ИНЖЕНЕРНАЯ РЕДАКЦИЯ 1 / НОЯБРЬ 2026

Модернизация Roadster Rocket

Техническое задание на воспроизведение манёвров и программу проверки с запасом 20%.



Исходный кузов C6I. Вид из CAD проекта.

Предмет	Результат редакции
Ближайший цикл	2,50 м → разворот на 180° → четыре опоры на 0,50 с. В условной внешней конфигурации цикл рассчитан. Темп целевой анимации остаётся открытым.
Полное покрытие	Семь эпизодов, восемь целевых траекторий, десять приёмочных случаев. Номинал и усиленный уровень принимаются раздельно.
Применимость	Требования к модернизации и цифровая проверка. Стендовое подтверждение, автомобильная компоновка и выпуск конструкторской документации предстоят.

Основания — действующее ТЗ R5, документы CARBON, каталог целевых анимаций, DEV35, опыт компоновки Argon и расчёты DEV36.

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ / 01

Назначение и границы разработки

Заказчик ставит две задачи. Первая — на текущем кузове проверить численно и затем на стенде управляемый цикл с отрывом, удержанием ЦМ на 2,50 м, плоским разворотом на 180°, мягким касанием и четырьмя опорами в течение 0,50 с. Вторая — закрыть весь набор манёвров показа и проектной реконструкции CARBON с 20-процентным запасом по назначенным показателям. Для всех этапов доказательство должно указывать конкретное исполнение машины.

Изделие. За исходную конфигурацию принять сборку C6I с хешем 645db17f4717f4747ead48376ecbf3b6deee1fb5496e6efd0f7809a25d47c85a. Базовый численный ряд DEV35 использует массу 3557,18 кг из R5, газовые карты AIR и динамику R3 с 14 степенями свободы. Отдельно учитывать расхождения с полноразмерной связанной моделью R5, особенно для пилотной ступени AIR и нелинейного контакта.

Объект выдачи. Один прослеживаемый вариант модели, ведомость конфигурации, параметрическая схема силовой установки, исходные и конечные состояния, проверочный код, сырые отсчёты, протоколы по эпизодам и публичная витрина ТЕКСТКАД. Сохранение габарита, облика и посадочной компоновки C6I является целью автомобильного исполнения. Внешний подъёмный стенд получает собственный паспорт и ограничение применимости.

Уровни результата. Для каждой строки указывать запрошенную цель, результат расчёта, применимость входных карт, подтверждение на нативной геометрии и статус физического опыта. Допуск к испытаниям и производству оформляется отдельным решением после проверки конструкции, системы высокого давления, силовой электрики и испытательной оснастки ответственными специалистами.

Приоритет. Первым закрыть энергетический ресурс висения и достижимость момента рыскания одновременно. Далее проверить посадку из состояния, которое дал этот же полёт. Лишь после этого переносить исполнение в рампу и перескок с проверкой масс, инерции и геометрии препятствий.

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ / 02

Состав конфигураций и наследование

CFG-01 · C6l / исходное исполнение. Зафиксировать массу с запасом газа, центровку, тензор инерции, положение водителя, штатные четыре GZ, кормовые GX, диапазон газовых карт, передаточные отношения подвески и тяговый электрический лимит. На точной копии входов воспроизвести исходные отрыв 0,335 с, высоту ЦМ 1,380 м, касание 1,706 с и превышение скорости заднего правого штока на 1,717 с. Допуск воспроизведения задаёт повтор DEV35 с уточнённым шагом. Записать версии кода и карт.

CFG-02 · Газовая модернизация в контуре автомобиля. Сохранить геометрию внешнего контура и потребителей штатной машины. Добавить четыре независимых поперечных канала, их массу, сдвиг ЦМ, питание, общий расход и приоритеты. Развести расход по источникам. Сопоставить вертикальный импульс, потребный в течение полного цикла, с доступным после выделения запаса на поворот и посадку. При выходе за карту сохранить реальную остановку.

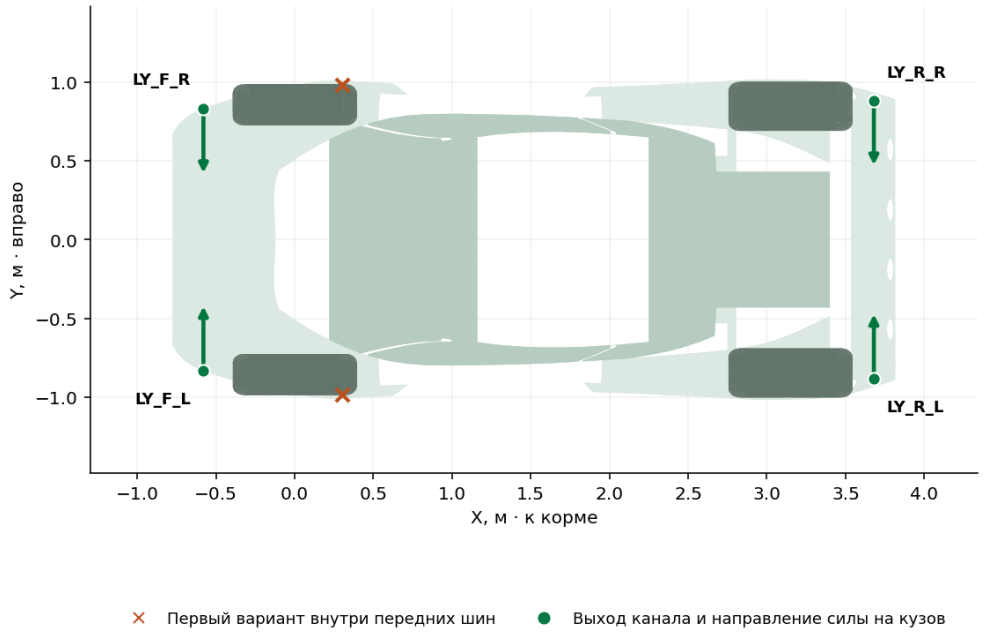
CFG-03 · Альтернативный стенд с электроподъёмом. Для исследования независимого висения проверить четыре внешних электрических подъёмных модуля и боковые каналы AIR. Включить массу привода, накопителя и силовой структуры, площадь дисков, потери, мощность, ход опор и фактический расход. Расчёт этого стенда служит оценкой потребных ресурсов. Перенос результатов в автомобильный контур требует отдельной компоновки с согласованными массой, функциями и габаритами.

