переходных процессов системы (I) по y, z , полученные при отсутствии помехи. Изменения Δy и Δx , просчитанные при различных сочетаниях управления и помехи, даны на рис. 4, 6. Реализации угла атаки $\Delta \alpha$ (отклонение от номинала) и угла крена γ , а также реализации вертикальной W_y и боковой W_x составляющих скорости ветра изображены на рис. 5, 7. Для рис. 4, 5 начальное значение $\Delta y = 10$ м, для рис. 6, 7 в начальный момент $\Delta x = 20$ м. Надпись (I_{II} , II_*) означает, что управление строилось по способу I_{II} , помеха — при помощи способа II_* . Символ k — коэффициент, на который умножается значение помехи, выбираемое по линиям переключения, построенным для ограничений $|w_x| \leq 10$, $|w_y| \leq 5$, $|w_z| \leq 10$. Таким образом, полагая $k = 1/2$, мы изучаем влияние помехи, удовлетворяющей ограничениям $|w_x| \leq 5$, $|w_y| \leq 2,5$, $|w_z| \leq 5$, не пересчитывая линий переключения. Поступаем так потому, что структура линий переключения не меняется принципиально, но при смене ограничений (рис. 2).

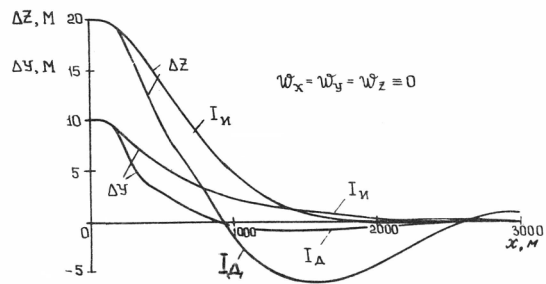


Рис. 3

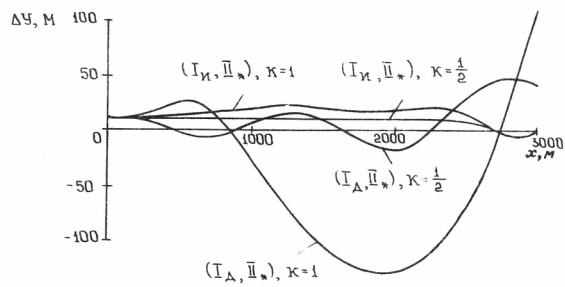


Рис. 4

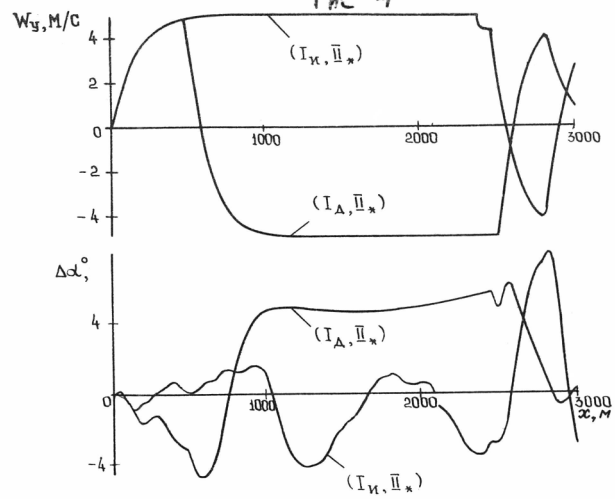


Рис. 5

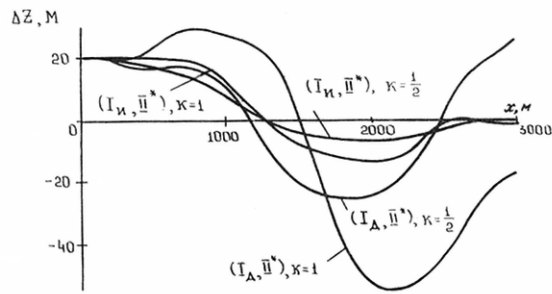


Рис. 6

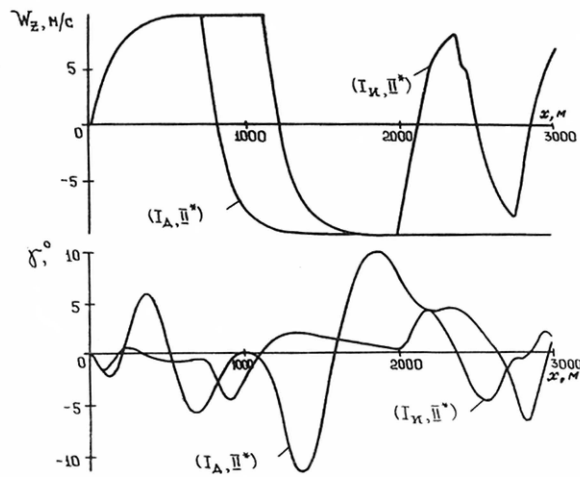


Рис. 7

Из приведенных графиков видно, что управление по способу I_D не дает удовлетворительного результата при столкновении с экстремальной помехой. Использование способа I_{II} дает существенно лучшие результаты. Следует, однако, учитывать, что при формировании управления по способу I_{II} использовалась информация о всех фазовых координатах системы $\{I\}$. Поэтому результаты, относящиеся к способу I_{II} , правильнее рассматривать как потенциально достижимые. При формировании экстремальной помехи по способу \bar{II}_* или \bar{II}^* также использовалась полная информация о текущих координатах системы $\{I\}$.

Однако здесь это уже не должно вызывать возражений, поскольку речь идет о помехе как о неопределенном факторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д и т е н б е р г е р М.А., Х е й н с П.А., Л у э р с Дж. К. Реконструкция условий авиакатастрофы в Новом Орлеане//Аэрокосмическая техника, 1986, № 5. С. 3-15.
2. Miele A., Wang T., Melvin W. W. *Optimal take-off trajectories in the presence of windshear.* - *J. Opt. Theory and Appl.*, 1986, v. 49, N1, p. 1-45.
3. К р а с о в с к и й Н.Н., С у б б о т и н А.И. Позиционные дифференциальные игры. - М.: Наука, 1974. 456 с.
4. С у б б о т и н А.И., Ч е н ц о в А.Г. Оптимизация гарантии в задачах управления. - М.: Наука, 1981. 291 с.
5. К е й н В.М., П а р и к о в А.Н., С м у р о в М.Ю. Об одном способе оптимального управления по методу экстремального прицеливания// Прикладная математика и механика. 1980. Т. 44, вып. 3. С. 434-440.
6. Т и т о в с к и й И.Н. Игровой подход к задаче синтеза управления самолетом при заходе на посадку// Ученые записки ЦАГИ. 1981. Т. 12, № 1. С. 85-92.
7. Б о т к и н Н.Д., К е й н В.М., П а ц к о В.С. Модельная задача об управлении боковым движением самолета на посадке// Прикладная математика и механика. 1984. Т. 48, вып. 4. С. 560-567.
8. К о р н е е в В.А., М е л и к я н А.А., Т и т о в с к и й И.Н. Стабилизация глиссады самолета при ветровых возмущениях в минимаксной постановке// Изв. АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. 1985. № 3. С. 132-139.
9. Автоматическое управление самолетами и вертолетами/ Федоров С.М., Дробкин В.В., Михайлов О.И., Кейн В.М. - М.: Транспорт, 1977. 246 с.