

Лагранж

Сергей Галактионов



Сергей Галактионов

Лагранж

<https://litres.ru/74354848>

SelfPub; 2026

Аннотация

У космоса нет злого умысла. У него есть законы — термодинамики, релятивистской механики, квантовой электродинамики, — и эти законы не прощают. Когда на орбите Земли три страны начинают сборку первого межпланетного корабля, их главный противник — не конкуренты и не диверсанты, а физика. Рэтчетинг титановых фланцев, фреттинг-коррозия позолоченных контактов, мёртвые зоны магнитного поля, одиночные сбои в памяти от тяжёлых ионов — каждая глава этой книги ставит перед инженерами задачу, которую нельзя решить силой, хитростью или удачей. Только знанием. Только точностью. Только готовностью признать, что модель ошиблась, стандарт устарел, а допуск на ошибку в космосе измеряется не процентами, а зивертами и наносекундами. Твёрдая научная фантастика, в которой настоящим антагонистом выступает Вселенная.

Содержание

Глава 1. Точка сборки	4
Глава 2. Допуск на ошибку	35
Глава 3. Скелет	71
Конец ознакомительного фрагмента.	74

Сергей Галактионов

Лагранж

«Точка Лагранжа — это точка в пространстве, где гравитационные силы двух массивных тел и центробежная сила вращающейся системы отсчёта уравновешивают друг друга. В этой точке малое тело может оставаться неподвижным относительно двух больших. Это — точка равновесия. Точка баланса. Точка, где всё сходится.»

Глава 1. Точка сборки

Стыковочный узел станции «Орбитальная платформа-1» принял на себя первый удар в 04:17 по Гринвичу — мягкий, едва ощутимый толчок, похожий на то, как причаливает лодка к пирсу в безветренный день. Но Алексей Ревин знал, что за этой мягкостью стоят четырнадцать месяцев баллистических расчётов, три перенесённых окна запуска и шестьсот тонн жидкого кислорода и керосина, сожжённых ракетой-носителем «Амур-7» на участке выведения.

Он почувствовал стыковку кожей — не ушами, не вестибулярным аппаратом, а именно кожей, кончиками пальцев, которые лежали на поручне переходного тоннеля. Металл передал вибрацию, и Ревин на мгновение закрыл глаза, поз-

волив ей пройти через ладонь, вверх по предплечью, раствориться где-то в грудной клетке. За двадцать два года работы в ракетно-космической отрасли он научился доверять этому ощущению. Приборы показывают цифры. Кожа показывает правду.

— Захват подтверждён, — произнёс голос из динамика над его головой. Голос принадлежал Марине Остапчук, бортинженеру платформы, и звучал с той профессиональной ровностью, которая даётся людям, прожившим на орбите больше года. — Стягивание штатное. Давление в переходном отсеке — норма. Алексей Павлович, ваши прибыли.

Ревин открыл глаза.

Через круглый иллюминатор стыковочного узла он видел только фрагмент обшивки транспортного корабля — серую, покрытую микрократерами поверхность, залитую косым солнечным светом. Где-то за этой обшивкой, в тесном жилом модуле «Союза-МС», сидели четверо его инженеров, пристёгнутые к креслам, с затёкшими ногами и пересохшими губами после семичасового перелёта. Он знал каждого. Отбирал лично.

Сергей Кривцов — конструктор двигательных систем, тридцать восемь лет, защитил докторскую по магнитогидродинамике плазменных ускорителей в тридцать один. Худой, нервный, с привычкой грызть колпачок ручки — привычкой, которая в невесомости приобретала комические последствия, потому что колпачки имели обыкновение уплы-

вать и обнаруживаться в самых неожиданных местах. Кривцов знал магнитные поля так, как некоторые люди знают лица — интуитивно, без вычислений, чувствуя топологию силовых линий кончиками нейронов.

Наталья Ким — специалист по материаловедению, сорок один год, кандидат технических наук, двенадцать лет работы в ВИАМ — Всероссийском институте авиационных материалов. Она могла по звуку щелчка ногтем по титановому листу определить марку сплава с точностью, которую лаборатория достигала лишь после спектрального анализа. Молчаливая, сосредоточенная, с короткой стрижкой, которая в невесомости превращалась в угольно-чёрный ореол вокруг её круглого, неизменно серьёзного лица.

Дмитрий Жарков — инженер-электрик, двадцать девять лет, самый молодой в группе, кандидатская по сверхпроводящим системам. Ревин взял его за две вещи: во-первых, Жарков мог вслепую, на ощупь, разобрать и собрать токовый ввод криогенной системы — навык, бесценный в скафандре, где перчатки толщиной в сантиметр превращают пальцы в неуклюжие обрубки. Во-вторых, у Жаркова был абсолютный покой нервной системы. Ревин видел результаты психологического тестирования: пульс Жаркова при имитации разгерметизации поднялся с шестидесяти двух до шестидесяти пяти ударов в минуту.

И Олег Мартынов — бортинженер, специалист по системам жизнеобеспечения, тридцать пять лет, два полёта на

МКС. Единственный в команде, кто уже жил в космосе. Его присутствие было не столько техническим, сколько антропологическим — Мартынов знал, как пахнет станция на третий месяц, как звучит вентиляция в четыре утра, когда все спят, как тело человека протестует против вечного падения и как его уговорить продолжать работу.

Четверо. Его четверо.

Ревин оттолкнулся от поручня и поплыл к выравнивающей камере, привычно подтягиваясь и разворачиваясь в пространстве, где понятия «верх» и «низ» были лишь вопросом договорённости. Он был на платформе уже третьи сутки — прилетел первым, один, на грузовом «Прогрессе», переделанном под пилотируемый вариант. Три дня он провёл в проверке российского сегмента платформы, в бесконечных тестах и перетестированиях, в переговорах с ЦУПом в Королёве и в молчаливом созерцании того, что плавало за иллюминатором обзорного купола.

А за иллюминатором плавало будущее.

Три модуля — каждый размером с железнодорожный вагон, каждый массой от двадцати двух до тридцати одной тонны — висели в пустоте в трёхстах метрах от платформы, удерживаемые на месте слабыми импульсами маневровых двигателей. Они прибыли сюда в разное время, на разных ракетах, с разных космодромов: российский двигательный модуль «Факел» — с Восточного на «Амуре-5», американский центральный хаб «Колумбия» — с мыса Канаве-

рал на Falcon Heavy, китайский навигационно-научный модуль «Тяньгун» — с Вэньчана на «Чанчжэн-9». Три обрубка металла и композита, три порождения трёх разных инженерных школ, трёх разных философий проектирования, трёх разных систем стандартов — и все три должны были стать одним кораблём.

Кораблём «Лагранж».