CFG-04 · Критерий перехода к общей ревизии. Собрать ведомость для каждой новой позиции с источником массы и координатами. Пересчитать нагрузки, напряжение шины питания, тепловой режим, монтаж и обслуживание. Зафиксировать неопределённость для допущений. После изменения форсунки, массы, точки крепления, характеристики клапана, стойки или шины повторить затронутые случаи, сохранить предыдущий результат и записать причину его замены.

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ / 03

Компоновка боковых сопел

Исходный принцип. В Argon R2 шесть консолей образуют 12 боковых каналов. Для их заданных направлений существуют боковая сила, крен и рыскание. В отчёте Argon указаны 36 открытых пересечений адаптеров, а в витрине Argon отдельный стенд углового отклика использует условные команды. В Roadster для первого испытания плоского поворота принять четыре боковых выхода с двумя разнесёнными продольными станциями.



Система координат и команды. X направлен к корме, Y вправо, Z вверх. Передние выходы заданы в метрах (−0,58; ±0,83; 0,48), задние (3,68; ±0,88; 0,48). Левый выход создаёт силу +Y, правый −Y. Для положительного момента вокруг Z действуют передний правый и задний левый. При равной тяге боковая сумма обнуляется, плечо пары равно 4,26 м. Рыскание противоположного знака создаёт зеркальная пара.

Область проверки. Первый передний выход при X=0,30 м попадал в шину. После переноса чистая продольная дистанция от точки выхода до статического габарита шины составляет около 186 мм спереди и 135 мм сзади. Отступ оси выпускного среза от наружной поверхности составляет считаные миллиметры. Положение клапана, объём струи и отверстие кузова требуют отдельной проверки.

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ / 04

Интерфейсы и проверка боковых модулей

RCS-01 · Механическая сборка. Разместить клапанный модуль на неподвижной силовой базе. Для каждой стороны выдать систему крепления, вектор нагрузки, расчёт силового пути в раму, кинематические объёмы колёс при сочетании хода и руления, зоны открытия двери и капота, доступ к разъёмам и извлечению модуля. Контроль — нативный FCStd одной ревизии, ведомость конфликтов, сборочная последовательность и размерная цепь до кузовного выхода.

RCS-02 · Газовый интерфейс. Для каждого канала определить источник, измеряемые состояния до и после регулирования, обратный поток и изоляцию отказавшей ветви. В едином решателе одновременно учитывать подъём, рыскание, пилотные потоки, выпуск и потери в тракте. Карта бокового канала должна охватывать предполагаемые входные давления и температуры. Сравнить расчётные и измеренные тягу, расход, задержку и повторяемость импульса. Пока карта перенесена с GX, результат помечать как условный.

RCS-03 · Распределение усилий. Собирать в системе координат кузова полный вектор сил и моментов каждой ветви. Учитывать смещение ЦМ, только положительную тягу, давление, время открытия, лимит общего расхода и гидравлическое взаимодействие ветвей. В каждом отсчёте писать запрос, достижимое значение, фактический отклик и остаток. Подтвердить поворот обоих знаков с гашением угловой скорости и допустимым боковым уходом. Ранг матрицы дополнять проверкой достижимости по времени.

Достижимость пары. Боковые каналы в предложенном исполнении лежат на одной высоте. Их собственная матрица имеет ранг 2. При одинаковой силе по 1 Н в противоположно направленных переднем и заднем каналах получается момент ±4,26 Н·м с нулевой суммарной боковой силой. Для каждого из четырёх одиночных отказов закрытого канала расчёт пар показал потерю одного знака момента при условии нулевой боковой силы. Такой отказ прерывает допуск к развороту, пока отдельный восстановительный режим не проверен.

RCS-04 · Контроль и отказ. Сопоставлять датчики высоты, IMU, реакции опор, давление и ток приводов по общей шкале. Внести задержку и шум измерений. Для пропуска импульса, потери датчика или асимметрии ветвей предъявить обнаружение, доступный момент, состояние аварийного прекращения и остаток на посадку. Запретить начало фазы, для которой энергии или управляемости уже недостаточно.

RCS-05 · Сопряжение с экипажем и кузовом. Проверить зону струй относительно шин, остекления, наружных панелей, входов вентиляторов и персонала закрытого стенда. Подтвердить тепловые, акустические и механические ограничения по фактическим источникам и измерениям. Масса усилений, экраны и изменение проёмов входят в следующее массовое состояние.

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ / 05

Высота, ресурсы и посадка

LIFT-01 · Вертикальная способность. Высоту определять как мировую координату ЦМ над локальной площадкой. Для сравнения показывать также подъём ЦМ от старта и минимальную высоту шины. На каждой фазе предъявлять массу, вес, доступную и фактическую вертикальную тягу, наклон, потребный вертикальный импульс и минимальный остаток управляющего усилия. Стартовая пиковая тяга сама по себе не подтверждает удержание.

PWR-01 · Бортовая энергия. Считать энергию на зажимах батареи по интегралу измеренной или расчётной мощности в кВт·ч. Отдельно показывать подъёмные приводы, тягу колёс, вентиляторы юбок и вспомогательную нагрузку. Учесть пиковую и непрерывную мощность, длительность пика, КПД, снижение мощности по SOC и температуре. Для электроподъёма проверить суммарную площадь дисков, вход/выход потока, взаимное влияние, мощность и тепло на клеммах. Испытание с ограничением штатного питания обязательно.

AIR-01 · Баланс AIR. Записывать начальную и конечную массу по резервуарам, раздельный расход ветвей и остаток в пределах действующих карт. Проверять замыкание массы и ограничение одновременной подачи. Фиксировать положение селекторов и интервал переключения. Энергию подготовки газа оценивать по отдельному измеренному циклу зарядки или оставлять открытой. В отчёте сравнивать расходы на фазах и на одинаковой длительности либо явно обозначать разные интервалы.

LAND-01 · Заход. Состояние перед касанием брать из последнего отсчёта полёта. Проверять знаки направления носа и выбега, нижнюю точку каждого колеса, последовательность касаний, пиковую скорость каждого штока во всей записи, нагрузки шины и крепления, остаточный ход, отбой и пробой. Отдельную посадку из вручную заданной позы использовать только как компонентный опыт.

LAND-02 · Фиксация результата. У всех четырёх колёс одновременно должна быть реакция более 100 Н. Таймер выдержки сбрасывается при потере контакта или нарушении пределов устойчивости. Выдать время первого касания, начало и конец выдержки, максимум штоков и остаточные линейные и угловые скорости. Критерии основного и усиленного уровней приведены в приложении.

СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ / 06

Подсистемы, этапы и состав выдачи

Юбки и наземный прижим. По каждому из 128 каналов вести команды, фактический ход, синхронизацию и причины остановки. На стенде FL_W0/W1 проверить соседние положения 15/225 мм, отдельный опыт разницы 4,375 мм, усилие выпуска, утечки и удержание троса при отказе. На четырёх зонах сопоставить утечку и доступный прижим с качеством поверхности и состоянием юбок. Для рампы допускается переход к инверсии только по одновременно проверенным газовым, механическим и контактным состояниям.

Ходовая, рама и кабина. Провести локальные опыты шины, стойки и крепления на фактическом диапазоне хода, демпфирования и сочетании вертикальной и боковой нагрузки. Подтвердить путь нагрузки до креплений кабины и рамы. Для наружной надстройки учесть плечи, крутящий момент, обтекание, дополнительную массу и инерцию. Проверить аварийный выход, монтаж и видимость в рабочем объёме.

Этап	Ответственная функция и материал	Условие перехода
G1 · Зафиксировать исходник	Системный инженер. Паспорт C6I и полный набор входов.	Воспроизведены контрольные события DEV35.
G2 · Идентифицировать узлы	Пневматика, электрика, ходовая. Карты, задержки, неопределённость.	Каждый вход внутри области данных либо зарегистрирован блокирующий вопрос.
G3 · Замкнуть компоновку	CAD и расчёт прочности. Файл сборки, массы, интерфейсы, габариты струй.	Совместная ревизия удовлетворяет габаритам выбранного исполнения.
G4 · Проверить динамику	Моделирование и независимая проверка. Номинал, запас, отказы и серия.	Для каждой строки известен первый нарушенный критерий или получен зачёт.
G5 · Провести испытания	Профильные ответственные за стенд, измерения и эксплуатацию.	Согласованы условия, инструментальные погрешности и протоколы по экземпляру.
G6 · Выпустить документацию	Руководитель проекта. Комплект CAD/КД, BOM, тесты, модель и витрина.	Восстановлены результаты по хешам и подписано решение о применимости.

Сохранять причины изменений, ответственного, данные до/после и список проверок, утративших силу. Независимо закрывать пять приоритетов проекта и основную серию AIR/N□ 5 м. Учёт опытов DEV36 вести отдельно до проверки применимости их модели и состава.

РАСЧЁТНАЯ ПРОВЕРКА / DEV36

Что подтвердил расчёт модернизации

Достигнутый режим. При начальной массе 5447,18 кг внешняя установка подняла ЦМ до 2,510 м. Продолжительность непрерывной полки составила 8,16 с. Разворот на +180° завершился за 3,804 с после команды. На первом касании курс составил 179,99998°. Все четыре опоры выдержаны 0,650 с при максимальной скорости штока 0,127 м/с. Тот же расчёт в противоположном направлении дал 3,804 с. Это результат цифровой модели надстройки.

