

Особенности проектирования амортизационных систем шасси транспортных и пассажирских самолетов

Государственное предприятие «АНТОНОВ»

Описаны особенности выбора и обоснования параметров амортизационных систем шасси транспортных и пассажирских самолётов. Особенности выявлены автором в процессе многолетнего опыта конкретного участия в разработке, испытаниях, доводке и поддержании лётной годности в эксплуатации самолётов, анализа литературных данных по отечественным и зарубежным самолётам, нормативно-технической и другой документации.

Ключевые слова: амортизационные системы шасси, транспортные и пассажирские самолёты, испытания, лётная годность, эксплуатация самолётов.

Амортизационная система (АС), современных самолётов, состоящая из газогидравлических амортизаторов и подвижных элементов стоек шасси, а также колёс, оборудованных пневматическими шинами, является одной из основных систем самолёта. Главная функция АС – поглощение и рассеивание основной части энергии вертикального движения при посадке самолёта, а также демпфирование нагрузок, обусловленных неровностями при взлёте, посадке и движении по аэродрому.

Характеристики АС в подавляющей степени определяют внешние нагрузки, действующие не только на шасси, но и на планер, агрегаты и оборудование самолёта на наземных этапах полёта. Эти нагрузки существенно сказываются на весовой эффективности (статическая прочность), а также ресурсе конструкции самолёта при его длительной эксплуатации (усталостная прочность).

Важность и многосторонность рассматриваемой темы подчёркивается тем фактом, что требования к общим характеристикам АС внесены непосредственно в отечественные [1], европейские [2] и американские [3] нормы лётной годности (НЛГ) и выделены в них в отдельные рубрики: "Характеристики управляемости самолёта на земле" (Раздел В-Полёт) и "Наземные нагрузки" (Раздел С-Прочность), а требования к обязательным динамическим стендовым испытаниям и условиям их проведения в четыре отдельных параграфа рубрики "Шасси" (Раздел D-Проектирование и конструкция). Аналогичный подход наблюдается и в других зарубежных и международных НЛГ.

Первые, не получившие широкого распространения проекты воздушно-жидкостной амортизации появились в 1912 году. В отечественной практике наиболее полно и систематизировано АС изучались в ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского. В 1919 году В.П. Ветчинкиным предложена схема и способ простейшего расчёта жидкостной амортизации. Аналитический метод расчёта масляных амортизаторов, опубликованный В.П. Ветчинкиным в 1933 году [4], базировался на пренебрежении амортизирующими действиями пневматика. А.Г. Агладзе [5] ввёл в рассмотрение пневматик, как упругий элемент и, пренебрегая его массой, предложил чрезвычайно трудоёмкий графоаналитический метод решения усложнившейся системы дифференциальных уравнений, который подтвердил опытным путем. Этот метод уже позволял рассчитывать амортизаторы основных опор шасси в случае поглощения нормируемой энергии, как с постоянным гидравлическим дросселем, так и с переменным по объёму. При этом сила сжатия воздуха в амортизаторе принималась по уравнению адиабаты, а

диаграмма обжатия пневматика принималась линейной. А.А. Белоус [6] разработал методы расчета амортизации, учитывающие силы инерции массы подвижных частей и силы трения. Кроме того, им приведены результаты экспериментального определения коэффициентов гидравлического сопротивления, входящих в выражения усилий в стойке для спирто-глицериновой смеси и двух форм дроссельных отверстий. В.П. Ветчинкин [4] разработал методы проектировочного и поверочного расчетов амортизации шасси, отличающиеся уравнениями, способом интегрирования, а также использованием экспериментально полученных коэффициентов гидравлического сопротивления в функции числа Рейнольдса и отношения длины отверстия к его гидравлическому радиусу.

В своих многочисленных работах В.М. Дмитриев провел исследования влияния температуры и других параметров на работу амортизационной стойки шасси с масляно-пневматическим амортизатором.

В.Л. Дрожжин исследовал влияние внутренних процессов в газогидравлических амортизаторах на нагруженность шасси самолетов и разработал многочисленные методики и рекомендации по их проектированию, расчету и испытаниям.

