МИНИСТЕРСТВО ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

МОСКВА

1991

УДК 629.735.067

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Обеспечение безопасности полетов при эксплуатации гражданских воздушных судов: Сборник научных трудов. – М.: МИИГА,1991. – 112 с.

В сборнике рассматриваются проблемы обеспечения безопасности полетов гражданских воздушных судов. Статьи охватывают вопросы автоматизации деятельности по обеспечению безопасности полетов в авиапредприятиях, информационного обеспечения безопасности полетов, использования математического моделирования движения воздушных судов при анализе особых случаев полета.

Ил. 33, табл. 10, список лит.: 63 назв.

Редакционная коллегия:
д-р техн.наук, проф. Р.В.Сакач (отв. редактор); д-р воен.-мор.наук, проф. Р.С.Демидов; канд.техн.наук, проф. Б.В.Зубков; д-р техн. наук, проф. В.Г.Цишенко; канд.техн.наук В.А.Костиков; канд.техн.наук В.И.Люлько; канд.техн.наук А.А.Гугель (отв. секретарь).

(С) Московский институт инженеров гражданской авиации

Св.тем.план 1991, поз. 6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Сборник научных трудов

Редакторы: Т.М.Приорова, Г.В.Токарева
Корректор И.В.Вилкова
Художественный редактор Т.К.Ружецкая

Подписано в печать 25.09.91г. Печать офсетная 7,0 уч.-изд.л. 6,51 усл.печ.л. Заказ № 140/1404 Тираж 300 экз. Цена 4 руб.

Московский институт инженеров гражданской авиации
Редакционно-издательский отдел
Участок оперативной полиграфии
125493 Москва, ул.Пулковская, д.6а

УДК 629.015:681.3

УСТОЙЧИВЫЙ АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ШАССИ

М.С.Кубланов

Расследование летных происшествий и разработка рекомендаций по летной эксплуатации представляют собой ответственные задачи, решение которых без применения математического моделирования сегодня немыслимо.

При разработке математической модели движения летательных аппаратов типа самолета возникает задача моделирования работы шасси. Степень адекватности такой модели должна быть очень высокой, ибо на быстротечных этапах взлета и посадки даже незначительные погрешности в управлении или изменения внешних условий могут приводить к весьма серьезным последствиям.

Обычно [1, 2, 3] при моделировании движения самолета он рассматривается как твердое тело, на которое действует система сил и моментов, в том числе и со стороны стоек шасси. При этом продольные и поперечные силы и моменты, порождаемые трением колес шасси по взлетно-посадочной полосе (ВПП), достаточно просто определяются через вертикальную силу давления пневматиков на ВПП (реакцию ВПП), например, по алгоритму [4]. Таким образом определение с достаточной степенью точности именно вертикальной силы давления пневматиков на ВПП приобретает первостепенное значение. С другой стороны, важно и достаточно точное определение воздействия на самолет со стороны шасси.

Разумеется существуют очень точные математические модели работы шасси, имитирующие и колебательные процессы в гидросистемах, и явление шимми и т.д. Однако громоздкость таких моделей не позволяет использовать их при моделировании движения самолета по ВПП в целом. Упрощенный подход к таким моделям приводит к необходимости рассмотрения дифференциального уравнения движения второго [5] или первого [2] порядка. Не вдаваясь в подробности этих моделей, заметим только два их существенных недостатка: увеличение размерности общей системы дифференциальных уравнений движения самолета - с одной стороны, и трудности получения удовлетворительной точности при решении дифференциальных уравнений как шасси, так и самолета в целом - с другой. Если с первым из этих недостатков при использовании мощных ЭВМ можно

мириться, то второй требует определенных алгоритмических ухищрений весьма далеких от реальных физических процессов. Тем не менее такого "насилия" над математической моделью можно избежать, если требовать от модели работы шасси лишь то, что необходимо для описания движения самолета в целом, а именно, определения сил действующих со стороны шасси на самолет.