Исполнение и условия	Движение и ограничение	Учтённые ресурсы до конца записи
Исходная C6I, DEV35, до 1,717 с	ЦМ 1,380 м, поворот до касания 0,082°, RR 1,126 м/с.	89,514 кг AIR и 0,00238 кВт·ч бортовой сети.
Боковые каналы со штатным подъёмом, команда плавного подъёма	ЦМ 0,552 м. Профиль команды отличается от DEV35.	94,635 кг AIR и 0,00438 кВт·ч за 2,918 с.
Внешний электроподъём, базовая попытка, до 15,204 с	ЦМ 2,510 м, разворот и четыре опоры. Пик 5,741 МВт.	29,845 кг AIR на рыскание, 16,297 кВт·ч на борту.
Та же надстройка, полка 3,00 м, до 15,426 с	ЦМ 3,012 м, полка усиленного профиля 8,058 с. Разворот 3,804 с.	29,845 кг AIR и 16,354 кВт·ч.
Ухудшенные параметры, +100 кг, снижение КПД	Время поворота 3,832 с, штоки до 0,130 м/с, выдержка 0,650 с.	30,630 кг AIR и 18,974 кВт·ч.
Ограничение питания опытной установки до 550 кВт	За 18 с опора сохраняется. Высота ЦМ до 0,453 м.	0 кг AIR и 2,703 кВт·ч.

Что ограничивает результат. Надстройка шириной 4,79 м требует около 7 м² дисковой площади, +1890 кг оборудования и расчётной шины мощностью до 6,5 МВт. В контуре автомобиля шириной 2,03 м такое исполнение не размещено. Тепловая отдача батареи, прочность рамы, взаимодействие потока с дорогой и колёсами остаются открытыми. В расходах приведены разные по длительности и исходу записи. Подготовка сжатого AIR в значения кВт·ч не входит.

Рубеж быстрого разворота. В отдельном опыте за 1,40 с достигнуто 103,07°, за 1,12 с — 68,49°. При текущей инерции идеализированный минимум пикового момента для разворота из покоя до покоя составляет около 58,1 и 90,8 кН·м соответственно. Начальная доступная пара даёт около 24,2 кН·м. Критерии полного темпа, автомобильной компоновки и повторяемости серии остаются открытыми.

ПРОГРАММА ПРИЁМКИ

Показ Tesla и правила сравнения

Что известно о показе

Tesla указывает для Thrust разгон с места до 60 mph менее чем за секунду, для Rocket — сопла по периметру с продольным, вертикальным и вращательным управлением. Производитель также заявляет возможность неподвижного удержания вверх колёсами с помощью разрежения. На странице модели опубликовано описание функций. Для численного сравнения требуется синхронный ряд с определённой системой отсчёта. Tesla Roadster

Проектный каталог связывает эпизоды разгона, рампы и перелёта с отметками видеозаписи. Объявленные 0,81 с служат ориентиром разгона. Вложения CARBON содержат описание пяти автомобилей, ориентиры высот, варианты интерпретации ориентации и предложения по рампе. Высоты 2,50 м для висения и 6,00 м у башни, как и длительности этих анимаций, выбраны авторами витрины. Статус каждой величины фиксируется до испытаний как заводское заявление, наблюдение видео, оценка CARBON, число целевой анимации или проектный критерий DEV36. Видео разгона · Рампа · Перелёт · Сценарии витрины

Для числового ориентира каждому монтажному плану присвоить идентификатор, PTS, ракурс, источник масштаба, видимые точки и оценку погрешности. Время между кадрами одного непрерывного плана допускается использовать при известной частоте. По стыку монтажных планов принимать только последовательность событий. Карты регуляторов, расход AIR и электроэнергия оригинала считаются неизвестными до появления первичных данных. Входные документы CARBON 1 · CARBON 2

Как применять запас

Выполнить **два уровня**. Номинальный опыт воспроизводит задание исходного эпизода. В отдельном опыте с запасом увеличить назначенные высоты, дальности, длительности удержания и минимальные зазоры в 1,2 раза. Максимально допустимые время разгона, скорость штока и погрешности уменьшить в 0,8 раза. Так, 0,81 с становится 0,648 с, а 1,00 м/с становится 0,80 м/с. Все перечисленные усиленные показатели одного опыта должны быть получены на одной траектории. Перенос на другое исполнение, более лёгкую массу или заново заряженный посреди прогона бак требует новой строки проверки.

Геометрию исходной рампы, число препятствий, оси и величины требуемых поворотов сохранять. Для них запас задаётся по ошибке, времени, запасу силы или зазору. Для расхода AIR/электроэнергии целевая анимация не даёт значения сравнения. Отчитываться в абсолютных единицах и сравнивать собственные варианты при одном задании и одинаковых начальных запасах. Экономию относительно Tesla вычислять можно при наличии сопоставимых первичных измерений.

МАТРИЦА ЭПИЗОДОВ / 1

Манёвры и критерии выполнения

ACC · Thrust

Номинальный опыт. С покоя до 26,8224 м/с (60 mph) за ≤0,810 с. Целевая оценка пути 10,863 м получена при постоянном ускорении.

Усиленный опыт. Та же скорость за ≤0,648 с.