Разработанные Е.С. Щетинковым нормы лётной годности шасси развиты Т.А. Французом и совершенствовались Ю.А. Стучалкиным.

Уникальные экспериментальные и аналитические исследования работы амортизационных стоек шасси проводились Ю.И. Мазуцким, а также Вахи М.К. [7].

И.А. Головнёй, В.Н. Перельштейном, Н.А. Мелик-Заде, В.Б. Шифриным, А.Э. Баумгарте, В.М. Коноваловым проведены исследования по обоснованию выбора параметров шасси в составе самолетов конкретных типов.

С целью обеспечения согласования характеристик шасси и АС с характеристиками и условиями эксплуатации разрабатываемого самолёта, крупные авиационные фирмы выполняют полный цикл создания АС: выбор параметров шасси, его проектирование, изготовление на специализированных предприятиях, испытания на статическую и длительную прочность в прочностных лабораториях, динамические стендовые испытания на уникальном оборудовании научно-испытательных организаций и лётные испытания в составе самолёта, поддержку серийного производства и эксплуатации.

В современном самолётостроении наблюдается тенденция к росту взлётных весов самолётов, а для транспортных самолётов и повышение требований по базированию, особенно на грунтовых аэродромах. Следствием этого, а также следствием повышенных требований к аэродинамике самолёта (минимальный мидель обтекателя шасси) и минимизации веса шасси, является увеличение количества стоек шасси и их установка вдоль фюзеляжа, что приводит к значительному усложнению процедуры определения параметров и характеристик шасси. При этом точное определение этих характеристик в различных расчетных условиях является обязательным для проектирования комплекса шасси с минимальным весом и удовлетворяющим требованиям, которые к нему предъявляются.

В настоящей статье приведены результаты проведенных исследований, целью которых является разработка методики выбора и обоснования параметров АС, оборудованных газогидравлическими амортизаторами, на различных этапах создания пассажирских и транспортных самолетов имеющих многоопорное шасси (МОШ).

АС должна обеспечивать: не превышение заданного уровня действующих на планер нагрузок, достаточное демпфирование вертикального, и углового движения самолёта, устойчивое положение самолёта по крену, управляемость самолёта на земле. Задача выбора параметров АС МОШ самолёта решается в следующей постановке. Требуется определить: максимальные конструктивные обжатия стоек, кинематические схемы стоек, геометрические параметры, параметры зарядки и параметры дроссельных отверстий амортизаторов, которые обеспечивают выполнение АС своих функций. В условиях, когда на систему наложены ограничения: геометрическая привязка шасси к планеру, массовые и центровочные данные самолёта, упругие и массово-инерционные характеристики колёс с шинами, тяговые характеристики силовой установки, аэродинамические характеристики самолёта во взлётной и посадочной конфигурациях, параметры покрытия аэродрома, вертикальные скорости при посадке, уровень допустимых нагрузок по условиям прочности планера, параметры топливных баков.

Для пассажирских самолетов необходимо дополнительно обеспечить приемлемый уровень комфорта при движении по аэродрому. Для военнотранспортных самолетов обязательным является условие обеспечения его эксплуатации в режимах обычного и короткого взлета и посадки без замены агрегатов АС и изменения параметров зарядки амортизаторов.

В процессе решения задачи необходимо обеспечить возможность анализа влияния параметров АС на ограничения и возможность получения нагрузок и кинематических параметров шасси. Задача решается методом последовательных приближений. Применение такого подхода обусловлено: взаимовлиянием параметров АС и параметров самолета в целом, определяемых в итерационном процессе; сложными, нелинейными характеристиками системы; многообразием внешних требований, предъявляемых к АС и шасси в целом.

Решение задачи ищется в определяемой области параметров зарядки амортизаторов, обеспечивающих выполнение АС своих функций в условиях ограничений. Искомая область определяется, как область, удовлетворяющая ограничениям на диаграмму обжатия амортизатора, которые задаются в виде ряда значений осевых сил и соответствующих им допускаемых диапазонов обжатий амортизатора. Граница области параметров амортизатора:

$$V_0 = \frac{Q^{1/k} \times F \times S}{Q^{1/k} - P_0^{1/k} \times F^{1/k}},$$

где Q, S – ограничения на диаграмму; P_0, V_0 – давление начальной зарядки и начальный объём газовой полости; F – площадь газового поршня; k – показатель политропы сжатия газа.