Кинематика и динамика работы вертикальной стойки шасси схематически представлена на рис. I. Усложнения, привносимые наклоном стойки, а также другими силами (существенно меньшими рассматриваемых здесь), непринципиальны и требуют лишь алгебраических преобразований. В этих предположениях на подвижную часть стойки шасси массой m действуют: mg - сила тяжести; $m\ddot{\varepsilon}$ - инерционная сила; $F_a(S)$ - амортизационная сила, зависящая от обжатия стойки ("газовая" составляющая); $F_r(\dot{S})$ - амортизационная сила, зависящая от скорости обжатия стойки ("гидравлическая" составляющая); $N(\varepsilon)$ - сила давления пневматиков стойки на ВПП, определяемая обжатием пневматиков. Следует заметить, что зависимости $F_a(S)$, $F_r(\dot{S})$ и $N(\varepsilon)$ - суть "паспортные" характеристики конструкции стоек шасси. Тогда уравнение движения подвижной части стойки шасси с учетом указанного на рис. I направления действующих сил примет вид:

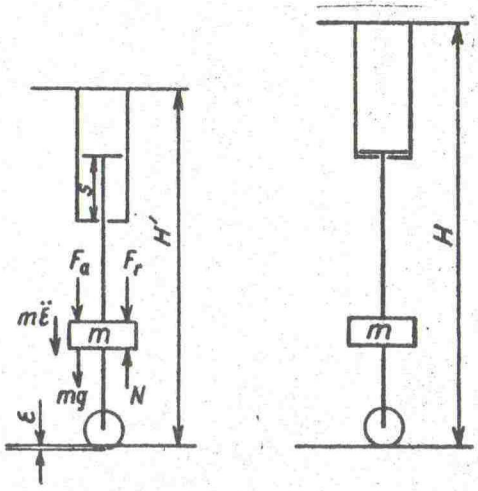
$$m\ddot{\varepsilon} = F_a(S) + F_r(\dot{S}) + mg - N(\varepsilon) . \qquad (I)$$

Если такое уравнение решать как дифференциальное уравнение второго порядка [5], то использование даже самых точных методов численного интегрирования на ЭВМ не позволяет получить удовлетворительную точность расчетов ввиду вычислительной неустойчивости. Последняя объясняется тем, что при "гладком" движении по ВПП инерционная сила равна нулю, т.е. правая часть уравнения (I) должна обращаться в нуль. Но это при расчетах на ЭВМ практически невозможно, так как всегда существует конечная погрешность из-за ограниченной разрядной сетки, а значения членов $F_a(S)$ и $N(\varepsilon)$ весьма велики по модулю.

В [2] было предложено пренебречь инерционной силой и рассматривать уравнение (I) как дифференциальное уравнение первого порядка относительно S. Однако в этом случае рассуждения о причинах вычислительной неустойчивости расчет остаются в силе, ибо при отсутствии вертикального движения $\dot{S} = 0$ и $F_r(\dot{S}) = 0$.

Как показано в [4], при исследовании линеаризованного уравнения

движения добиться безусловной устойчивости численного интегрирования дифференциальных уравнений в обоих случаях невозможно. Расчеты на математической модели самолета Ту-154Б по таким алгоритмам показали, что неустойчивость проявляется даже при "гладком" разбеге, начиная с точно сбалансированной начальной точки. Эта неустойчивость решения через воздействие на самолет в целом приводит к тому, что до трети времени разбега он оказывается без контакта с ВПП, что существенно искажает результаты расчета сил трения и качественную картину поведения самолета на ВПП.



Для борьбы с неустойчивостью решения предлагается рассматривать и решать уравнение (I) не как дифференциальное, а как конечное. Это представляется тем более естественным, что модель работы шасси используется как вспомогательная для модели движения самолета в целом и служит лишь для определения силы, действующей со стороны шасси на самолет. Таковой силой в вертикальном направлении (действующей вверх) является в рассматриваемой модели:

$$T = \begin{cases} F_a(s) + F_r(\dot{s}) + mg & \text{- при наличии контакта колес с ВПП;} \\ 0 & \text{- при отсутствии контакта колес с ВПП} \end{cases}$$

Присутствие в этом выражении члена mg объясняется фактическим

"облегчением" самолета на величину веса подвижной части шасси при ее качении по ВПП.