Способ проверки. Отсчёт от первого разрешённого управляющего действия при исходном покое до первого достижения скорости ЦМ. Сохранить время начала движения, раскрутку колёс, фактическую дистанцию и ускорение. Время при выкате в 1 фут выводить отдельно.

RAM-P · рампа, доворот тангажа

Номинальный опыт. Физический заезд снизу, прохождение вертикали, последний нагруженный контакт в верхней зоне перед кромкой, доворот тангажа и разворот курса для правильного направления носа. Рампа шириной 4,50 м, высота кромки 20,85 м, угол касательной 170°. Целевые метки схода 5,70 с, выравнивания 6,84 с, отметки высоты 6,5 м в 7,28 с, посадочной позы 7,80 с.

Усиленный опыт. На том же профиле в одном проходе обеспечить зазор жёстких частей ≥30 мм вместо 25 мм, отношение нормальной реакции к весу в заданной перевёрнутой зоне ≥2,16 вместо 1,80, допуски касания из раздела 4.

Способ проверки. Последний нагруженный контакт локализовать у кромки в пределах последней колёсной базы по длине полотна, проверить сход обеих осей; отдельная регистрация потери опоры раньше границы. Сопоставить фактические времена с метками, удержание до схода и траекторию всего кузова.

МАТРИЦА ЭПИЗОДОВ / 2

Манёвры и критерии выполнения

RAM-R · рампа, полубочка

Номинальный опыт. На той же рампе показать вторую целевую ветвь с поворотом по крену на 180° и коррекцией тангажа. При касании колёса снизу, нос по ходу выбега.

Усиленный опыт. Выполнить те же ограничения по силе, зазору и посадке, что для RAM-P.

Способ проверки. Документировать кватернион и ориентацию трёх осей во времени отдельно для обоих вариантов. Нос по выбегу проверять скалярным произведением его горизонтальной проекции и направления движения. В покое использовать направление последнего ненулевого выбега.

ROW · kickflip над пятью автомобилями

Номинальный опыт. Без рампы перелететь пять неизменных препятствий. Ориентиры сцены — 13,1 м/с, 39,30 м дальности и 3,00 с полёта. Мировая высота ЦМ ≥8,20 м. Полная бочка 360° начинается около 0,65 с после отрыва, длится 1,70 с, проходит инверсию.

Усиленный опыт. Подтвердить ≥9,84 м по высоте и ≥47,16 м по продольной дальности от отрыва до первого касания. Те же пять препятствий. Требовать зазор огибающей ≥0,24 м против рабочего минимума 0,20 м.

Способ проверки. Построить непрерывную проверку движущейся наружной геометрии и колёс относительно всех пяти тел. Записать минимальный зазор к каждому, номер, время, точки его достижения, положение и угловую скорость при касании. Взаимное расположение препятствий фиксируется до оптимизации.

МАТРИЦА ЭПИЗОДОВ / 3

Манёвры и критерии выполнения

ENC · финал у башни

Номинальный опыт. Беспандусный вертикальный подъём, бочка 360° у неподвижной башни и посадка. Целевые ориентиры — 6,00 м мировой высоты и 3,00 с полёта.

Усиленный опыт. В отдельном опыте ≥7,20 м мировой высоты, тот же оборот. Боковой уход ЦМ от стартовой вертикали ≤0,20 м против проектного допуска 0,25 м.

Способ проверки. Выделить башню как препятствие, измерять трёхмерный зазор корпуса, колёс и выступов; показать инверсию и конечный курс. Отдельная строка для повтора после другого трюка со сквозным учётом запасов.

HOV · висение

Номинальный опыт. Подъём и удержание мировой высоты ЦМ 2,50±0,15 м в течение ≥1,80 с. В сцене полка 0,90–2,70 с, полный показ 4,00 с. На всей полке |Vz|≤0,15 м/с и горизонтальный уход от вертикали старта ≤0,25 м.

Усиленный опыт. Полка 3,00±0,12 м, ≥2,16 с при |Vz|≤0,12 м/с и уходе ≤0,20 м. Отдельно проверить ту же точность на высоте 2,50 м.

Способ проверки. Отсчёт непрерывной полки начинать после одновременного входа во все допуски, сбрасывать при любом выходе. Показывать стартовую высоту ЦМ, подъём и низ каждой шины над поверхностью раздельно.

МАТРИЦА ЭПИЗОДОВ / 4

Манёвры и критерии выполнения

YAW · плоский разворот

Номинальный опыт. После установления висения на 2,50 м выполнить управляемый разворот +180° и зеркальный −180° в отдельных опытах. Целевое окно 1,10–2,50 с, длительность ≤1,40 с. Во время поворота |крен| и |тангаж| ≤3°. Конечная ошибка курса ≤3°, остаточная скорость рыскания ≤3°/с.

Усиленный опыт. На полке усиленного HOV закончить разворот за ≤1,12 с. Угол задания тот же. Допуски углов и остаточной скорости сократить до 2,4° и 2,4°/с.

Способ проверки. На одной записи подтвердить высоту, боковой уход, фазу разгона и погашения вращения. Проверять развёрнутый азимут и знак оборота, конечную ориентацию и восстановление четырёх опор по разделу 4.

WALL · вакуумное удержание

Номинальный опыт. Достичь касательной 90°, удерживать позицию без поступательного движения не менее 1,00 с (полка 2,80–3,80 с в анимации) и вернуться на площадку. 9,1 м — оценка CARBON, у текущего профиля высота ЦМ на полке около 10,56 м.

Усиленный опыт. Та же стенка и положение, удержание ≥1,20 с. Допуск продольного смещения 20 мм против 25 мм номинала.

Способ проверки. Показать силы опор по осям, запас сцепления, перепад давления по зонам, утечку, состояния всех 128 сегментов, мощность вентиляторов. Для функции стационарного удержания колёсами вверх добавить отдельный опыт CEIL на горизонтальном потолке с теми же длительностями и проверкой срыва уплотнения.

МАТРИЦА ЭПИЗОДОВ / 5

Манёвры и критерии выполнения

AERO · активная аэродинамика

Номинальный опыт. Целевой численный манёвр в витрине отсутствует. По CARBON проверить выход закрылков до 80° и использовать >2 g как ориентир поперечного ускорения. В DEV36 принять установившийся поворот в обе стороны длительностью ≥1,00 с при фиксированных радиусе, покрытии, массе и состоянии шин.

Усиленный опыт. Испытательный порог 2,40 g относительно нижней границы 2 g и выдержка ≥1,20 с в повороте. Допустимый рабочий угол закрылков остаётся 80°. Фактическая польза от оперения устанавливается сравнением двух прогонов.

Способ проверки. Записать ускорение ЦМ в плоскости полотна, радиус, скорость, реакции и проскальзывания, положения приводов, электрическую мощность, условия ветра и карту аэродинамических сил. Выполнить парные прогоны при идентичном входе с фиксированным и активным оперением.

Уточнение геометрии рампы обязательно для обоих вариантов RAM. В витрине сопряжение G² имеет вход 9,00 м, дугу 24,439 м, выход 2,50 м и скорректированный радиус 10,235 м. Номинальный радиус 10,6 м из CARBON при остальных исходных размерах даёт другую высоту кромки. Испытывать замороженную редакцию профиля. Другая геометрия получает отдельный идентификатор. Оценку CARBON на машину массой до 1800 кг нельзя переносить на исходную массу C6I около 3557 кг. Усилия, прогибы и остаточные зазоры пересчитать для массы модернизированного исполнения и нагрузок его динамического ряда. Координаты и сверка геометрии

ПРОГРАММА ПРИЁМКИ

Общие критерии посадки и наземного останова

Принимаемая величина	Номинал	С запасом	Измерение
Скорость каждого штока FL, FR, RL, RR	≤1,00 м/с	≤0,80 м/с	Максимум модуля фактической скорости штока по всей записи, включая первый контакт. Передаточное отношение подвески указывается.
Непрерывная четырёхколёсная выдержка	≥0,50 с	≥0,60 с	Синхронная запись с реакцией каждого колеса >100 Н и одновременным выполнением критериев стабилизации. Отскок прерывает выдержку.
Крен / тангаж при первом касании площадки после рампы	≤3° / ≤4°	≤2,4° / ≤3,2°	Углы кузова к локальной площадке после раскрытия непрерывной ориентации, вместе с отклонением вертикали кузова.
Вертикальная скорость касания после рампы	≤1,80 м/с	≤1,44 м/с	Для каждого первого касающегося колеса привести скорость его точки по нормали к площадке, а также Vz ЦМ.
Перегрузка кузова при посадке после рампы	≤3,8 g	≤3,04 g	Пиковая удельная негравитационная сила в ЦМ в единицах g, с включённой реакцией веса в статике 1 g. Привести исходный временной ряд.
Нагрузка крепления каждой задней опоры	≤53 кН	Проектная цель ≤42,4 кН	Выход модели крепления по R4-MAN-011 с направлением нагрузки. Реакция шины или штока по отдельности эту величину не определяет.
Курс и полный останов	Ошибка курса при окончании выбега ≤3°, скорость ЦМ по полотну ≤0,05 м/с	Ошибка ≤2,4°, скорость ≤0,04 м/с	Рабочие допуски DEV36. Привязать курс к мировой оси выбега. Критерий полного останова применять после выбега, не в момент первого касания на ненулевой продольной скорости.

Для выдержки применять также условия R4-MAN-012 одновременно — |Vz ЦМ|<0,06 м/с, покомпонентно |ω|<0,03 рад/с, скорости подвески <0,03 м/с, команды и фактические открытия GX/GZ <0,005, наклон body-Z ≤15°. Для введённого канала рыскания при стоянке задать тот же предел нормированного открытия и подтвердить снятие тяги. Сохранить фактическое начало и конец непрерывной выдержки, отсутствие касания кузовом, запас хода/усилия и отсутствие вторичного отрыва. Площадка должна вмещать весь выбег с учётом неопределённостей. Требуемые длину/ширину и тормозной путь определить из траекторий; испытания начинать с зафиксированного направления выбега. Критерии действующего ТЗ

ПРОГРАММА ПРИЁМКИ

Программа стабильности и повторяемости

1. Зафиксировать входы каждой серии — CAD/SHA, массовую ведомость с газом и остатками, инерцию, геометрию, начальные температуры, давления, заряд, шины, покрытие, точки приложения и направления сил, ограничители, алгоритм управления, шаг решателя, частоту команд и версию ПО. Сценарии полной миссии запускать из статического равновесия. Локальные тесты от заданного касания полезны для идентификации и получают собственную классификацию.