Процесс выбора параметров АС разбивается на четыре этапа: определение параметров АС изолированных опор, уточнение параметров при статическом моделировании в составе самолёта, выполнение динамических расчетных случаев, доводка параметров амортизаторов.

Типовой вид области допускаемых значений параметров зарядки амортизатора передней стойки шасси показан на рис. 1. На первом этапе передняя и основные опоры рассматриваются изолированно. Общими для обеих

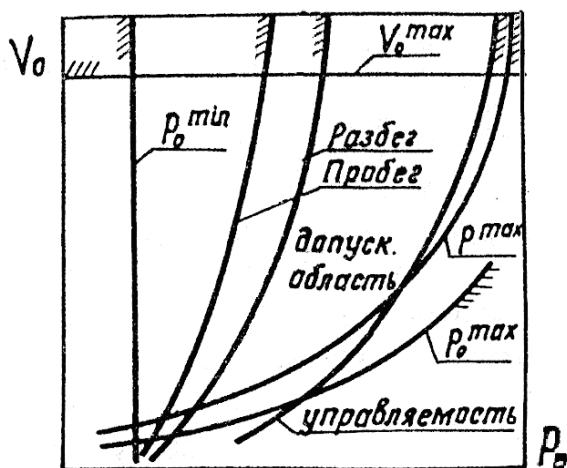


Рис. 1. Области допускаемых значений параметров зарядки

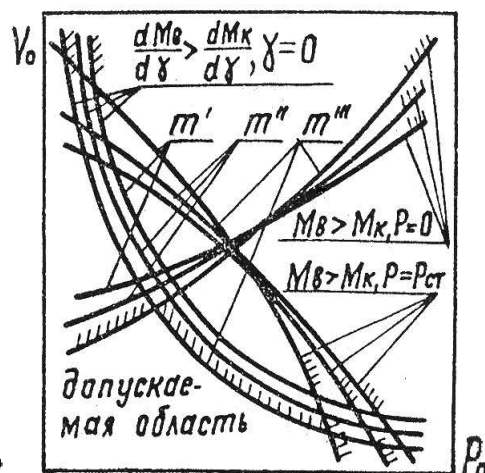


Рис. 2. Области допускаемых значений параметров зарядки по крену



Рис. 3. Общая блок-схема выбора параметров АС

опор ограничениями на диаграммы обжатия являются условия: не превышения максимальных по условиям прочности планера нагрузок (P_{max}), обеспечение преодоления неровности на разбеге и пробеге, не превышение максимального значения начального объёма газа ($V0_{max}$), не превышение максимального ($P0_{max}$) и превышение минимального ($P0_{min}$) значений давления зарядки. Дополнительно по передней опоре – обеспечение управляемости, по основной опоре – обеспечение устойчивости по крену.

Типовой вид области допускаемых значений параметров зарядки амортизатора основной стойки, обеспечивающих устойчивость по крену во всем диапазоне масс (m' , m'' , m''') показан на рис. 2.

Задачей второго и третьего этапов является уточнение в статических и динамических расчетных случаях параметров АС в составе самолета. Определение параметров дроссельных отверстий амортизаторов производится на третьем этапе, а их уточнение и доводка на четвертом.

Общая схема выбора параметров АС МОШ самолёта приведена на рис. 3.

Для описания работы АС на первом и втором этапах разработана система определения характеристик шасси и самолёта при стоянке и проведении погрузочно-разгрузочных работ, состоящая из двух независимых алгоритмов и программ для ПЭВМ [8].

Программа расчета характеристик стоек шасси с выводом результатов в виде таблиц и графиков. Программа позволяет определить кинето-статические характеристики амортизационных стоек шасси пяти кинематически различных типов стоек.