Ревин помнил момент, когда увидел модули впервые — не на чертежах, не на экране, а вживую, в вакууме, залитые солнцем. Он подплыл к обзорному куполу, и они были там — три объекта, неподвижно зависшие на фоне чернильной пустоты, и за ними, далеко внизу, голубая дуга земного горизонта. Он простоял — нет, простоял неправильное слово — он провисел у купола сорок минут, забыв о расписании, о протоколах, о том, что на Земле семьдесят три человека ждут его доклада по каналу связи. Сорок минут он смотрел на три куска металла и думал о том, что через несколько недель они станут первым в истории человечества кораблём, способным доставить людей на другую планету.

Не автоматической станцией. Не зондом. Кораблём.

Он никому не рассказал об этих сорока минутах. Есть вещи, которые инженер хранит при себе.

Американцы прибыли через шесть часов.

Их «Орион» подошёл к платформе со стороны, противоположной Солнцу, и Ревин наблюдал стыковку из обзорного купола — тёмный конус капсулы на фоне звёзд, проблес-

ковые огни маневровых двигателей, медленное, почти торжественное вращение, когда автоматика выравнивала стыковочные оси. Американцы любили точность. Их допуск на осевое смещение при стыковке составлял три миллиметра — вдвое жёстче, чем требовал российский стандарт. Ревин не считал это преимуществом. Он считал это расточительством — топлива, времени, вычислительных ресурсов. Шесть миллиметров — вполне достаточный допуск для стыковочного механизма, спроектированного с запасом. Но американцы не доверяли запасам. Они доверяли контролю.

Первой из «Ориона» выплыла Кэтрин Чэнь.

Ревин видел её фотографии в досье — худошавая женщина сорока четырёх лет с азиатскими чертами лица и короткой стрижкой, — но фотографии не передали главного. Кэтрин Чэнь двигалась в невесомости так, будто родилась в ней. Ни одного лишнего движения, ни одного неточного хвата. Она выплыла из переходного люка, мгновенно оценила пространство — Ревин увидел, как её взгляд метнулся по стенам, по поручням, по маркировке аварийных выходов, — и плавно развернулась к нему, протянув руку.

— Доктор Ревин. Кэтрин Чэнь. Рада наконец увидеть вас в трёх измерениях.

Рукопожатие в невесомости — отдельный навык. Слишком сильное — и оба начнут вращаться. Слишком слабое — и получится неловко. Ревин пожал её руку ровно так, как нужно: средне, с фиксацией второй рукой за поручень.

— Четвёртое измерение тоже присутствует, — сказал он.

— Вы на два часа раньше расписания.

— Баллистики в Хьюстоне нашли более короткую фазировочную орбиту. Сэкономили полтора витка.

— Топливо?

— Минус восемьдесят килограмм гидразина из маневрового запаса.

Ревин чуть поднял бровь. Кэт — она сама представилась сокращённым именем через десять минут знакомства — поймала его взгляд.

— Я знаю, о чём вы думаете. «Американцы потратили топливо, чтобы прилететь раньше. Нетерпеливые.»

— Я думал: «Два лишних часа — это двенадцать дополнительных проверок стыковочного узла перед прибытием китайской группы».

Кэт улыбнулась — быстро, одними уголками губ.

— Тоже неплохо.

За ней из люка появились её инженеры: Маркус Уолш — специалист по радиационной защите, крупный рыжеволосый мужчина с руками хирурга и голосом проповедника; Дженнифер Ито — инженер-конструктор, отвечающая за жилой модуль, молчаливая японо-американка с докторской из Калтеха; Рамеш Патель — специалист по термальным системам, родом из Мумбаи, гражданин США, семь патентов на радиаторы космических аппаратов; и Том Брэдли — бортинженер, второй полёт, бывший пилот ВМС, переучившийся на

инженера после травмы спины, которая закрыла ему дорогу в истребители, но, по иронии судьбы, не помешала летать в космос, где спина не несёт нагрузки.

Восемь человек на платформе. Ждали ещё четверых.

Лю Вэйдун прибыл последним, и его прибытие едва не стало первым инцидентом миссии.

Китайский пилотируемый корабль «Шэньчжоу-21» вышел на фазировочную орбиту штатно, выполнил четыре витка сближения по протоколу и начал финальный подход к стыковочному узлу платформы. На дистанции двухсот метров лидар — лазерный дальномер, отслеживающий расстояние и скорость сближения с точностью до миллиметра — зафиксировал аномалию. Отражённый сигнал начал раздваиваться.

Ревин был в командном посту платформы, когда Марина Остапчук повернулась к нему, и он увидел в её глазах то выражение, которое на орбите боятся больше любой аварийной sireны — сосредоточенное недоумение.

— Лидар даёт двойной отклик, — сказала она. — Дельта — четыре метра.

Четыре метра. Два объекта на дистанции двухсот метров от станции, разделённые четырёхметровым промежутком. Один из них — «Шэньчжоу». Второй — неизвестно.

Ревин почувствовал, как по спине прошла волна холода, не имевшая ничего общего с температурой воздуха на станции. Четыре метра. На скорости сближения полтора метра

в секунду это означало менее трёх секунд между столкновением и отсутствием столкновения.

— Стоп, — сказал он. — Марина, дай команду «Шэньчжоу» — полная остановка сближения.

Остапчук уже передавала команду. Ревин подтянулся к монитору телескопической камеры и навёл её на приближающийся корабль. Изображение было зернистым — камера предназначалась для контроля стыковки, не для астрономии, — но он увидел достаточно. Рядом с «Шэньчжоу», в четырёх метрах от его левого солнечного крыла, вращался объект. Неправильной формы, размером с чемодан, тускло блестящий в солнечном свете.

Космический мусор.

Он знал статистику. На низкой опорной орбите, в диапазоне высот от четырёхсот до четырёхсот пятидесяти километров, отслеживалось более двадцати трёх тысяч объектов размером более десяти сантиметров. Фрагменты спутников, ступени ракет, обломки столкновений — облако техногенных обломков, через которое Земля смотрела на Вселенную, как через мутное стекло. Система NORAD отслеживала каждый из них, рассчитывала траекторию, предупреждала о сближениях. Но не всегда. Не всё.

— Он не в каталоге, — подтвердила Остапчук, проверив базу. — Размер... я бы сказала, сантиметров сорок. Может быть фрагмент теплозащиты. Или кусок многослойной изоляции.

— Скорость относительно «Шэньчжоу»?

— Лидар даёт... около двух метров в секунду. Почти сопутствующая орбита.

Два метра в секунду — это немного. Это скорость пешехода. Но в вакууме, где нет воздуха, чтобы поглотить энергию удара, кусок теплозащиты массой в полкилограмма, летящий со скоростью два метра в секунду, — это один джоуль кинетической энергии. Безвредно для обшивки. Но если попадёт в солнечную панель — микротрещина, деградация, потеря мощности. Если попадёт в иллюминатор — скол, потенциальное ослабление стекла. Если попадёт в стыковочную мишень — смещение, ошибка наведения, нештатная стыковка.

Если.

Голос Лю Вэйдуна зазвучал в динамике — спокойный, ровный, с едва уловимым акцентом.

