



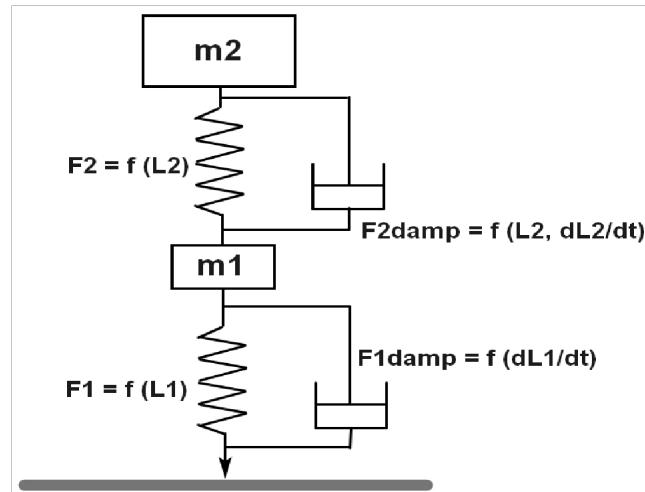
# Моделирование работы стоек и шин

## Отчёт о разработке

Эта статья направлена на демонстрацию уровня детализации DCS при моделировании работы различных физических систем. Мы также расскажем, как преодолеваются трудности технического порядка, возникающие в процессе, в том числе при работе с противоречивыми справочными данными.

### Eagle Dynamics SA

Разработка новой модели подвески в DCS прошла довольно долгий путь до её внедрения в нашу лётную модель. Ранние наработки в этой области реализовывали однокомпонентную механическую систему с одним нелинейным пружинным элементом и одним демпфером. Эта модель представляла собой типичный усреднённый отклик для двух взаимосвязанных колебательных систем: шин и амортизаторов. Для широкого класса шасси самолётов она давала удовлетворительные результаты. Однако по мере добавления в DCS новых самолётов мы столкнулись с трудностями при точной настройке модели под имеющиеся референсные данные, поскольку однокомпонентная система не могла точно представить ярко выраженные нелинейные компоненты. Например, у самолёта могут быть относительно мягкие шины, но очень жёсткие стойки.



В новой модели используется *двухкомпонентная* система, состоящая из стойки и шины, соединённых последовательно. Это классическая модель для практики, но основная сложность моделирования заключается в том, что она требует численного решения большого количества нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. Уравнение такого типа включает в себя данные о перемещении, а также скорость (как первая производная) и ускорение (вторая производная).

Закончив с созданием рабочего математического алгоритма расчетов, мы добавили в него различные типы стоек, каждая из которых имеет свои характеристики упругости пружин и амортизации на основе имеющихся реальных образцов авиационной техники. Наша новая модель теперь может работать со стандартными газо-масляными стойками, имеющими асимметричную демпфирующую характеристику, подвесками на базе резиновых упоров (такими, как на самолете Mosquito), принятыми в автомобиле-и-танкостроении пружинно-амортизаторными парами и даже с двухходовыми газо-масляными стойками. Коэффициент демпфирования подвесок на масляных амортизаторах зависит от смещения стойки, как и у их реальных аналогов, что повышает эффективность стойки. Каждый тип демонстрирует различные зависимости силы реакции на степень сжатия и скорость перемещения.



Модель включает в себя множество параметров, которые могут быть настроены с высокой точностью при наличии данных об испытаниях конкретной подвески на сжатие, как при статических, так и при динамических нагрузках.

В процессе работы, нами был создан специализированный рабочий стол для моделирования испытаний, проводимых при исследованиях гасящих свойств подвески. Этот инструмент позволяет оперативно вносить коррективы, используя как имеющиеся данные заводских или других испытаний, так и определять недостающие параметры при проектировании новой системы взаимодействия стойки/шины по заданным известным, такими как размер шины и полный ход стойки.

Различные испытания методом падения нацелены на получение различных зависимостей, например: график величины движений в стойке и шине на выделенном временном интервале; или сила реакции в зависимости от общей величины перемещений (графики поглощения энергии) и другие.

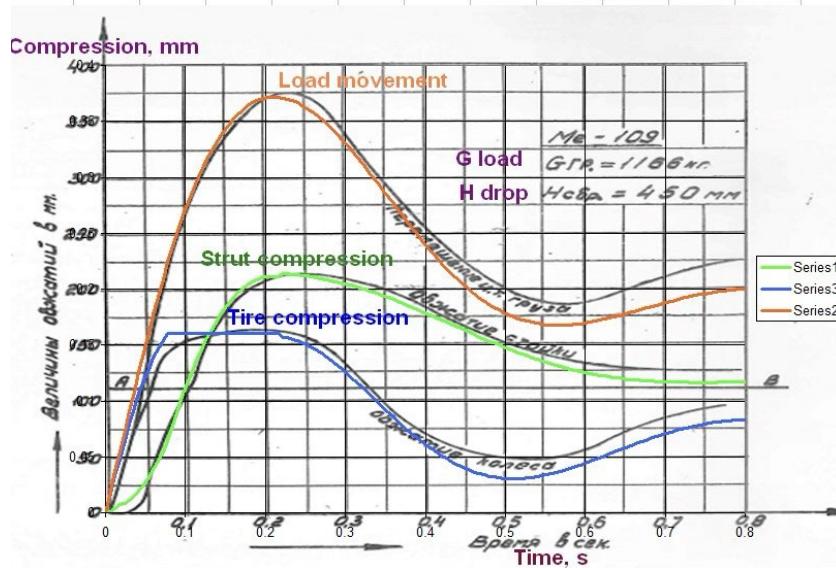
Для проверки точности моделирования гасящих свойств нами была выбрана основная стойка шасси Ми-38 (вариант Ми-8). Это двухступенчатая газо-масляная система амортизации.



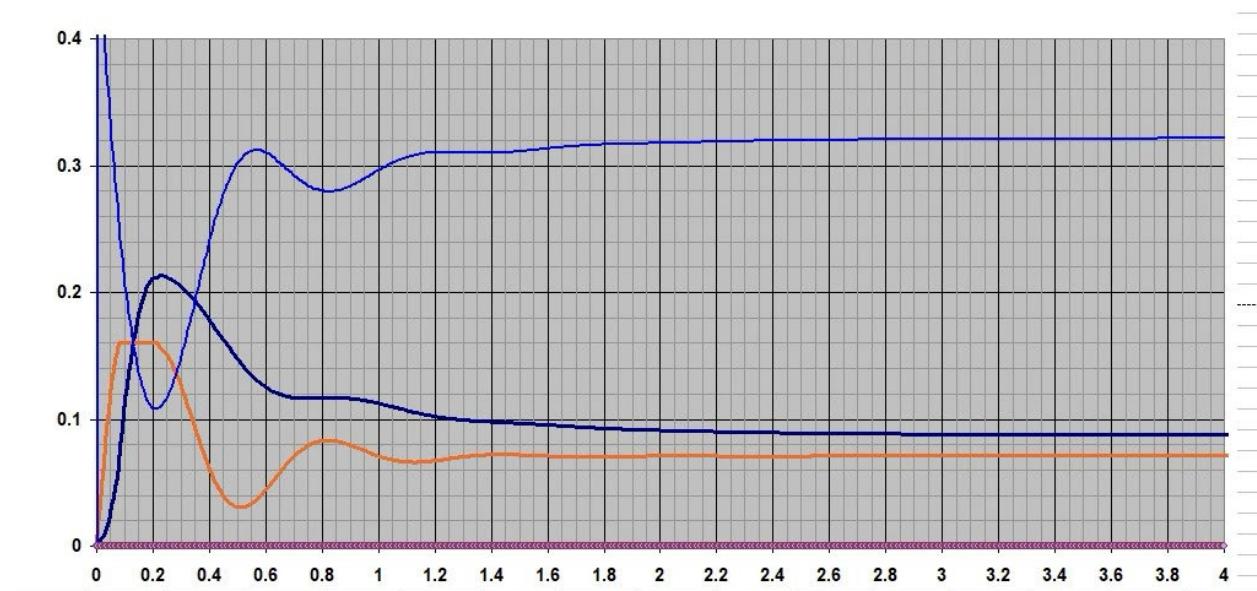


Данные реальных испытаний содержали сведения о нагрузке (массе), начальной скорости падения и коэффициент разгрузки, поэтому виртуальное испытание на падение проводилось при тех же условиях, и как видим – мы получили весьма точную аппроксимацию. Синий график – работа модели стойки в DCS, вторая зависимость – известные табличные данные стендовых заводских испытаний.

Следующим объектом испытаний стали стойки немецкого Messerschmittа Bf-109E на основе имеющихся сведений из сохранившихся технических отчётов о проведённых в Советском Союзе испытаниях ходовых свойств шасси этих самолётов во время Второй мировой войны. Хотя эти сведения и содержат противоречивые данные в графиках и тексте, касающиеся статического сжатия шины и амортизатора, его все же можно использовать для работы и демонстрации нашего потенциала моделирования процессов.



Почему мы говорим, что данные содержат неточности? Давайте разглядим поподробнее графики реакции:

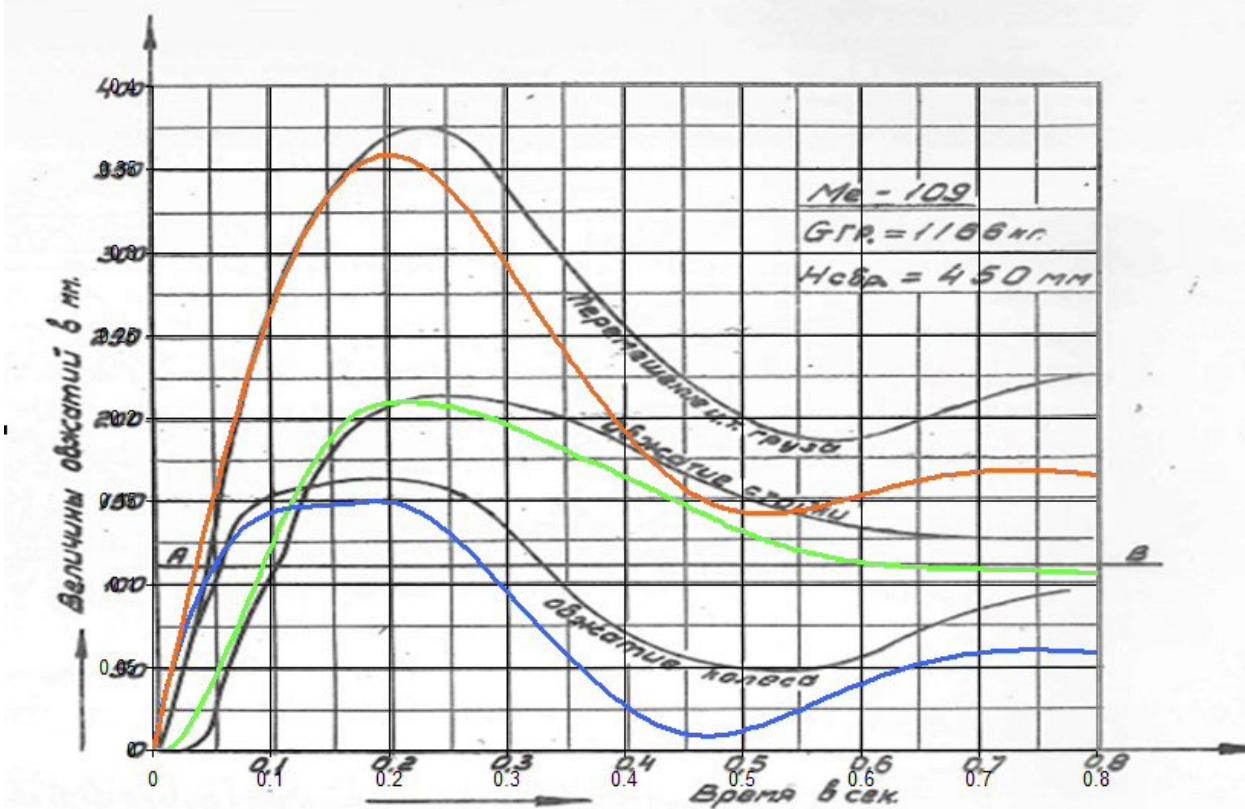


Нам бросаются в глаза две вещи: 1) записанное время отдачи стойки излишне велико, и скорее всего соответствует времени полного рабочего цикла на сжатие и отдачу. 2) статические положения шины и стойки, полученные при исследованиях переходных процессов (71 мм по шине и 87 мм по стойке) не соответствуют данным при нахождении самолёта на земле (47 и 63 мм соответственно).

Вес груза .....	6550кг
Высота сбрасываемого груза .....	14550м
Начальная дист. б/старт-ке .....	7150м
Начальная дист. б/лн-ке .....	9,350м
Размер пневматика:	
Стойкач. з/зм-лине стойки .....	63м
Стойкач. обм-лине лн-ки .....	47м
Движение ц.л. груза	



Мы не можем разъяснить это расхождение, по крайней мере, до тех пор, пока не сможем ознакомиться с содержанием полного отчёта об испытаниях. Тем не менее, нам вполне очевидно, что переходная характеристика работы шины с линейной характеристикой не может сходиться к статическому смещению на 47 мм, учитывая данные испытаний. Однако, настроив динамические параметры модели в соответствии с результатами испытаний, можно изменить статические параметры так, чтобы добиться статического сжатия, близкого к 47 мм и 63 мм.



И хотя у нас и нет краткосрочных планов по разработке 109E, мы вполне можем экстраполировать эти результаты на серию 109 G/K, учитывая первоначальные подходы к проектированию и дальнейшие известные изменения, внесённые в эти самолёты.



Как показывает практика подробные данные испытаний гасящих свойств подвески тестом на падение очень редко доступны, но при этом мы обычно можем найти статические данные для шин и стоек в двух крайних положениях: в полностью сжатом и в ненагруженном состоянии. И это позволяет ED провести достаточно точную настройку подвески в любой модели, даже при отсутствии полных данных.