

УДК 629.015

Исследование динамики посадки пассажирского самолёта

Рыбин А.В.

ОАО «Туполев», наб. Академика Туполева, 17, Москва, 105005, Россия

e-mail: avr-pbox.@yandex.ru

Аннотация

Задача динамики посадки остаётся одной из важнейших динамических задач расчёта самолёта, особенно в связи с тем, что большинство чрезвычайных ситуаций на воздушных судах по-прежнему происходит во время взлёта и посадки. В работе представлена упруго-массовая математическая модель самолёта, описывающая деформацию планера и сложную работу амортизации. Разработанная программа для препроцессора MSC.Patran значительно упрощает процесс построения и модификации модели, позволяет провести её оптимизацию. Смоделированы симметричные и несимметричные случаи посадки самолёта Ту-204СМ, приведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Ключевые слова: самолёт, динамика посадки, упруго-массовая модель, амортизация, численные методы.

Введение

Сложность задачи состоит в нелинейности работы амортизации, сложности конструкции планера, необходимости рассмотрения несимметричных случаев

посадки, включения в модель аэродинамических сил. Также важна возможность удобного и быстрого перестроения модели под различные расчётные случаи и типы задачи, универсальность применяемых методик.

Решение поставленной проблемы предлагается реализовать на основе следующих основных положений:

1.Использование математических моделей стоек шасси, учитывающих конструктивные особенности механизма и нелинейные физические характеристики. Это позволит определять как в целом реакции на планер со стороны стоек, так и посадочные нагрузки на отдельные составные части стоек, провести анализ работы амортизации с учётом упругости планера (энергоёмкость, ход штока) с целью оптимизации её работы.

2.Использование упругой модели планера для определения нагрузок на конструкцию при посадке. Более того, как показывают расчёты, учёт упругости планера может снизить реакции стоек более чем на 10%.

3.Использование для расчёта одного метода (метод конечных элементов) в рамках одной программы (в данном случае пре- и постпроцессор MSC Patran и решатель MSC Nastran) позволит на одной модели решить несколько сопряжённых задач (определение частотного спектра планера, моделирование копровых испытаний стоек, наземные статические нагрузки модели «планер-шасси», динамические нагрузки на шасси и планер).

4.Использование языка программирования препроцессора (Patran command language) позволит полуавтоматически и достаточно быстро менять сложную

упруго-массовую модель планера при изменении её характеристик, соответствующих различным расчётным случаям.

Упруго-массовая модель планера с шасси

Конечно-элементная (КЭ) модель планера самолёта Ту-204СМ приведена на рис.1. Её собственные частоты и формы согласуются со значениями, полученными при частотных испытаниях. Погрешность не превышает 3%.