2. Для каждого принятого исполнения исполнить по R4-MAN-013 полный факторный набор AIR и N□ × номинал, +20 кг, −10% доступной подачи, оба ухудшения вместе. Коэффициент прикладывать к физически доступному расходу с пересчётом состояния и тяги. N□ учитывается отдельным результатом от AIR. Наследуемая серия четырёх случаев 5 м и вертикальная проверка PHY-DYN-002 от старта с нижней границей подъёма ≥2 м ведутся в действующем треке.

3. Повторить каждый критический номинальный и худший случай на шагах Δt, Δt/2 и Δt/4 при неизменной физической частоте команд. Предлагаемые допуски двух последних шагов — ≤5 мм по высоте, ≤2 мс по касанию, ≤0,01 м/с по пику скорости штока, ≤2% по AIR и энергии. Неопределённость расчёта и измерений включить в невыгодную сторону каждого порога. Повтор прогонов с неизменными входами характеризует воспроизводимость решателя.

4. Для каждой отдельно заявленной серии выполнить минимум 500 реализаций на согласованных до прогона распределениях с регистрируемыми семенами. Рампа по CARBON задаёт давление ±5%, массу ±30 кг, μ□[0,95;1,30], боковой ветер до 5 м/с. Проектный расширенный диапазон — давление ±6%, масса ±36 кг, порывы до 6 м/с; диапазоны друг от друга физически зависимых температур/давлений задавать совместно. Пределы компонент валидировать отдельно. Дополнить случайные реализации детерминированными угловыми сочетаниями, помечать выход из области применимости. Привести минимум, максимум, квантили, число успешных, отказов и незавершённых.

5. Для принятия заявленного режима требуются 100% обязательных детерминированных случаев и 500/500 успешных независимых реализаций в каждом заявленном статистическом наборе. При 500 независимых испытаниях одной заранее определённой вероятностной модели без отказов односторонняя 95%-я нижняя граница вероятности успеха около 99,40%. Это относится к данной модели входов. Для натурной надёжности нужны измерения и программа квалификации. При оптимизации отделить обучающий набор от зафиксированного контрольного набора.

6. Проверить повторяемую эксплуатацию отдельным ресурсным сценарием — три последовательных цикла с зарегистрированными тепловыми состояниями, временем подготовки и расходом каждого цикла. Базовый вариант с регламентной заправкой и зарядкой требует записи внесённой массы/энергии и длительности. Бесперезарядная серия — дополнительная проверка, результатом служат фактическое число успешных циклов и состояние при прекращении. Перед следующим циклом проверить интервалы допуска давления, температуры, SOC и условия восстановления. Условие неограниченного количества последовательных полётов в этой постановке отсутствует.

7. Отдельно испытать безопасный исход при отказе одного канала, ограничении питания, ошибке датчика высоты/ориентации, асимметрии выпуска юбки и запаздывании исполнительных устройств. Критерий безопасности при отказе — корректное обнаружение, разрешённая резервная фаза или прекращение ещё до старта, соблюдение пределов оборудования. Успешное прекращение получает собственный исход «защита сработала» и учитывается отдельно от успешного выполнения трюка.

ПРОГРАММА ПРИЁМКИ

Ресурс и проверяемые записи

Для исходного и опытного вариантов на одинаковых условиях выводить kg AIR отдельно по резервуарам и потребителям, kg/s, P/T и остаток по времени. Учитывать подготовку к старту, положение клапанов, пилоты, утечки и переключения. Ошибка интеграла выхода и изменения массы должна укладываться в заранее объявленную погрешность. Одновременное использование запаса из общего резервуара учитывается одним балансом.

Давление и массу считать разными величинами. Для строк CARBON сохранять требование остатка давления ≥15% начального рабочего давления, усиленный критерий ≥18%. До прогона указать абсолютное давление в начале, контрольную температуру, способ учёта нескольких магистралей и минимальное рабочее давление карты. Дополнительно записать доступную массу и располагаемый импульс остатка. Само по себе процентное отношение давлений не гарантирует работоспособности следующей фазы.

Для электрической части писать кВт и интеграл кВт·ч на зажимах батареи. Показывать привод колёс, вентиляторы, насосы, клапаны, электронику, вспомогательную сеть и тепловой режим, потери и рекуперацию по знаку. Электроэнергия подготовки сжатого воздуха записывается отдельной строкой при наличии измерения или валидированной компрессорной карты. Ранее показанные 5 кВт в DEV35 покрывают принятую нагрузку бортовой сети; энергия сжатия в исходной записи отсутствует.

На витрине синхронизировать записанный кватернион, ЦМ, углы/скорости, реакции FL/FR/RL/RR, скорости штоков, фактические тяги, команду и отклик рыскания, время полёта и выдержку. Для каждого запуска фиксировать первую границу критерия и физическую границу применимости; показывать время и причину. Пакет данных включает CSV/JSON, единицы, идентификатор исполнения, происхождение компонент и контрольные хеши. Для высказывания «стабильно» предъявить распределение результатов и протокол серии.

ПРОГРАММА ПРИЁМКИ

Исходные пробелы и основание приёмки

Эпизод C6I	Наблюдение до модернизации	Доказательство, нужное для закрытия
Разгон	В базовой записи при 0,810 с скорость по земле 7,112 м/с, или 25,60 км/ч.	Достигнутые 26,8224 м/с с указанием начала отсчёта, веса, трения, расхода и ориентации.
Рампа	BASE_G2 утратила опору до кромки в 4,045 с, максимальный угол нагруженного участка 114,19°.	Связанный проход от старта до верхнего схода и остановки для каждой ветви RAM.
Перелёт ряда	ROW_GATE15_EARLY14 остановилась в 3,450 с у первого препятствия. Полностью пройдено 0 из 5.	Подтверждённый трёхмерный зазор для всех пяти и посадка после последнего препятствия.
Финал	Базовая запись C6I_MASS_HOP_LEVEL в архиве расчётов получила границу штока в 1,066 с.	Связанный подъём, инверсия, посадка у башни и полный выдержанный останов.
Висение и разворот	DEV35 получил высоту 1,380 м, 1,371 с в воздухе и максимум 0,082° по курсу при запросе 180°. После касания RR достиг 1,126 м/с.	Проверенные высота, устойчивость, разворот, ресурс и выдержка с фактической конфигурацией боковых сопел.
Стенка и аэродинамика	Для 90° есть заданная траектория. Для активного аэродинамического эпизода опубликованы ориентиры и справочный кадр.	Связать действующие CAD, стендовые зависимости уплотнения/приводов, силы/мощность и численный ряд для каждого случая.

Зачёт цифровой модернизации требует единой ревизии и полного исполнения программы. Сокращённый расчёт проверяет достижимость в своей области, полный связанный расчёт подтверждает совместимость подсистем, стендовые и натурные протоколы подтверждают физические свойства и пределы применения. Статус каждого этапа присваивается по его доказательствам. Предел исходного висения · Исходный прогон рампы · Протокол перескока

НЕЗАВИСИМАЯ ПРОВЕРКА

Ресурс штатной газовой системы

Оптимистичная верхняя оценка по всем табличным открытиям и остаткам штатных карт C6I даёт 57,813 кН·с на вертикальное движение. Только удержание полки 2,50 м в течение 1,80 с требует минимум 59,259 кН·с. Для полки 3,00 м длительностью 2,16 с — 71,521 кН·с. Взлёт, рыскание и резерв на посадку дополнительно расходуют ресурс.

Тракт	В баке на старте	В пределах карты	Импульс, верхняя оценка
T400 → GZ	127,237 кг	99,940 кг	40,702 кН·с
T200 → GZ	102,800 кг	42,112 кг	17,111 кН·с

Каждая ячейка карты получает наибольшее отношение силы к расходу в её узлах. Умножение этой оценки на располагаемую массу и суммирование по ячейкам даёт верхнюю границу. Для потребного импульса используется минимальная масса в диапазоне карты и самый выгодный допустимый перепад вертикальной скорости за полку. Тракт GX использует общий резервуар T200.

Предел относится к штатным картам AIR и данной массе. Более короткий диагностический опыт, иная установка или пересмотренная масса требуют собственного расчёта. Полная методика и проверяемый скрипт входят в приложение AIR_FEASIBILITY.

Решение для следующей итерации. Измерить или подтвердить новый источник вертикального импульса в автомобильном габарите. Замкнуть массу и инерцию. Затем одновременно проверить достаточность управляющего момента, остаток AIR после рыскания и энергорезерв посадки. Уполномоченный на изменение архитектуры принимает решение по отдельной компоновке после этих доказательств.

ПАСПОРТ ВЫПУСКА

Источники, версия и воспроизведение

01 ТЗ Roadster

TZ/requirements_effective_R5_20261118_4.json. Действующие требования R4-MAN и исходные критерии четырёх основных случаев AIR/N□. Дополнения этой редакции проверяются отдельно.

02 Оригинал и реконструкция

Функции исполнений Thrust и Rocket — Tesla Roadster. Интерпретация эпизодов, профиль рампы и параметры сцены — carbon-1.md, carbon-2.md и ВИТРИНА/demonstration/source/build_kinematics.py.

03 Argon

Нативный протокол базовых требований 12_RCS_NATIVE_RESULT.md и F:/ARGON/ВИТРИНА/support/nozzle_stand.json. Нативная ревизия AMI R2, SHA 504c99a1492b67c7b5d7c64914fa888faa50ffa67a1b1f6f10a41d4ab0fbfafd.

04 Цифровая модель

DEV35_HOVER и DEV36_UPGRADE/solver содержат раздельные конфигурации. Входы и их SHA записаны в candidate.json и verification.json. Геометрия, контроль лучей и исходник планового вида — DEV36_UPGRADE/layout.

05 Приёмка

DEV36_UPGRADE/requirements/ACCEPTANCE_MATRIX.json — реестр случаев, порогов, ограничений и происхождения данных. Файлы EPISODES_RU.md и AIR_FEASIBILITY_RU.md дают методику и доступные первичные записи.

06 Комплект и повтор

Восстановить указанные версии из паспорта. Запустить air_feasibility.py и проверки из solver. Сравнить исходный случай, номинал, зеркальный, уменьшенный шаг, ускоренные и энергетически ограниченные опыты. После пересборки витрины проверить DEV36_UPGRADE и манифест выдачи.