Превращение уравнения (I) в конечное достигается использованием замыкающих кинематических соотношений в определенной форме записи. Согласно рис. I, можно записать:

$$h = H - H', \tag{2}$$

$$\varepsilon = h - s, \tag{3}$$

$$\dot{h} = \frac{h - h^-}{\Delta t}, \tag{4}$$

$$\dot{s} = \frac{s - s^-}{\Delta t}, \tag{5}$$

$$\dot{\varepsilon} = \dot{h} - \dot{s}, \tag{6}$$

$$\ddot{\varepsilon} = \frac{\dot{\varepsilon} - \dot{\varepsilon}^-}{\Delta t}, \tag{7}$$

где s^-, h^-, $\dot{\varepsilon}^-$ - представляют собой значения соответствующих параметров, определенные на предыдущем шаге численного интегрирования (продолжительность шага Δt) дифференциальных уравнений движения самолета. Система уравнений (I - 7) замкнута, если считать известными функции $F_0(s)$, $F_T(\dot{s})$, $N(\varepsilon)$. Более того, на каждом очередном шаге численного интегрирования по полученному положению самолета в пространстве (в данной модели H') всегда можно с помощью итераций подобрать такое значение s , которое обеспечит тождественность уравнения (I) при выполнении (2 - 7). При этом существенно, что в уравнениях (3), (4) и (7) для вычисления производных применена разностная схема. Кроме того, отпадает необходимость в решении уравнения (I) как дифференциального, поэтому даже собственные погрешности ЭВМ не приводят к накоплению ошибок в определении величины T - воздействия на самолет со стороны стойки шасси. В этом случае нет необходимости в точном определении разности двух близких по значению величин.

Описанный вычислительный алгоритм реализован в системе математического моделирования динамики полета воздушных судов, разработанной в НИЛ-5 кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МИИГА. Вычислительный эксперимент на примере самолета Ту-154Б показал, что непосредственное применение паспортных характеристик шасси не приводит к явлениям неустойчивости. Заметим лишь, ко-

лебательная неустойчивость с ограниченной амплитудой, возникающая при решении основной системы дифференциальных уравнений движения самолета. При этом амплитуда колебаний обжатия наиболее динамической передней стойки не превосходит 45 мм, а амплитуда колебаний скорости обжатия - 200 мм/с. Расчеты показали наличие постоянного контакта колес шасси с ВПП, что существенно для адекватности математической модели реальному движению самолета. Даже имитация грубых посадок самолета с полным обжатием стоек и жестким ударом при приземлении с вертикальной скоростью более 5 м/с выявила лишь однократное отделение самолета от ВПП и последующее достаточно быстрое затухание вертикальных колебаний.

Безусловно, для изучения таких вопросов, как воздействие грубых посадок на конструкцию самолета, применимость описанного алгоритма нуждается в проверке. Однако, основываясь на приведенных результатах, можно утверждать, что для адекватного моделирования движения самолета по ВПП найден устойчивый алгоритм моделирования работы шасси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка универсальной программы для исследования динамики полета в особых случаях полета: Отчет о НИР (заключительный)/ Гос. н.-и. ин-т гражд. авиации (ГосНИИГА); Руководитель Р.А.Теймуразов.№ ГР 8I070I37. М., I985. I05 с.: Ил. Отв. исполн. Г.Д.Савыков.
2. Разработать и внедрить в практику летных исследований обобщенную математическую модель полета самолетов ГА в ожидаемых условиях эксплуатации: Отчет о НИР (заключительный)/ Рижский Краснознаменный ин-т инженеров гражд. авиации (РКИИГА); Руководитель Л.Г.Тотиашвили. № ГР 80026611; Инв.№ Б-9I4759. Рига, I980. I5I с.
3. Разработка методов расчета поведения самолетов ГА в условиях сдвига ветра: Отчет о НИР (промежуточный) Том П/ Моск. ин-т инженеров гражд.авиации (МИИГА); Руководитель В.Г.Воробьев. № ГР 0I820090380. М., I984. 230 с.: Ил. Отв, исполн. В.Г.Ципенко.
4. Разработка обобщенной модели шасси самолетов ГА и проведение контрольно-вычислительных экспериментов базы входных данных перспективных ВС. Оценка влияния упругости конструкции на аэродинамические характеристики самолетов ГА в крейсерском режиме полета. Решение прикладных задач особых случаев взлета и посадки существующих ВС с целью совершенствования РЛЭ: Отчет о НИР (промежуточный)/ Моск. ин-т инженеров гражд.авиации (МИИГА);

Руководитель В.Г.Ципенко. № ГР 0I860022933; Инв.№ 0287006820. М., I987. I88 с.: Ил. Отв. исполн. М.С.Кубланов.
5. Исследование динамики полета самолетов на этапах взлета и посадки: Отчет о НИР/ Гос. н.-и. ин-т гражд.авиации (ГосНИИГА); Руководитель В.Д.Кофман. Тема № I.3.3.; задание I.[illegible]. М., I977. I03 с.: Ил. Отв. исполн. Г.Д.Савыков.