Программа расчета характеристик стоек шасси и самолёта при стоянке и проведении погрузочно-разгрузочных работ. Программа позволяет определить характеристики шасси и самолёта (нагрузки на стойки шасси, обжатия амортизаторов и шин, стояночный угол, базу шасси, высоты заданных точек на самолёте, например, высота грузового порога, грузолюка, двигателя и др.) при стоянке самолёта и проведении погрузочно-разгрузочных работ на самолёте в зависимости от веса и положения центра тяжести самолёта, весов погружаемых грузов, координат центров тяжести грузов при известных параметрах (геометрические параметры шасси и самолёта, параметры зарядки амортизаторов и шин). Полученная система нелинейных алгебраических уравнений решается численным методом.

Показаны условия обеспечения устойчивости самолёта на земле по крену. Применение разработанной модели кренения, как подтвердили лётные испытания, позволяет обеспечить на этапе проектирования достаточную устойчивость и приемлемый угол крена на стоянке.

Для динамического моделирования АС в составе самолёта разработаны алгоритм и программа для ПЭВМ [9]. Программа описывает в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка горизонтальное, вертикальное и угловое движение самолета как твердого тела, а также подвижных масс опор шасси. При этом учитываются действующие на самолет аэродинамическая подъемная сила, аэродинамический демпфирующий момент, компоненты нагрузок от опор шасси. Опоры шасси - упругие. Осевая сила амортизатора складывается из силы сопротивления сжатию газа, силы трения и силы гидравлического сопротивления, пропорциональной квадрату скорости обжатия амортизатора. Вертикальная нагрузка, действующая на пневматик определяется по его обжатию. Продольная нагрузка определяется как произведение

вертикальной на коэффициент, зависящий от скорости проскальзывания пневматика.

Таким образом, программа позволяет определить внешние нагрузки, действующие на самолет и кинематические параметры шасси в посадочных случаях нагружения и в процессе моделирования копровых сбросов, а также при преодолении неровности аэродрома.

С целью учета конструктивных особенностей, влияющих на работу двухкамерных амортизаторов разработана детальная математическая модель. При этом изолированная стойка шасси схематизируется трехмассовой моделью. Упругость конструкции в вертикальном и продольном направлениях моделируется линейными пружинами. Последовательная связь газовых камер посредством гидравлического канала описывается дифференциальным уравнением второго порядка, учитывающим инерционность жидкости. Параллельно работающие камеры описываются двумя уравнениями первого порядка, учитывающими скорость изменения давления в камерах. Полученная общая система дифференциальных уравнений решается численным методом.

Создание на ранних стадиях проектирования высокоточных компьютерных моделей, с использованием современного пакета программного обеспечения для конструирования в машиностроении MSC.Adams компании MSC.Software значительно сокращает сроки проектирования и доводки АС [10].

Динамические копровые испытания основных опор шасси, оборудованных колесами с шинами выполняются на универсальных стендах-копрах. Испытания на работоёмкость с поглощением нормированных НЛГ работ проводятся с полной разгрузкой (имитация аэродинамической подъемной силы самолёта), с раскруткой и без раскрутки колес. В процессе испытаний регистрируются следующие параметры: вертикальная, горизонтальная и боковая составляющие усилий по колесу; вертикальное перемещение центра тяжести клетки; ход штока амортизатора, а также давления рабочей жидкости и газа в камерах амортизатора и напряжения в элементах конструкции.

Проверка стабильности характеристик амортизации при повторных сбросах проводится с полной разгрузкой. При этом выполняется серия из трех сбросов на поглощение эксплуатационной работы с частотой не менее двух сбросов в минуту, затем пять сбросов подряд и через пять минут выдержки еще два сброса подряд. Испытания на многократные сбросы [1] проводятся при нагрузке, соответствующей поглощению амортизацией заданной эксплуатационной работы. Испытания проводятся до 12000 сбросов. Через каждые 1000 сбросов выполняется проверка стабильности характеристик амортизации при многократных сбросах.

Тестирование показывает, что в сопоставимых условиях максимальные нагрузки, полученные при копровых испытаниях, незначительно отличаются от максимальных нагрузок, полученных расчетом копрового сброса. Отличия в полученных характеристиках по нагрузкам для эксплуатационной работы составляют не более 5% с расчетным посадочным весом и не более 7% с расчетным взлетным весом, для максимальной работы – не более 10%

Выводы

Разработана методика выбора и доводки параметров АС классических трехопорных и многоопорных шасси транспортных и пассажирских самолётов. методика обеспечивает выполнение нормативных требований и

взаимозаменяемость конструкции амортизаторов основных опор, в том числе с обеспечением посадки с большим углом наклона продольной оси фюзеляжа к поверхности взлётно-посадочной полосы. При этом обеспечиваются возможность посадки транспортных самолётов в обычном режиме и режиме короткого взлёта и посадки без замены элементов АС и перезарядки амортизаторов, а также их жесткость, достаточная для обеспечения устойчивости самолёта по крену при стоянке и движении по аэродрому.

Применение методики обеспечивает обоснование параметров АС при проектировании, а так же сопровождение на всех этапах разработки, испытаний, сертификации, производства и эксплуатации самолёта и делает возможным их опережающую отработку путём компьютерного и полунатурного (исследовательско-пилотажный стенд) моделирования, сопровождение стендовых испытаний (статических и динамических), а также эффективную проверку в лётных испытаниях правильности их выбора. Применение компьютерных моделей значительно сокращает сроки проектирования и изготовления шасси при значительном повышении их качества.

Разработанные компьютерные модели могут быть использованы в интегрированной среде сквозного междисциплинарного моделирования, анализа и оптимизации шасси и самолёта в целом.

Список литературы

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет.
2. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes. CS-25. Amendment 11 4 July 2011. Annex to ED Decision 2011/004/R Amendment
3. Federal Aviation Regulations (FAR). Part 25. AirWorthness Standarts: Transport Category Airplains (FAR-25)
4. Ветчинкин В.П. Материалы по расчету и проектированию упруго-гидравлической амортизации шасси самолёта. Труды ЦАГИ, вып.592, 1946,104с.
5. Агладзе Ф.Г. Конструирование и расчет масляных амортизаторов шасси самолётов. Технические заметки ЦАГИ №59,1935,с.1-29
6. Белоус А.А. Методы расчета масляно-пневматической амортизации шасси самолётов. Труды ЦАГИ, вып. 622. 1947,104с.
7. Wahi Mahinder K. Oleopneumatic shock strut dynamic analysis and its real-time simulations. J. Aircraft 1976, 13, №4, 303-308.
8. Трофимов В.А., Кутелев М.М, Шинкевич Ю.П. Создание и внедрение автоматизированной системы расчета параметров самолёта при стоянке и проведении погрузочно-разгрузочных работ. Научно-технический отчет по НИР, № ГРУ59796, 1979, 84 с.
9. Кутелев М.М. Разработка и внедрение подсистемы определения рациональных параметров многорежимной амортизационной системы многостоечного шасси в разделе "ШАССИ" САПР-АН. ЦНТИ "Волна", Научно-технический отчет по НИР, №ГРУ73575, 1991, 22с.
10. Кутелев М. М., Балалаев А.В. Современные методы математического моделирования амортизации шасси при проектировании самолётов. Тезисы докладов 1X Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП "Промислова гідроліка і пневматика", 23-24 квітня 2008р. г. Кременчук, 2008

Рецензент: к.т.н. Е. Т. Василевский, ГП «Антонов», Киев
Поступила в редакцию 05.09.12

Особливості проектування амортизаційних систем шасі транспортних і пасажирських літаків

Описано особливості вибору і обґрунтування параметрів амортизаційних систем шасі вантажних і пасажирських літаків. Особливості виявлено автором у процесі досвіду участі в розробці, тестуванні, доводці і підтриманні льотної придатності в експлуатації літаків, аналізу літературних даних щодо вітчизняних і закордонних літаків, нормативно-технічної та іншої документації.

Ключові слова: амортизаційні системи шасі, транспортні та пасажирські літаки, випробування, льотна гідність, експлуатація літаків.

Features of designing of landing gear shock absorbing systems of transport and passenger aircraft

Peculiarities and background of selection of parameters of shock absorbing systems of transport and passenger aircraft are given. Features are identified by the author during many years of experience and personal participation in the course of development, testing, improvement and maintenance of airworthiness of aircraft, analysis of published data on domestic and foreign aircraft, the technical and other documentation.

Keywords: shock absorbing systems of landing gear, transport and passenger aircraft, tests, airworthiness, maintenance of aircraft.