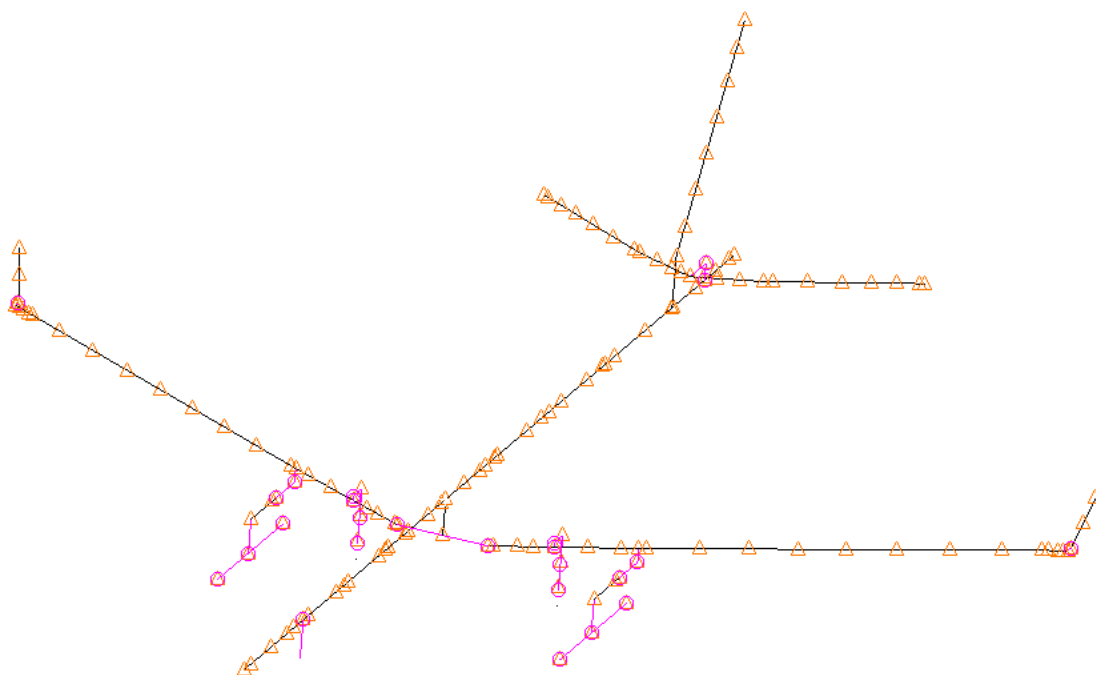


Рис. 1 КЭ упруго-массовая модель планера

На рис.2 показана КЭ реализация модели двухкамерного воздушно-жидкостного амортизатора основной опоры. Его работа описывается нелинейными вязкими и упругими элементами 1, 5, включение камер в работу, а также момент касания с землёй регулируются контактными элементами 2, 6, 10. Кривая вязких сил получена по зависимостям из [1]. Для решения полученных систем уравнений использовался итерационный алгоритм численного интегрирования MSC.Nastran.

Решение динамической задачи проводилось прямым интегрированием без разложения по собственным формам колебаний. Это позволило учесть высокие тона колебаний. В расчёт было введено структурное демпфирование. Величина глобального коэффициента демпфирования выбиралась на основе частотных испытаний, так, чтобы привести декремент затухания модели к экспериментальному. Работа амортизации проверялась на сравнении с копровыми испытаниями стойки (см. рис.3). Рассматривались два сброса с различными массами (половина массы самолёта) и скоростями снижения. В обоих случаях расхождение с экспериментом наблюдается только на обратном ходе. Это можно объяснить тем, что на обратном ходе в экспериментальной машине исчезает разгрузка, имитирующая подъёмную силу, которая в модели присутствует всё время.