— «Орбитальная платформа», здесь «Шэньчжоу-двадцать один». Мы наблюдаем объект визуально. Он удаляется. Повторяю — объект удаляется. Параметры вращения — около двух оборотов в минуту. Судя по блеску, многослойная экранно-вакуумная изоляция. Не представляет опасности при текущем векторе.

Пауза.

— Разрешите продолжить сближение.

Ревин посмотрел на Остапчук. Та кивнула — телеметрия подтверждала, объект расходился с «Шэньчжоу».

— «Шэньчжоу», разрешаю продолжение. Поддерживайте контроль объекта до полного расхождения.

— Принял. Продолжаем.

Стыковка прошла штатно. Лю Вэйдун выплыл из переходного люка через двадцать две минуты — невысокий, сухощавый, с внимательными глазами за прямоугольными очками, которые в невесомости он закрепил на переносице тонкой эластичной лентой. Он пожал руку Ревину, затем — Кэт, и Ревин заметил, как Лю на мгновение задержал взгляд на обзорном куполе, через который был виден краешек «Факела» — российского двигательного модуля, висящего в пустоте.

— Большой, — сказал Лю.

— Тридцать одна тонна, — ответил Ревин.

— Я знаю, сколько он весит. Я видел чертежи. Но чертежи не передают... масштаба.

Это было точное слово. Ревин оценил точность.

За Лю появились его инженеры: Чжан Юньмэй — специалист по квантовым системам связи, тридцать шесть лет, тихая, как тень, с докторской по квантовой оптике из Университета науки и технологии Китая; Ван Цзюньминь — бортинженер, навигатор, второй полёт на «Тяньгун», широкоплечий, с неожиданно тонким голосом; Ли Синьвэй — инженер-электронщик, двадцать семь лет, самый молодой во всей экспедиции, магистр по радиационно-стойкой микроэлектронике; и Сунь Хаожань — конструктор, отвечавший за структуру научного модуля, сорок три года, ветеран трёх

проектов по «Тяньгуну».

Двенадцать человек.

Двенадцать инженеров на орбите в четырёста двадцать километров над поверхностью Земли, собранных вместе одной задачей: собрать первый межпланетный корабль в истории.

Первое общее совещание провели в модуле, который условно называли «кают-компанией» — цилиндрическом помещении платформы ОП-1 диаметром четыре метра и длиной шесть, заставленном оборудованием, контейнерами с запасными частями и рулонами крепёжных лент. Свободного объёма хватало, чтобы двенадцать человек разместились, не касаясь друг друга, — но только если каждый занимал строго определённое положение в трёхмерном пространстве, цепляясь за поручни, петли и скобы. Некоторые висели вверх ногами относительно других. В невесомости это не имело значения — имело значение только то, чтобы каждый видел центральный экран.

Ревин вывел на экран трёхмерную модель корабля.

«Лагранж» висел в виртуальном пространстве — полупрозрачный, расцветоченный цветами отдельных систем: красный — двигательная установка, синий — жилой модуль, зелёный — навигационно-научный, жёлтый — центральный хаб, оранжевый — радиаторы, белый — солнечные панели. Модель медленно вращалась, и по ней бежали линии размеров, обозначения узлов, маркеры стыковочных точек.

— Общая длина корабля в собранном состоянии — сто семь метров, — начал Ревин. Он говорил по-английски — таков был протокол. Английский как рабочий язык экспедиции, с правом перехода на родной при работе внутри национальных групп. — Максимальный размах — шестьдесят два метра, считая полностью развёрнутые радиаторы. Масса сухой конструкции — восемьдесят четыре тонны. С рабочим телом — ксеноном для двигателей, водой, расходными материалами — сто двенадцать тонн. Это самый большой и самый тяжёлый объект, когда-либо собранный на орбите.

Он позволил этой фразе повиснуть в воздухе. Без пафоса — просто факт. МКС была больше и тяжелее, но МКС собирали двадцать лет. «Лагранж» нужно было собрать за девятью шестью днями.

— Конструктивно корабль состоит из четырёх основных элементов, — продолжил он, указывая лазерной указкой, луч которой в невесомости не падал, а шёл идеальной прямой. — Центральный хаб «Колумбия» — американский модуль, несущая конструкция, через которую проходят все коммуникации. К нему стыкуются: в кормовой части — двигательный модуль «Факел», российский, содержащий маршевые ионные двигатели, VASIMR, запасы рабочего тела и энергетическую установку. В носовой части — навигационно-научный модуль «Тяньгун», китайский, с системами навигации, связи, научным оборудованием и командным постом. Перпендикулярно продольной оси, на боковых пило-

нах — жилой модуль, также американский, с вращающимся сегментом для создания искусственной гравитации.

Кэт подняла руку — жест, который в невесомости выглядел странно, потому что рука, поднятая «вверх», указывала в стену.

— Уточнение. Жилой модуль — совместная разработка. Системы жизнеобеспечения: российская регенерация атмосферы, американские водные системы, китайские биорегенеративные блоки. Конструкция — наша, начинка — общая.

Ревин кивнул.

— Справедливое уточнение. Записано.

Лю Вэйдун поправил очки — жест, который, как Ревин вскоре узнает, означал, что Лю готовится сказать что-то, требующее повышенного внимания.

— График сборки предусматривает три фазы, — сказал Лю, и Ревин с мимолётным удивлением отметил, что Лю, очевидно, выучил план наизусть. — Фаза один: механическая стыковка модулей, структурная интеграция. Дни с первого по тридцатый. Фаза два: подключение систем, пусконаладочные работы. Дни с тридцать первого по семьдесятый. Фаза три: комплексные испытания. Дни с семьдесят первого по девяносто шестой. Мой вопрос: что предусмотрено на случай, если фаза один займёт больше тридцати дней?

— Резерв, — ответил Ревин. — Десять дней резерва заложены в фазу три. Если необходимо — перенос на фазу два. Если и этого мало...

— Если и этого мало, — закончила Кэт, — мы пропускаем окно запуска к Марсу, и следующее открывается через двадцать шесть месяцев. Двадцать шесть месяцев, в течение которых корабль висит на орбите, подвергаясь деградации, микрометеоритному воздействию, радиационному старению электроники и термоциклированию. Через двадцать шесть месяцев мы будем собирать его заново.

Тишина.

Двенадцать человек, висящих в цилиндрическом помещении на высоте четырёхста двадцать километров, переглянулись. Некоторые — с тревогой. Некоторые — с решимостью. Жарков — с безмятежностью, которая казалась почти оскорбительной на фоне серьёзности момента.

— Мы уложимся, — сказал Ревин. Не потому что знал это наверняка. Потому что это нужно было сказать. — Начинаем завтра в ноль-шесть-ноль-ноль по Гринвичу. Первая операция — стыковка «Факела» с «Колумбией». Кривцов, Жарков — со мной. Кэт, мне нужны ваши люди на манипуляторе. Лю — наблюдение и контроль с навигационного поста платформы. Вопросы?

Вопросов не было. Были взгляды — двенадцать пар глаз, отражающих свет центрального экрана, на котором медленно вращалась полупрозрачная модель корабля, ещё не существующего в реальности.

Ещё не существующего — но уже реального.

В 06:00 по Гринвичу следующего дня Ревин занял место

у пульта управления стыковкой в командном модуле платформы. Рядом — Кривцов, с планшетом, на котором светилась схема стыковочного узла в разрезе. За стеной, в модуле с манипулятором, — Том Брэдли и Дженнифер Ито, готовые управлять «Канадарм-3М» — роботизированной рукой длиной семнадцать метров, способной перемещать объекты массой до сорока тонн с точностью, которую человеческая рука не способна обеспечить.

Двигательный модуль «Факел» висел в трёхстах двенадцати метрах от платформы. Тридцать одна тонна титана, углепластика, сверхпроводящих обмоток, ксеноновых баков и керамических сопел. Самый тяжёлый из трёх модулей, самый сложный, самый дорогой.

И его нужно было переместить на триста двенадцать метров и состыковать с центральным хабом «Колумбия» с точностью до долей миллиметра.

— Канадарм, доклад, — запросил Ревин.

— Канадарм к захвату готов, — ответил голос Брэдли. — Навожу на грапл «Факела». Расстояние до точки захвата — триста десять метров. Скорость сближения — ноль. Ожидаю команду.

Граплом называли стандартный захватный стержень, установленный на каждом модуле — металлический штырь со специальной головкой, за которую манипулятор мог зацепиться и удерживать модуль, как человек удерживает стакан. Но стакан весит двести грамм, а «Факел» — тридцать одну

тысячу килограммов. В невесомости вес не имеет значения. Масса — имеет. Инерция тридцати одной тонны означает, что любое движение, начатое однажды, продолжается вечно, пока на объект не подействует другая сила. Разогнать тридцать одну тонну легко. Остановить — так же легко. Остановить точно — в нужном месте, с нужной ориентацией, с нужной скоростью — невозможно без вычислений, которые выполнялись каждую секунду бортовым компьютером манипулятора.

— Начинаю подвод, — скомандовал Ревин. — Малая тяга. Скорость сближения — не более ноль-одного метра в секунду.

Десять сантиметров в секунду. Скорость минутной стрелки часов. На этой скорости «Факел» доберётся до «Колумбии» примерно за пятьдесят минут. Пятьдесят минут ожидания, контроля, микрокоррекций. Ревин был к этому готов. Он провёл сотни часов на симуляторе, отрабатывая эту операцию. Но симулятор — это модель, а модель — это приближение, и между приближением и реальностью лежит пропасть, которую не перепрыгнуть никаким количеством тренировок.

Первые тридцать минут прошли без событий. «Факел» плыл к «Колумбии» — медленно, величественно, как айсберг в штиль. Ревин следил за телеметрией: шесть степеней свободы контролировались непрерывно — три оси перемещения, три оси вращения. Отклонения не превышали допус-

ка. Температура обшивки: плюс сто восемнадцать по Цельсию на солнечной стороне, минус сто сорок три — на теневой. Разница в двести шестьдесят один градус между двумя поверхностями одного и того же объекта, разделёнными тремя метрами расстояния. Космос не знает полутонов.

На дистанции пятидесяти метров Ревин перешёл на ручное управление.

Это не было предусмотрено протоколом — автоматика могла довести модуль до стыковки самостоятельно. Но Ревин хотел чувствовать. Хотел, чтобы тридцать одна тонна прошла через его руки, через джойстик, через кабель и радиоканал, и встала на место так, как он считал правильным. Это было нерационально, и он это знал. Он сделал это всё равно.

Манипулятор захватил «Факел» за граппл на дистанции тридцати метров. Ревин почувствовал момент захвата — едва ощутимое изменение инерции, переданное через конструкцию платформы. Теперь «Факел» был частью системы, связан с платформой через семнадцатиметровую руку из углепластика и титана.

— Захват подтверждён, — доложил Брэдли. — Удержание стабильное. Начинаю подвод к стыковочному узлу «Колумбии».

Двадцать метров. Пятнадцать. Десять.

На дистанции десяти метров включилась система лазерного позиционирования — четыре лазерных луча, образую-

щих крест на стыковочной мишени «Колумбии». Перекрестие должно было совпасть с центром мишени — кружком диаметром шесть миллиметров, нанесённым на стыковочный фланец.

— Вижу крест, — сказал Кривцов, наблюдавший через камеру ближнего обзора. — Смещение... два миллиметра влево, один вниз. Корректирую.

Манипулятор сдвинул «Факел» на два миллиметра влево. Затем — на один миллиметр вниз. Крест лёг в центр мишени.

Пять метров. Три. Два.

На дистанции одного метра Ревин переключил камеру на максимальное увеличение. Стыковочные фланцы обоих модулей заполнили экран — два кольца из нержавеющей стали, каждое диаметром восемьдесят сантиметров, каждое с двадцатью четырьмя отверстиями для стяжных болтов, каждое отполированное до зеркального блеска, чтобы обеспечить герметичность при прижатии.

И тогда он увидел.

Или, точнее, — увидел Кривцов.

— Стоп! — Голос Кривцова прорезал тишину командного поста, и Ревин мгновенно нажал кнопку аварийной остановки манипулятора. «Факел» замер.

— Что? — спросил Ревин. Одно слово. Максимум информации за минимум времени.

— Фланец. Смотрите на фланец «Факела». Поверхность.

Ревин посмотрел. И не увидел ничего — зеркальный блеск стали, чуть искажённый выпуклостью широкоугольного объектива камеры.

— Я ничего не вижу.

— Именно, — сказал Кривцов, и его голос звучал так, как звучит голос хирурга, обнаружившего на снимке то, чего там быть не должно. — Вы не видите зазор. Но он есть. Включите лазерный профилометр.

Ревин включил. Лазерный профилометр — прибор, сканирующий поверхность тонким лучом и измеряющий рельеф с точностью до микрометра — прошёлся по стыковочному фланцу «Факела». Данные пошли на экран в виде цветовой карты: синее — впадины, красное — выступы, зелёное — номинал.

Зелёного было много. Но в правом верхнем секторе фланца — от позиции «2 часа» до позиции «4 часа», если представить циферблат, — проступило жёлтое. Затем — оранжевое. На участке длиной около ста двадцати миллиметров и шириной около пятнадцати поверхность фланца была выше номинала.

На два целых три десятых миллиметра.

Два целых три десятых миллиметра.

На Земле, в кабинете, за чертёжным столом, это число звучит как ничто. Толщина тонкого картона. Диаметр грифеля механического карандаша. Расстояние, которое человеческий глаз не способен оценить без инструмента.

Но Ревин знал, что означали эти два целых три десятых миллиметра здесь, на орбите, на стыковочном фланце модуля, который должен был выдерживать нагрузки маршевого двигателя. Он знал это так же хорошо, как знал собственное имя.

Стыковочный фланец — это не просто кольцо. Это точка передачи нагрузки. Когда VASIMR включится на полную мощность, тяга — пусть небольшая, всего пять ньютонов, но приложенная непрерывно, часами, днями, неделями — будет передаваться с двигательного модуля на центральный хаб через это кольцо. Через двадцать четыре болта. Через поверхность контакта, которая должна быть идеально ровной, чтобы нагрузка распределялась равномерно.

Если поверхность неровная — нагрузка концентрируется. Возникает точка напряжения. В этой точке металл работает не так, как рассчитывали конструкторы. Он работает больше. Он устаёт быстрее. И в какой-то момент — через месяц, через три, через шесть — он может не выдержать.

Два целых три десятых миллиметра — это не ошибка. Это приговор.

— ЦУП, — вызвал Ревин. — Здесь «Орбитальная платформа-один». Прошу соединить с группой конструкторского сопровождения.

Задержка связи на низкой орбите — доли секунды, практически незаметная. Но Ревину показалось, что прошла вечность, прежде чем в динамике зазвучал голос Павла Григо-

рьевича Степанова, ведущего конструктора из РКК «Энергия».

— Слышу вас, Алексей Павлович. Что у вас?

— Лазерная профилометрия стыковочного фланца «Факела». Сектор от шестидесяти до ста двадцати градусов. Превышение номинала на два-три миллиметра. Протяжённость — сто двадцать миллиметров. Передаю данные.

Пауза. Ревин представил, как Степанов — грузный, лысеющий, с вечной чашкой остывшего чая на столе — смотрит на экран, на который приходят данные лазерного скана. Представил, как Степанов снимает очки, протирает их и надевает снова — жест, который означал, что он видит нечто, не укладывающееся в его картину мира.

— Это... невозможно, — наконец сказал Степанов. — Фланец проходил финальный контроль перед отправкой. Допуск — пятьдесят микрометров. Ноль-пять миллиметра. У меня протокол измерений. Фланец был в допуске.

— Фланец был в допуске на Земле, — уточнил Ревин. — Сейчас он на орбите. Одиннадцать суток на орбите. Пять тысяч семьсот термоциклов — нагрев до плюс ста двадцати на солнце, охлаждение до минус ста пятидесяти в тени, каждый виток — девяносто минут. Около шестидесяти трёх циклов в сутки. Пять тысяч семьсот циклов с амплитудой двести семьдесят градусов.

Снова тишина. Ревин слышал, как Степанов дышит — тяжело, с присвистом, как человек, который только что понял

масштаб проблемы.

— Термоциклирование, — сказал Степанов. — Кумулятивная деформация. Мы моделировали... мы моделировали сто циклов. Стандартный тест.

— А реальность дала пять тысяч семьсот.

— Алексей Павлович, я...

— Паша, — сказал Ревин, и переход на имя означал, что разговор перестал быть официальным. — Мне не нужны извинения. Мне нужно решение.

Кэт, до этого молча слушавшая, подплыла к Ревину и показала ему свой планшет. На экране была открыта модель напряжённо-деформированного состояния стыковочного узла, которую она запустила, пока Ревин разговаривал с Землёй.

— Я просчитала, — сказала она вполголоса, так, чтобы динамик не передал её слова в ЦУП. — С этим выступом мы можем стыковать. Болты дотянут. Уплотнение сядет. Герметичность будет. Но — и это «но» размером с Юпитер — при длительной осевой нагрузке в зоне выступа возникнет концентрация напряжений. Коэффициент — два и четыре десятых. При расчётном ресурсе восемнадцать месяцев, с учётом этого коэффициента, запас прочности падает с трёх целых пяти десятых до одной целой четырёх десятых.

Одна целая четыре десятых.

В аэрокосмической инженерии запас прочности полтора считается минимально допустимым для пилотируемых аппаратов. Одна целая четыре десятых — ниже минимума. Не

катастрофически ниже. Не «корабль развалится завтра» ниже. Но ниже того порога, за которым инженер может подписать акт приёма и спокойно спать по ночам.

— Мы не можем стыковать с коэффициентом один-четыре, — сказал Ревин. Не Кэт — ей он уже не должен был это говорить, она знала. Он сказал это Степанову, и всем, кто слушал в ЦУПе, и всем, кто будет слушать запись.

— Мы не можем стыковать с коэффициентом один-четыре, — повторил он. — Нам нужно решение.

Лю Вэйдун, висевший у дальней стены, поправил очки.

— Два варианта, — сказал он. — Первый: запросить новый фланец с Земли. Изготовление, доставка, установка — минимум три недели. Мы теряем резерв.

— Второй? — спросила Кэт.

— Компенсационная проставка. Изготовить здесь. На платформе есть аддитивная установка?

— Есть, — сказала Остапчук из своего угла. — 3D-печать титаном. Рабочая зона — двести на двести на двести миллиметров. Точность — пятьдесят микрометров.

Лю кивнул.

— Достаточно. Нам нужна кольцевая проставка — вернее, сегмент кольца — толщиной от нуля до двух целых трёх десятых миллиметра, профилированная по данным лазерного скана. Она заполнит зазор и перераспределит нагрузку. Если геометрия точная — коэффициент вернётся к расчётным трём с половиной.

Ревин посмотрел на Лю. Потом — на Кэт. Потом — на модель напряжений на её планшете.

— Материал? — спросил он.

— Титан Ti-6Al-4V, — ответила Наталья Ким. Она подплыла к группе бесшумно, как подплывала ко всему — тихо, незаметно, появляясь в нужный момент с нужным знанием. — Тот же сплав, что фланец. Коэффициент термического расширения совпадает. Если мы поставим проставку из другого материала — при термоциклировании она будет расширяться и сжиматься по-другому, и через тысячу циклов мы получим новую проблему.

— Мы получим новую проблему в любом случае, — заметила Кэт. — Проставка, напечатанная на 3D-принтере, имеет пористость. Пористость снижает прочность. Нам нужно рассчитать — выдержит ли напечатанный титан те нагрузки, которые мы на него кладём.

— Я рассчитаю, — сказала Ким. — Мне нужен час.

— Параллельно, — сказал Лю, — я сделаю геометрическую модель проставки по данным скана. Мне нужны сырые данные профилометра.

— Кривцов, — Ревин повернулся к своему инженеру, — снимите полный скан фланца. Обе стороны. Все триста шестьдесят градусов. Разрешение — десять микрометров.

Кривцов кивнул и уплыл к стыковочному посту.

Ревин снова вызвал Землю.

— ЦУП, мы нашли решение. Компенсационная простав-

ка, аддитивное производство на борту. Нам нужна верификация. Прошу подключить группу прочности и группу материалов.

— Принято, — ответил Степанов, и его голос звучал с той смесью облегчения и стыда, которую Ревин хорошо знал. Облегчения — потому что проблему решали. Стыда — потому что проблему создали на Земле.

В Хьюстоне группа Кэт запустила модель напряжений в программном пакете ANSYS. В Королёве группа Ревина сделала то же самое в NASTRAN. Два пакета, два набора граничных условий, два коллектива инженеров — и результаты должны были совпасть.

Они не совпали.

ANSYS давал запас прочности три целых шесть десятых с поправкой. NASTRAN давал три целых одну десятую. Расхождение в полпункта — существенное.

— Граничные условия, — сказал Лю, когда увидел оба результата на экране. — Хьюстон использует жёсткое закрепление по внешнему контуру фланца. Королёв — упругое. В реальности — ни то, ни другое. Фланец закреплён болтами, которые имеют конечную жёсткость и конечный предварительный натяг. Оба приближения — именно приближения. Истина — между ними.

— Три и три десятых, — сказала Кэт.

— Три и четыре десятых, — возразил Ревин.

— Три целых три десятых пять сотых, — сказал Лю. — Я

построил третью модель, с учётом жёсткости болтового соединения. Если вам интересно.

Ревин и Кэт посмотрели друг на друга. Потом — на Лю. Потом — на экран, где светились три числа: 3,6 — 3,1 — 3,35.

— Принимаем три и три, — сказал Ревин. — Консервативная оценка из третьей модели. Это выше минимума. Значительно выше.

— Согласна, — сказала Кэт.

Лю не сказал ничего. Он уже работал над геометрической моделью проставки.

Проставку печатали шесть часов.

3D-принтер платформы — установка селективного лазерного плавления, SLM — занимал объём небольшого холодильника и работал в атмосфере аргона, чтобы предотвратить окисление титанового порошка. Лазер мощностью четыреста ватт проходил по тонкому — тридцать микрометров — слою порошка, сплавляя его в точном соответствии с трёхмерной моделью, которую Лю создал по данным лазерного скана. Слоёй за слоем. Триста слоёв. Шесть часов.

Ревин наблюдал за процессом через окно камеры. Там, внутри, в инертной атмосфере, рождался кусок металла, которого никогда не существовало на Земле — кусок, рассчитанный, спроектированный и произведённый на орбите, для орбиты, инженерами трёх стран. Он думал о том, что где-то внизу, на Земле, человечество занималось привычными

делами — спорило, торговало, воевало, любило, — а здесь, в четырёхстах двадцати километрах над этим всем, трое людей из трёх разных миров молча смотрели, как лазер рисует будущее в титановом порошке.

Когда проставка была готова, Наталья Ким взяла её в руки — невесомый, в буквальном смысле, сегмент кольца, чуть шершавый от нерасплавленных гранул порошка на поверхности. Она осмотрела его, провела пальцем по краю.

— Плотность — четыре целых сорок одна сотая грамма на кубический сантиметр, — сказала она, взглянув на данные принтера. — Теоретическая плотность Ti-6Al-4V — четыре целых сорок три сотых. Пористость — ноль целых четыре десятых процента. Это хорошо. Это очень хорошо.

Лю проверил геометрию ручным микрометром. Девятнадцать контрольных точек. Все — в допуске.

— Устанавливаем, — сказал Ревин.

Установка заняла ещё три часа — не потому что была сложной, а потому что была ответственной. Проставку уложили на фланец «Факела» и зафиксировали тонким слоем космического клея — эпоксидного компаунда, способного полимеризоваться в вакууме при ультрафиолетовом облучении. Лю контролировал прилегание. Кэт — параметры клевого шва. Ревин — общую картину.

Затем — повторная стыковка. Манипулятор снова подвёл «Факел» к «Колумбии». Снова — медленно, десять сантиметров в секунду. Снова — лазерный крест на мишени. Сно-

ва — камера ближнего обзора, показывающая два фланца, сходящихся в пространстве.

На этот раз лазерный профилометр показал зелёное поле. Ровное, как стол. Отклонение от номинала — не более тридцати микрометров по всей поверхности.

Болты затянули динамометрическим ключом — каждый из двадцати четырёх, строго в определённой последовательности (крест-накрест, чтобы избежать перекоса), строго с определённым моментом (сто двадцать ньютон-метров, плюс-минус два). Кривцов считал щелчки ключа, Жарков записывал моменты затяжки, Ревин стоял — висел — рядом и следил, чтобы ни один болт не был пропущен.

Последний болт встал на место в 23:47 по Гринвичу.

— Контроль герметичности, — скомандовал Ревин.

Давление в стыковочном узле подняли до ста трёх килопаскалей — на три процента выше нормального. Выдержали тридцать минут. Датчики утечки показали — ноль. Абсолютный ноль.

Ревин положил ладонь на обшивку стыковочного узла. Металл был холодным — температура на внутренней стороне обшивки, даже с теплоизоляцией, опускалась ниже комнатной. Но за этим холодом он чувствовал целостность. Два модуля стали одним.

Одним из четырёх.

— ЦУП, — сказал Ревин. — Стыковка «Факела» и «Колумбии» завершена. Герметичность — норма. Переходим к

второму этапу. Стыковка «Тяньгуна» — завтра, ноль-шесть-ноль-ноль.

Он отключил микрофон и повернулся к Кэт и Лю, которые висели рядом, уставшие, с красными от недосыпа глазами, с волосами, торчащими в разные стороны в невесомости.

— Первый модуль, — сказал он.

— Первый из четырёх, — кивнула Кэт.

— Первый из восьмисот сорока семи проблем, — сказал Лю. И, помолчав, добавил: — Примерно.

Ревин почувствовал, как уголки его губ поднимаются. Это было похоже на улыбку, хотя он не был уверен — он не улыбался достаточно часто, чтобы узнавать это ощущение безошибочно.

— Идите спать, — сказал он. — Оба. У нас завтра ещё двадцать две тонны, которые нужно поставить на место.

Кэт и Лю уплыли в сторону спальных модулей. Ревин остался один в командном посту.

Он подплыл к обзорному куполу и посмотрел наружу.

Там, в черноте, освещённый косым светом терминатора, висел скелет «Лагранжа» — два модуля, соединённые воедино, с торчащими во все стороны стыковочными фланцами, кронштейнами, кабельными каналами. Он был уродлив. Он был незакончен. Он был прекрасен.

Ревин положил ладонь на стекло купола. Стекло было холодным — всегда холодным, как всё в космосе. За стеклом — вакуум. За вакуумом — корабль. За кораблём — Марс.

За Марсом — всё остальное.

Он стоял так долго — может быть, минуту, может быть, десять. Потом убрал руку, оставив на стекле туманный отпечаток ладони, который медленно таял в сухом, рециркулированном воздухе станции.

Девяносто пять дней до завершения.

Он оттолкнулся от купола и поплыл к спальному модулю. Завтра будет «Тяньгун».

Глава 2. Допуск на ошибку

Сон в невесомости — это искусство капитуляции.

Ревин так и не научился ему до конца, хотя провёл на орбите уже шестые сутки. Тело, привыкшее за пятьдесят два года к тому, что «вниз» — это направление, отказывалось принимать новые правила. Вестибулярный аппарат посылал сигналы, которые не совпадали с тем, что видели глаза, и мозг, не в силах разрешить конфликт, отвечал тупой, ноющей головной болью, которая начиналась за глазами и расползалась к вискам. В первые двое суток Ревин принимал «Прометазин» — антигистаминный препарат, который подавлял тошноту, но делал мысли вязкими, как загустевший мёд. На третий день он отказался от таблеток. Тошнота осталась, но ясность мышления стоила дороже.

Он спал в мешке, пристёгнутом к стене спального модуля, в положении, которое на Земле выглядело бы как стояние — вертикально, с руками, свободно парящими перед грудью. Руки в невесомости всегда стремились в одно и то же положение — чуть согнутые в локтях, на уровне солнечного сплетения, как у манекена. Мартынов называл это «позой зомби» и утверждал, что через месяц привыкаешь, через два — перестаёшь замечать, а через три — начинаешь скучать по ней на Земле.

В 05:30 по Гринвичу Ревин открыл глаза. Не от будильни-

ка — будильник был выставлен на 05:45. Его разбудил звук, которого не должно было быть: тонкий, высокий, на грани слышимости, похожий на комариный звон. Он длился три-четыре секунды, затем смолк. Ревин лежал — висел — в темноте, прислушиваясь. Звук не повторился.

Он расстегнул спальный мешок и выплыл в общий коридор. Остановился, положил ладонь на переборку. Вибрации не было. Температура — нормальная. Ревин постоял так полминуты, потом двинулся к командному посту.

Марина Остапчук была уже там — она несла ночную вахту и сидела — насколько можно «сидеть» в невесомости — перед мониторами, зафиксировав ноги в напольных петлях. — Слышали? — спросил Ревин.

Остапчук подняла брови.

— Что именно?

— Звук. Высокочастотный. Секунды три назад.

— Я ничего не слышала. Но... — она повернулась к экрану с данными акустического мониторинга. Платформа была оснащена микрофонами, распределёнными по всем отсекам — не для подслушивания, а для диагностики. Конструкция «говорит»: скрипы, щелчки, стоны металла — всё это информация. — Посмотрим...

Она прокрутила запись назад. На спектрограмме — графическом представлении звука, где горизонтальная ось — время, вертикальная — частота, а цвет — громкость — Ревин увидел тонкую линию на частоте четырнадцать тысяч

герц. Три точки восемь секунды длительностью. Амплитуда — едва выше фонового шума станции.

— Есть, — сказала Остапчук. — Четырнадцать килогерц. Источник... — она постучала по клавиатуре, переключаясь между микрофонами. — Стыковочный узел «Факел-Колумбия».

Ревин почувствовал, как внутри что-то сжалось — короткое, быстрое ощущение, не страх и не тревога, а нечто более глубокое. Профессиональное чутьё. Голос опыта, который говорил: обрати внимание. Не игнорируй.

— Термическое? — спросил он.

— Вероятно. Мы входим в тень через... — Остапчук проверила орбитальные параметры, — двенадцать минут. Обшивка начинает остывать. Перепад температуры — сорок градусов за последние пятнадцать минут.

Ревин кивнул. Станция на низкой орбите проходила полный цикл «день-ночь» каждые девятью две минуты. Каждые сорок шесть минут — переход из солнечного света в тень Земли. Каждый такой переход — термический удар. Обшивка, нагретая до ста двадцати градусов, за пятнадцать минут охлаждается до минус ста пятидесяти. Материалы расширяются и сжимаются. Конструкция дышит. Иногда она при этом издаёт звуки.

Обычно это нормально. Но «обычно» не включало свежий стыковочный узел с компенсационной проставкой, установленной двенадцать часов назад.

— Я проверю, — сказал Ревин.

— Алексей Павлович, может, подождём до подъёма? Дмитрий Андреевич может...

— Я проверю сам.

Он сказал это тем тоном, который не предполагает продолжения дискуссии, и двинулся к стыковочному узлу.

Стыковочный узел между «Факелом» и «Колумбией» находился в переходном тоннеле — трубе диаметром восемьдесят сантиметров и длиной два с половиной метра. Тесно. Ревин протиснулся внутрь, развернулся так, чтобы видеть внутреннюю поверхность фланцевого соединения — то самое кольцо с двадцатью четырьмя болтами, которое они вчера затянули динамометрическим ключом.

Он включил налобный фонарь. Луч скользнул по металлу — тускло-серая поверхность нержавеющей стали, головки болтов с маркерной краской (чёрная полоса через грань головки и фланец — если болт открутится, полосы разойдутся, и это видно невооружённым глазом). Все полосы целые. Все болты на месте.

Ревин достал из набедренного кармана ультразвуковой толщиномер — прибор размером с мобильный телефон, способный измерять толщину металла с точностью до одной сотой миллиметра. Приложил датчик к фланцу. Показания: двадцать два целых три десятых миллиметра. Номинал — двадцать два и три. Совпадение. Перешёл на следующую точку. Двадцать два и двадцать девять сотых. Следующая.

Двадцать два и тридцать одна сотая.

Он замер.

Двадцать две целых тридцать одна сотая. Номинал — двадцать две и три десятых. Отклонение — одна сотая миллиметра. Десять микрометров. Толщина человеческого волоса.

Это могла быть погрешность прибора. Ультразвуковой толщиномер измеряет толщину по времени прохождения звуковой волны через металл — импульс частотой пять мегагерц входит в поверхность, отражается от противоположной стенки и возвращается. Время пролёта — микросекунды. Скорость звука в стали — пять тысяч девятьсот метров в секунду. Делим расстояние на скорость — получаем толщину. Точность зависит от температуры — скорость звука в металле меняется с температурой, и если прибор откалиброван при двадцати градусах, а фланец сейчас имеет температуру минус десять (переходный тоннель — самое холодное место в конструкции), то погрешность может составить...

Ревин произвёл расчёт в уме. Температурный коэффициент скорости звука в нержавеющей стали 316L — минус ноль целых семь десятых метра в секунду на градус. Разница температур — тридцать градусов. Изменение скорости — двадцать один метр в секунду. На толщине двадцать два миллиметра это даёт погрешность... около восьмидесяти микрометров. Восемь сотых миллиметра.

Его отклонение — одна сотая. В пять раз меньше температурной погрешности.

Иными словами — ничего. Шум. Призрак.

Он измерил ещё двадцать точек. Все — в допуске с учётом температурной поправки. Звук не повторился. Фланец был цел, проставка на месте, болты затянуты.

Ревин выбрался из тоннеля, убрал толщиномер и поплыл обратно к командному посту. По дороге он думал о том, что отклонение в одну сотую миллиметра — ниже порога значимости. Что звук на четырнадцать килогерцах — нормальное термическое «дыхание» конструкции. Что он встал на полчаса раньше и полез в тесный тоннель из-за ничего.

И он думал о том, что, если бы не полез, он бы не знал, что это «ничего». А незнание на орбите стоит дороже, чем полчаса сна.

Стыковка «Тяньгуна» началась в 06:20 — с двадцатиминутным опозданием, вызванным тем, что Ревин потребовал дополнительный цикл проверки стыковочного узла на принимающей стороне «Колумбии» перед тем, как подводить китайский модуль. Кэт не возражала. Лю — тоже. Оба прочитали его отчёт о ночном инциденте.

Навигационно-научный модуль «Тяньгун» был самым компактным из четырёх элементов корабля — двадцать две тонны, длина — девять метров, диаметр — три и восемь десятых метра. Но он был и самым хрупким. Внутри, за многослойной обшивкой, находилось оборудование, которое не терпело ударов, вибраций и перегрузок: квантовый генератор запутанных фотонов для защищённой связи, лазерные

гироскопы навигационной системы, рубидиевые атомные часы с нестабильностью десять в минус тринадцатой степени, звёздные датчики с ПЗС-матрицами, чувствительными к одиночным фотонам.

Лю лично проверил каждый датчик перед тем, как дать разрешение на подвод. Он подплывал к экрану, вызывал телеметрию «Тяньгуна» — модуль всё ещё висел автономно, в двухстах метрах от платформы, на собственном бортовом питании, — и проверял показания одного прибора за другим. Ревин наблюдал за ним из командного поста и видел нечто, чего не мог описать иначе как «диалог»: Лю смотрел на цифры, и цифры что-то ему говорили, и он кивал — едва заметно, одним движением подбородка, — и переходил к следующему прибору.

— Атомные часы, — сказал Лю наконец. — Дрейф за последние семьдесят два часа — четыре целых семь десятых на десять в минус тринадцатой в сутки. Это выше спецификации.

Ревин не сразу понял масштаб. Десять в минус тринадцатой — это ноль целых и двенадцать нулей после запятой, потом единица. Четыре целых семь десятых таких единиц в сутки.

— Насколько выше? — спросил он.

— Спецификация — три на десять в минус тринадцатой. Мы имеем четыре и семь. Превышение — пятьдесят шесть процентов.

— Это критично для навигации?

Лю поправил очки. Тот самый жест.

— На расстоянии орбиты Земли — нет. GPS и наземные станции компенсируют. На расстоянии Марса, при автономной навигации — ошибка будет накапливаться. За восемь месяцев перелёта — порядка двухсот метров. Это много для входа в атмосферу Марса, но приемлемо для выхода на орбиту. Вопрос в том, будет ли дрейф нарастать или стабилизируется.

— Причина?

— Предположительно — вибрации при запуске. Рубидиевый стандарт частоты чувствителен к механическим воздействиям. Перегрузка при выведении — четыре с половиной g в течение восьми минут — могла сместить резонатор. Немного. На ангстремы. Но рубидиевый переход — это квантовый эффект, и он чувствует ангстремы.

Ревин подумал о том, что в этом была горькая ирония: ракета, которая несла модуль сквозь атмосферу на огненном столбе, с рёвом, сотрясающим землю, — эта ракета повредила прибор, работающий на уровне отдельных атомов. Грубая сила и квантовая тонкость, столкнувшиеся в одном объекте.

— Можно перекалибровать на орбите?

— Можно. Но нужен эталонный сигнал. Водородный лазер на Земле, переданный через наземную станцию. Процедура занимает двенадцать часов.

— Начинайте после стыковки.

— Уже запросил Пекин. Они готовят мазер.

Кэт, слушавшая разговор, наклонила голову.

— Запасные часы?

— Есть, — ответил Лю. — Второй рубидиевый стандарт.

Но он в том же модуле, пережил ту же перегрузку. Вероятность аналогичного дрейфа — высока. Я бы хотел проверить оба после стыковки и выбрать лучший.

Ревин кивнул.

— Разумно. Приступаем к подводу.

Манипулятор «Канадарм-3М» развернулся к «Тяньгуну», его суставчатая рука — два плечевых шарнира, два локтевых, два кистевых — вытянулась на полную длину, семнадцать метров, и начала медленное, вкрадчивое движение к захватному стержню китайского модуля.

Ревин следил за процессом на разделённом экране: слева — общий вид с камеры на корпусе платформы, справа — крупный план с камеры на «кисти» манипулятора. «Тяньгун» надвигался — цилиндр молочно-белой изоляции, переречёркнутый золотыми полосами солнечных батарей. На его носовой части Ревин различал красные иероглифы — «###», «небесный дворец» — и, чуть ниже, эмблему проекта: три переплетённых кольца на фоне красного диска Марса.

Захват прошёл штатно. Подвод — штатно. На дистанции десяти метров включился лазерный крест. Кривцов, уже привычно, контролировал положение.

— Смещение — один миллиметр вправо, ноль по верти-

кали. Угол — ноль целых два градуса по крену. Корректирую...

На дистанции одного метра Ревин снова включил профилометр. На этот раз — обе поверхности: фланец «Тяньгуна» и ответный фланец «Колумбии».

Зелёное поле. Зелёное поле. Всё в допуске.

— Стыкуем, — сказал Ревин.

Фланцы сошлись с тихим, едва слышным щелчком — металл к металлу, уплотнительное кольцо сжалось, направляющие штыри вошли в гнёзда. Двадцать четыре болта были затянуты за сорок минут. Проверка герметичности — ноль утечки.

Два стыковочных узла из четырёх. «Факел» — корма, «Тяньгун» — нос. Оставались боковые пилоны и жилой модуль — самый сложный элемент, с вращающимся сегментом.

Но это — следующая неделя. Сейчас — другая проблема.

Проблема обнаружилась в 14:30, через восемь часов после стыковки «Тяньгуна», когда Лю начал подавать питание на системы модуля через энергоканал центрального хаба.

Энергоснабжение корабля «Лагранж» было организовано по принципу звезды: все модули получали электричество от центральной шины — медной, с серебряным покрытием, проложенной через хаб «Колумбия». Солнечные панели, расположенные на «крыльях» хаба, генерировали электричество, которое преобразовывалось в постоянный ток напряжением сто двадцать вольт и распределялось по потребите-

лям.

Когда Лю включил основной коммутатор «Тяньгуна», напряжение на шине упало со ста двадцати до ста четырнадцати вольт. Пять процентов — на первый взгляд, немного. Бытовая электроника на Земле допускает колебания в десять процентов. Но бортовое оборудование — не бытовая электроника.

— Сто четырнадцать, — сказал Лю, глядя на дисплей. — Это ниже допустимого минимума.

Ревин, находившийся в соседнем модуле, подтянулся к переходному люку.

— Какой минимум?

— Сто шестнадцать. Плюс-минус четыре вольта от номинала. Ниже ста шестнадцати — квантовый генератор не гарантирует стабильность пар. Нет стабильности пар — нет квантовой связи.

Квантовый генератор запутанных фотонов — сердце системы защищённой связи — был, пожалуй, самым капризным прибором на борту. Он работал на нелинейном кристалле бета-бората бария — ВВО — который при облучении ультрафиолетовым лазером испускал пары фотонов, квантово запутанных: измерение поляризации одного мгновенно определяло поляризацию другого, независимо от расстояния. