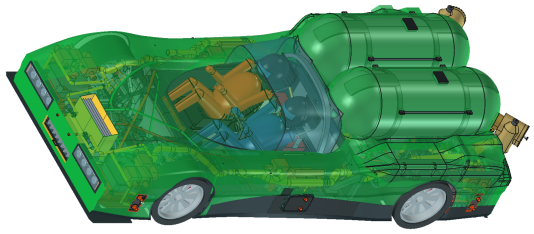
ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ · РЕДАКЦИЯ 1.0

Аргон V1 и V2

Консолидированная программа испытаний



V1 / Два места



V2 / Одно место

Статус обеих версий: инженерная компоновка и предварительные расчёты. Работоспособность комплектных машин в семи сценариях пока не подтверждена.

С чего начинать

Зафиксировать испытательную конфигурацию каждой машины. Затем измерить характеристики электротяги, тормозов, AIR и газовых каналов по отдельности. Совместные режимы допускаются после стендовой проверки защит, охлаждения и реакции на отказ.

Что входит в программу

Три варианта разгона, дальность и длительность, подъём по закруглённой рампе, отрыв с переворотом и прыжок на 5 м вверх с пролётом 25 м. Для каждого сценария заданы метод, измеряемые величины и условия перехода к натурной проверке.

Основа сравнения: актуальные CAD P1.18, расчётные материалы P1.14–P1.15 и инженерные аудиты систем. В программу включены сохранённые результаты проверок обшивки от 14 ноября 2026 года.

01 / ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ

Конфигурации и готовность

Версия	База для программы	Подтверждение по обшивке
V1	Двухместная P1.18 с удлинённым переходом задних кожухов. Новая модель сохранена и повторно открыта [1].	3 373 статические проверки шести изменённых деталей, 0 пересечений >0,01 мм³. Снятие центральной и крайних вставок проверено по позам. Снятие длинных кожухов открыто.
V2	Одноместная P1.18 с подогнанными крыльями, центральной кормовой накладкой и поперечиной. Модель повторно открыта [2].	Центральная панель и оба крыла проходят проверенные положения снятия. Прочность изменённых узлов и физический доступ инструмента открыты.

На что уже можно опереться

Есть нативные сборки и локальные проверки посадок, проходов, крепежа и съёма. Предыдущий интеграционный аудит изменённых деталей дал 12 352 пары V1 и 14 277 пар V2 без объёмных пересечений выше 0,01 мм³. Для последней правки V1 отдельно действует проверка шести деталей из таблицы. Сценарии движения и полёта этим аудитом не охвачены [1–3].

Главные ограничения допуска

Для каждой версии документально подтверждено 0 из 18 полных внешних цепей питания вертикальных приводов и 0 из 18 цепей обратной связи. Рабочие карты тяги, расхода, прижима и охлаждения требуют измерений. На текущие сборки ещё не перенесены проверенные массовые характеристики, моменты инерции и модели посадки [3–6].

Перед первым сравнением взвесить каждую машину по колёсам, зафиксировать балласт и состояние заряда, измерить центр масс и уточнить инерцию. Сопоставлять штатные конфигурации и отдельно проводить сравнение при согласованных условиях.

02 / СЦЕНАРИИ T01–T03

Три режима разгона

Одна закрытая прямая, одинаковые условия в каждой паре заездов. Порядок добавления систем: электротяга → кормовое ускорение → AIR.

T01 Электротяга

Что известно. Два тяговых канала с предварительными картами. В материалах P1.7 оценка 248 кВт на валах относится к расчётному 10-секундному режиму [6].

Проверка. Проверить каждый привод на динамометре, затем выполнить заезды с постепенным ростом скорости. Синхронно записать скорость, ускорение, момент, ток, напряжение, температуры, проскальзывание и тормозной путь.

Критерий. Стабильное управление и остановка в выделенной зоне. Токи и температуры в пределах выбранных компонентов. Целевые интервалы скорости и повторяемость закрепить до серии.

T02 Электротяга + кормовое пневмоускорение

Что известно. Четыре кормовых сопла питаются от общего коллектора через две параллельные отсечки DN28. Оценка 3,58 с на 90° дана для кинематики без газовой нагрузки [3, 5].

Проверка. На закреплённом стенде измерить тягу и импульс, падение давления, расход, охлаждение и увод по рысканию. На трассе сравнить с T01 при одинаковой нагрузке, скорости входа и начальном состоянии.

Критерий. Повторяемый прирост импульса при допустимых нагрузках. Прекращение тяги проверено под давлением, включая застревание клапана, потерю связи и питания.

T03 Электротяга + пневмоускорение + AIR

Что известно. AIR создаёт разрежение под днищем. Историческая модель при зазоре юбки 5 мм дала 33,79 кН прижима при 90,59 кВт электрического потребления. Карты вентиляторов и утечек ещё не измерены [7].

Проверка. Сравнить T02 и T03. Измерить давление по зонам, реакции колёс, зазор юбки, мощность AIR, скорость и расход газа. Отдельно проверить грязный фильтр, отказ вентилятора и потерю уплотнения.

Критерий. Прижим и устойчивость подтверждены при совместной нагрузке. Зафиксировать выигрыш или проигрыш по времени разгона, торможению и энергии.

По модели P1.15 при изоляции одного отказавшего вентилятора прижим снизился до 30,00 кН. При сочетании частично забитого фильтра и вентилятора, оставшегося открытым, получено 21,11 кН. Эти точки задают случаи стендовой проверки [7].

03 / СЦЕНАРИИ T04–T05

Дальность и рампа

T04 Дальность и длительность поездки

Что известно. Расчётный резерв батареи P50B 150s26p составляет около 70,2 кВт·ч по ячейкам. Полезная энергия собранной батареи, тепловые пределы и фактическая дальность открыты [6, 7].

Проверка. Задать повторяемый цикл со скоростью, остановками, нагрузкой и температурой. Провести отдельные серии AIR выключен, AIR включён по циклу и газ используется по заданному профилю. Измерить кВт·ч/км, время, давление и температуру газа, остаток энергии, нагрев и время восстановления.

Критерий. Достигнуты заранее утверждённые дистанция и длительность с минимальным резервом энергии и газа. На повторных циклах нет накопления перегрева или недопустимого снижения мощности.

T05 Подъём по закруглённой вертикальной рампе с AIR

Что известно. Полноценная расчётная и натурная проверка этого манёвра в материалах проекта не найдена. Прижим зависит от зазора юбки и утечек. Изменение кривизны меняет контакт колёс и положение днища.

Проверка. Построить модель контакта с заданным радиусом, уклоном, переходами и неровностями. Учесть реакции колёс, сцепление, подвеску, нагрузку от кривизны и утечку AIR. Проверить на стенде с удержанием, затем на беспилотной рампе с постепенным увеличением уклона.

Критерий. Запас по реакциям и сцеплению на всём профиле, допустимые зазоры и нагрузки, управляемый останов или удержание при потере прижима. Радиус, скорость и пределы зафиксировать по результатам стенда до заезда.

Переход к отрыву возможен после отдельного подтверждения схода с рампы, работы ориентации и способности остановить вертикальное снижение. AIR проверяется в контакте с покрытием.

04 / СЦЕНАРИИ T06–T07

Отрыв, манёвр и посадка

T06 Рампа → отрыв → переворот → управляемое снижение

Что известно. В проекте есть модель шести степеней свободы с переменной массой и упрощённая модель контакта. Расчёт полного манёвра с заданным переворотом и подтверждённая посадка не найдены [4].

Проверка. Согласовать ось переворота, углы, допустимое отклонение и условия отмены. Состыковать модель рампы с фазой полёта, тягой и моментами сопел по измеренным картам. Ввести задержки, ветер и отказы. Проверить управление на стенде с контроллером в контуре, затем беспилотный малый отрыв без переворота.

Критерий. Подтверждены требуемая ориентация, запас управляющего момента, допустимые угловые скорости, остаток газа и нагрузки при касании. Потеря датчика, канала тяги или связи должна отрабатывать по проверенному сценарию отмены.

T07 5 м вверх и 25 м вперёд через препятствие

Что известно. Скрининг P1.15 оценивал вертикальный отрыв. В V1 отдельные случаи достигли высоты, но критерии посадки не выполнены. У V2 расчётная высота была меньше 0,5 м [7].

Проверка. Зафиксировать геометрию препятствия, высоту входа и выхода, опорную линию высоты и границы посадочной зоны. Рассчитать разгон, отрыв, пролёт, ориентацию и торможение единым сценарием. Мерить просвет всего габарита над препятствием, вертикальную и горизонтальную скорости при касании, ход подвески, перегрузки и резерв газа.

Критерий. В одном прогоне достигнуты цель 5 м и горизонтальный пролёт 25 м, выдержан просвет над препятствием, посадка укладывается в согласованные пределы. Натурный переход допускается после серии малых беспилотных отрывов и корреляции модели с измерениями.

В критериях T07 отдельно фиксируют высоту колёс или нижней точки кузова и высоту центра масс. На наклонной поверхности и при вращении эти величины расходятся.

Для переноса модели на P1.18 требуется сверить фактические сопла, оси и плечи тяги, массу и инерцию при расходе газа, задержки приводов и доступный импульс посадки. Посадочный контакт моделируют с измеренными характеристиками шин и амортизаторов.

05 / ИСТОРИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

Что показал скрининг P1.15

Вертикальный отрыв без разбега и препятствия. Ни один расчётный случай P1.15 не прошёл все проверки одновременно [7].

Модель	Случай	Пик просвета колёс, м	Скорость касания, м/с	Газ после контакта[1], кг	Макс. угол, °	Все критерии
V1-1P	Номинал	5,46	1,21	39,38	1,10	Нет
V1-1P	Неблагопр.	5,03	6,77	7,15	2,88	Нет
V1-2P	Номинал	5,34	1,73	43,72	1,09	Нет
V1-2P	Неблагопр.	4,94	7,06	7,26	3,15	Нет
V2-1P	Номинал	0,42	2,17	8,56	1,06	Нет
V2-1P	Неблагопр.	0,36	2,70	7,08	2,90	Нет

[1] Остаток после завершения расчётной контактной фазы. В неблагоприятных случаях V1 модель не достигла численного успокоения.

Как читать числа

Пороги скрининга: пик минимального просвета колёс ≥5 м, скорость касания ≤0,5 м/с в номинале и ≤1,0 м/с в неблагоприятном случае, остаток газа ≥8 кг после контактной фазы, максимальный угол ≤3° и численное успокоение. Эти пороги заданы в расчётном скрипте. Рабочие пределы посадки предстоит обосновать по шинам, подвеске, раме и удержанию экипажа [4, 7].

Исторические расчётные массы с газом и нагрузкой: V1 с двумя местами 3 724,7 кг, V2 с одним местом 2 618,2 кг. Массы, развесовка, расход и высота относятся к P1.15. Обновление трасс, арматуры и обшивки требует нового расчёта на P1.18.

V1 с двумя местами достигла в номинальном расчёте 5,34 м, но скорость касания 1,73 м/с превысила порог 0,5 м/с. У V2 одновременно не выполнены высота и скорость касания.

06 / СТЕНДЫ И НЕДОРАБОТКИ

Проверки по системам

Система	Работы до следующего этапа
Электротяга, батарея и зарядка	Зафиксировать версии моторов, инверторов и редукторов. Измерить момент, КПД, просадку, рекуперацию и токи. Проверить изоляцию, предзаряд, отключение и блокировку движения при зарядке.
Тормоза, рулевое, подвеска и шины	Измерить тормозной баланс, нагрев и остановку при отказе рекуперации. Проверить ход, поворот и клиренс в крайних положениях с нагрузкой. Получить карты сцепления и модели шин по данным стенда.
Газ, сопла и заправка	Измерить утечки, расход, тягу и время клапанов под давлением. Проверить крепления, заправочные блокировки, сброс и отказ отсечки. Учесть сужения V2 DN26/DN44 и общий кормовой коллектор. Две параллельные ветви не обеспечивают независимую отсечку при заклинивании одной в открытом положении [3, 5].
Вертикальные приводы 48 В	Завершить питание и обратную связь всех 18 каналов. Зафиксировать распиновку, драйверы, защиту и распределение питания. Наращивать нагрузку 1 → 3 → 9 → 18 каналов и проверить реакцию на отказы [5].
AIR и охлаждение	Снять карты расхода, разрежения и мощности, включая мокрое покрытие, загрязнение и отказ вентилятора. Измерить расход и температуру охлаждения в импульсе и серии. В P1.15 номинально около 9,00 л/мин на мотор, неблагоприятно 8,65–8,67 при цели 9. Установившийся тепловой режим не прошёл [6, 7].
Рама, кузов, обслуживание и экипаж	Проверить нагрузки, усталость сварки и креплений, удержание сосудов и посадочный удар. Подтвердить съём и установку панелей с инструментом, состояние фиксаторов, уплотнений и доступ к аварийному отключению. Провести проверки удержания и выхода экипажа до пилотируемых серий.
Аэродинамика кузова и охлаждающие потоки	Сравнить исходный и пологий переход V1 расчётом потока при одинаковой посадке кузова и условиях. Проверить силы и моменты, поток через теплообменники и взаимодействие с AIR. Коррелировать с измерениями на трассе или в аэродинамической трубе.
Управление, связь и датчики	Проверить переходы между режимами, синхронизацию датчиков и защиту от ошибочных команд. Ввести отказы связи, питания, датчиков и исполнительных механизмов на стенде. Проверить совместимость электроники и аварийную остановку.

07 / ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И ПРОТОКОЛ

Допуск к испытаниям

Этап	Формат	Основание перехода
G0	Конфигурация и расчёт	Утверждены масса, инерция, загрузка, пределы узлов, модели, версии управления и критерии. Неопределённости внесены в программу.
G1	Отдельные стенды	Измерены карты тяги, расхода, AIR, электрики и тепла. Проверены тормоза, изоляция, крепления и состояния при отказе.
G2	Закреплённая машина	Совместная работа систем с ограниченной энергией, дистанционным управлением и испытанным аварийным отключением.
G3	Закрытая трасса	Беспилотные T01–T04 по ступеням нагрузки. Для каждой ступени подтверждены остановка и отсутствие выхода за пределы.
G4	Рампа и малый отрыв	Удерживаемый T05, затем беспилотный малый отрыв с измерением посадки. Согласовать модель с данными и проверить отмену.
G5	Полный манёвр	T06 и T07 идут отдельными ступенями только после закрытия предшествующих критериев. Профиль отрыва, область полёта и посадочная зона утверждены.

Единый протокол заезда

ID сценария и машины, ревизия CAD и прошивки, масса по колёсам, балласт, заряд, давление и температура газа, поверхность, погода, конфигурация датчиков и калибровка. Приложить синхронные сырые логи и видео, погрешность, отклонения, причину остановки и решение по каждому критерию.

Стоп-сигналы задают до запуска по подтверждённым ограничениям: потеря связи, отказ датчика, потеря тяги или прижима, утечка, выход температуры или нагрузки за пределы, уход из зоны. Для испытаний с давлением требуется обоснованное ограждение и утверждённая процедура стенда [8–10].

Ответственные за решение о переходе

Владелец системы подтверждает пределы и исправность, руководитель испытаний утверждает последовательность и критерии, ответственный за площадку принимает готовность стенда или трассы. Если численный предел ещё открыт, его фиксируют до выполнения соответствующей ступени.

08 / ИСТОЧНИКИ И РЕВИЗИИ

Откуда взяты данные

[1] Актуальная V1 и проверка обшивки. Квитанция FreeCAD · Коллизии · Снятие вставок

[2] Актуальная V2 и проверка обшивки. Квитанция FreeCAD · Замеры стыков · Снятие крыльев

[3] Интеграция P1.18. Инженерный обзор · V1 · V2

[4] Динамика P1.14. 6DoF · Модель контакта

[5] Цепи приводов и кормовые отсечки P1.18. Реестр 18 каналов · DN28

[6] Электротяга и охлаждение. Тепловой аудит · Батарея P1.7

[7] Расчётная база P1.15. Результаты · Балансы · Критерии отрыва

Методические источники

[8] NASA-STD-7009B. Верификация моделей и оценка неопределённости

[9] HSE GS4. Организация испытаний под давлением

[10] NIST TN 1297. Неопределённость измерений

Зафиксированные сборки FreeCAD

V1 argon_b2_p1_18_v1_panel_fit.FCStd
SHA-256 fa97b82b32f4191bafa3436425e878f13b592546416ff9955dcab2db43016115

V2 argon_b2_p1_18_v2_integrated_service_rear_cover.FCStd
SHA-256 74b7a5c9b43c5e24cb2e068bbcd3000ebf56f277c84da7b821a43487b1f0e7a9

Методические ссылки помогают организовать проверки. Критерии и допуск утверждаются для конкретного экземпляра, стенда и площадки.