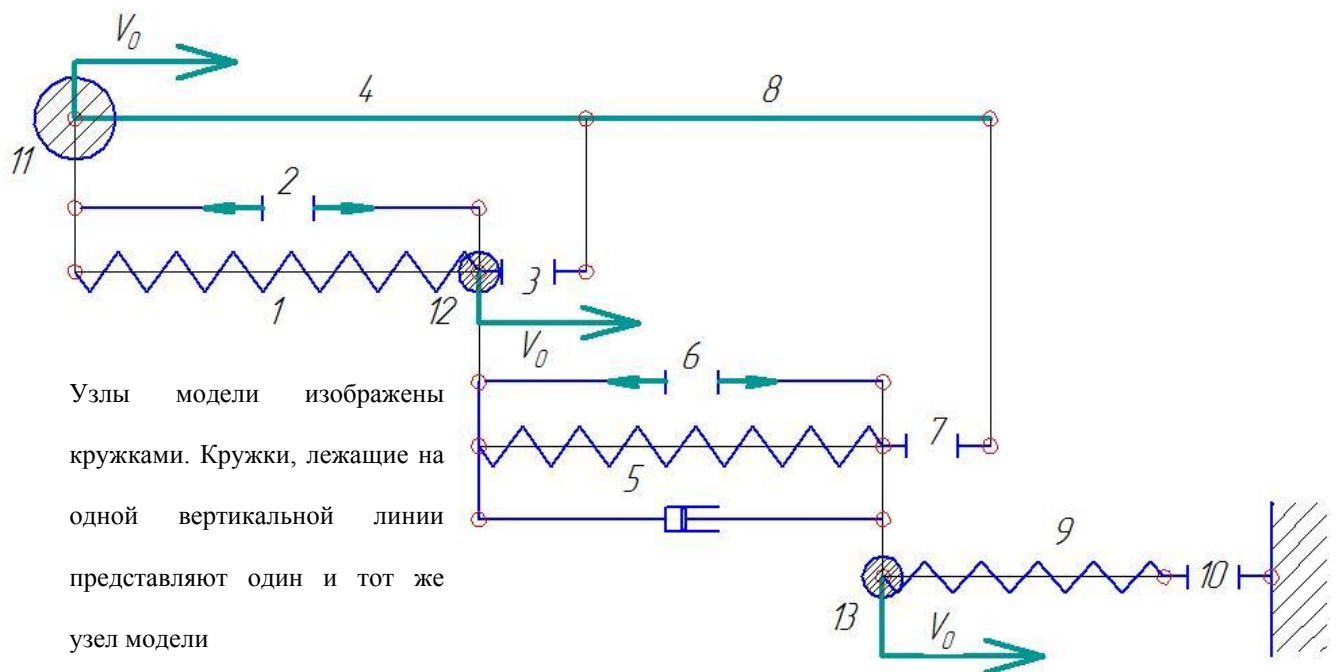


Рис. 2КЭ схема амортизатора

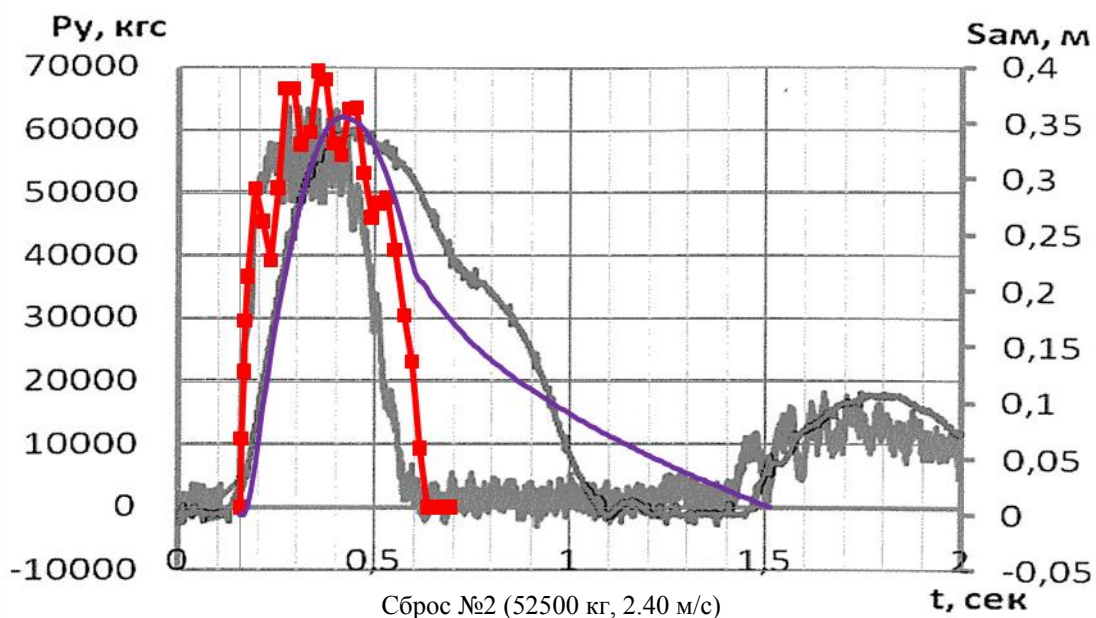
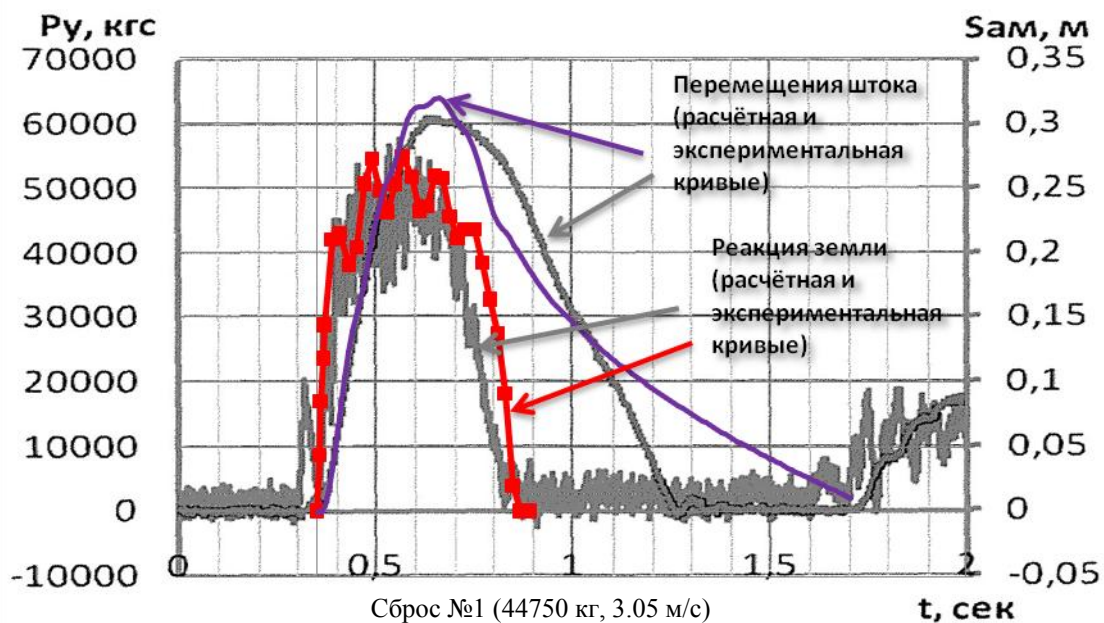


Рис. 3 Сравнение результатов расчёта с данными по копровым сбросам

Симметричная посадка на две опоры

Построенная модель позволяет провести расчёт посадки самолёта на две опоры без учёта аэродинамики и лобовых сил, действующих на шасси. Тем не менее, результаты удовлетворительно согласуются с лётными данными. Рис.4

демонстрирует деформацию планера в момент максимального обжатия стоек. Эти данные дают информацию о величине перемещений в конструкции. Для вопросов прочности важную информацию имеют величины перегрузок в различных агрегатах самолёта. Их изменение по времени во время посадки показано на графиках рис.5. Сравнение реакций опор жёсткого и упругого планеров (см. рис.6) показывает, что упругий планер снижает нагрузки примерно на 10%, что является характерной особенностью самолётов подобного типа. Этот результат согласуется с результатами, полученными в работе [2].

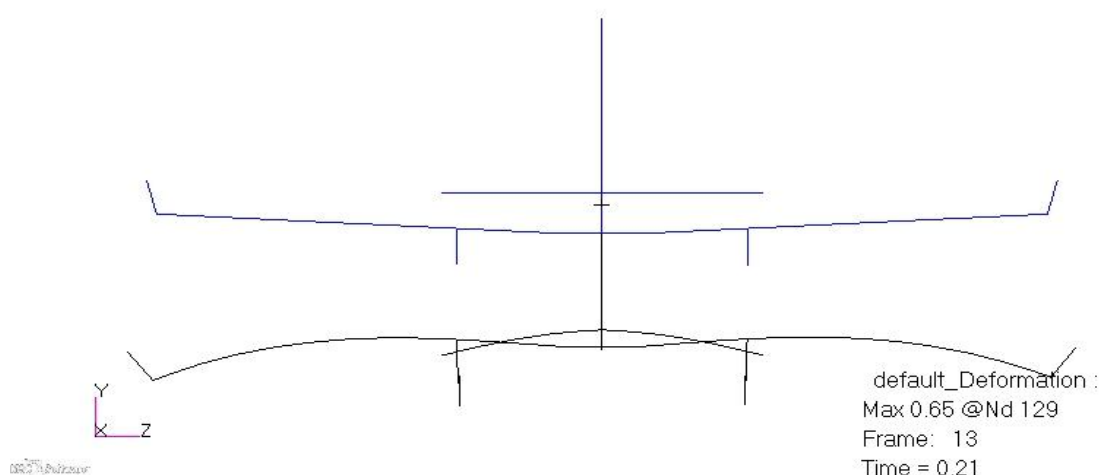


Рис.4 Деформация планера в момент максимального обжатия стоек

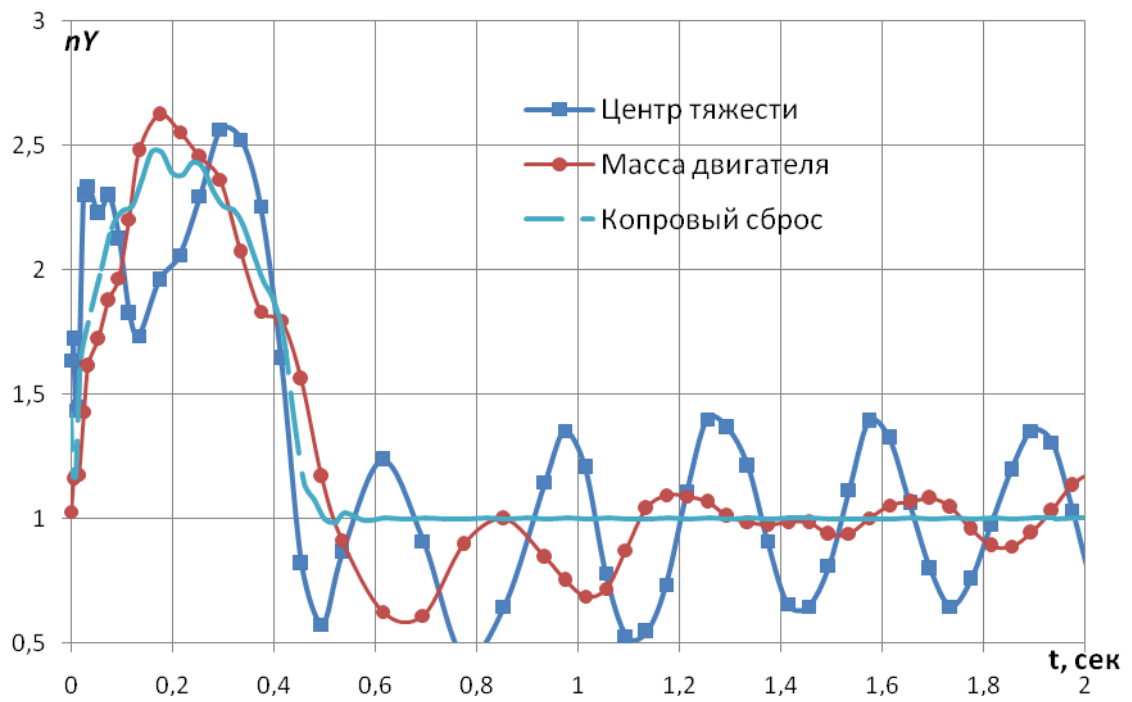
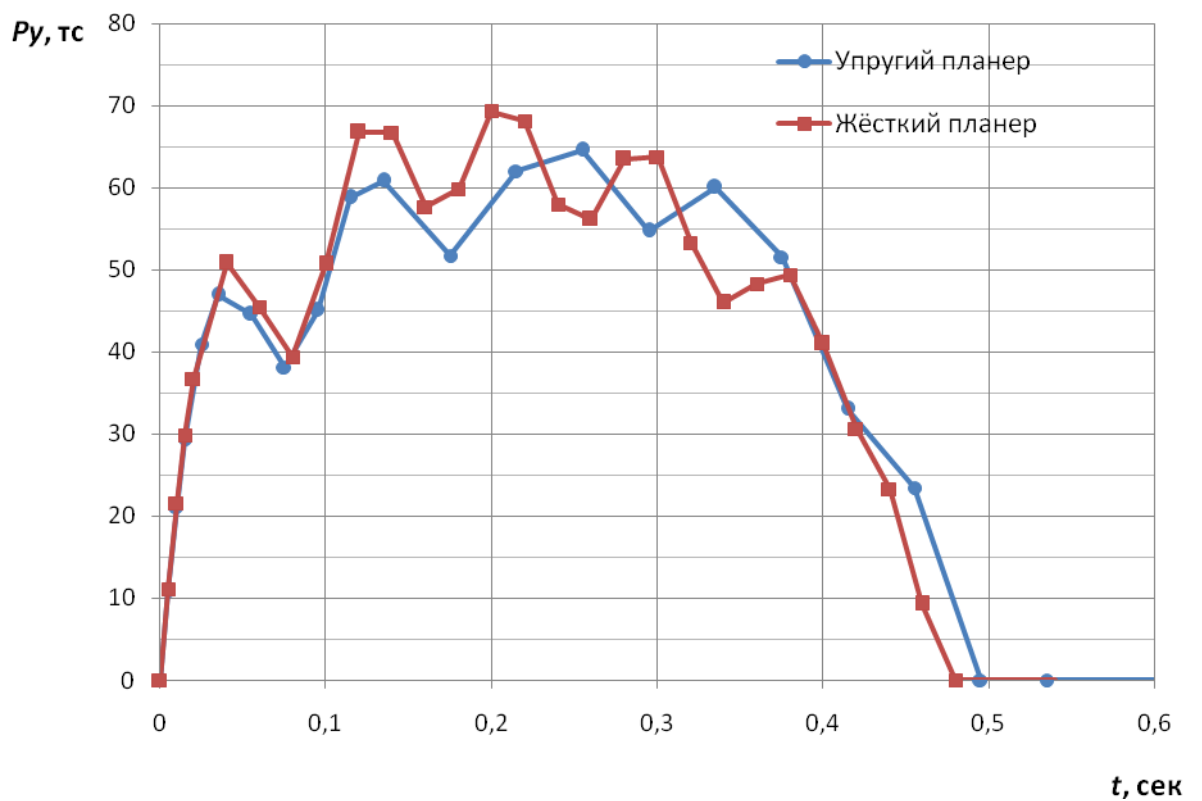


Рис. 5 Изменение перегрузки в первые секунды



посад

Рис. 6 Сравнение реакций опор жёсткого и упругого планеров

Несимметричная посадка

В случае посадки самолёта с креном получена зависимость нагрузок на опоры в зависимости от угла крена при одинаковой скорости снижения (см. рис. 7). Изменение величины максимальной реакции идёт до тех пор, пока второй удар происходит до полного восстановления амортизатора первого удара. На графиках так же приведены кривые изменения максимальных нагрузок с поправкой на то, что величина реакции меньше за счёт появления боковой составляющей.

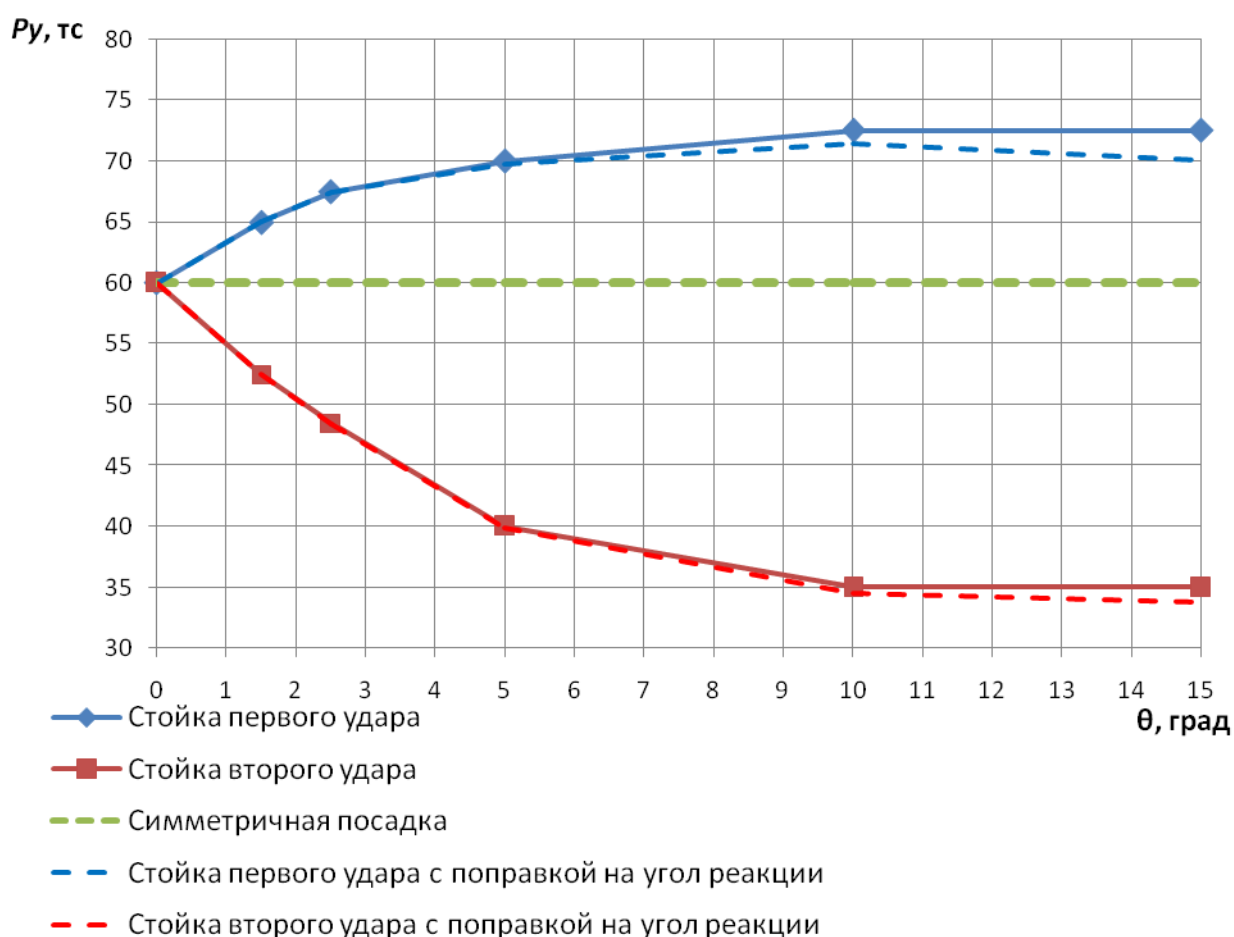


Рис. 7 Максимальная величина реакции опор в зависимости от угла крена

При несимметричной посадке с малой вертикальной перегрузкой (например, лёгкий самолёт, малая скорость снижения) есть опасность того, что может не обжаться одна или две стойки. На рис. 8 показаны кривые изменения нагрузок на

стойки при первом и втором ударе для различных скоростей снижения. Кривые одного цвета соответствуют одной скорости снижения. Из графиков видно, что при скорости снижения меньше 0.35 м/с реакция опоры второго удара не превосходит силы давления предварительной зарядки камеры низкого давления $P_{0, \text{низ}}$ и обжатия стойки не происходит. При скорости меньше 0.17 м/с ни одна стойка не обжимается. Изучение посадки такого случая имеют актуальность в связи с произошедшей 29 декабря 2012 года авиакатастрофы самолёта Ту-204, при близких условиях во время посадки.

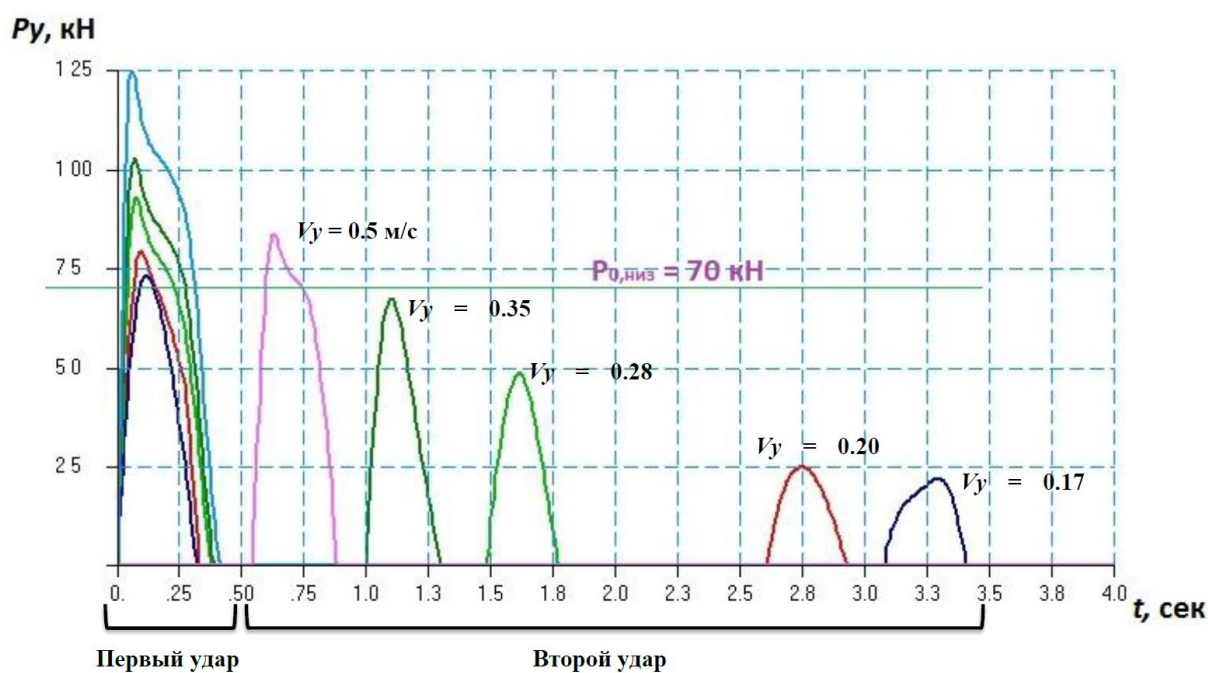


Рис. 8 Реакции стоек при посадке с различными вертикальными скоростями и креном 1.25°

Заключение

Разработана методика построения конечно-элементных моделей упругого планера с нелинейными упругими моделями опор шасси, основанная на

использовании препроцессора MSC Nastran и решателя MSC Nastran. Подобная задача решена так же с помощью программы MSC.Nastran для симметричного случая посадки методом разложения по собственным формам в работе [1]. Авторы [3] использовали для этого свою программу IMAD.

Доказана адекватность построенных математических моделей и их соответствие реальным механизмам на основе частотных испытаний планера, копровых испытаний шасси, лётной практики рассмотренного типа самолёта и его аналогов.

Разработанная программа для построения модели по исходным данным табличного вида должна значительно упростить работу с моделью и способствовать её внедрению в процесс проведения расчётов по динамике посадки.

В дальнейшем планируется усовершенствовать модель и методику учётом аэродинамических сил, сил трения и прочих факторов.

Библиографический список

1. Белоус А. А., Методы расчёта масляно-пневматической амортизации шасси самолётов, Москва: Бюро новой техники, 1947.
2. Рычков С.П. Динамика посадки.
3. Снисаренко Т.В., Чубань В.Д., «Математическое моделирование динамических нагрузок при взлёте и посадке упругого самолёта», Учёные записки ЦАГИ, т. XXXIX, № 3, pp. 63-76, 2008.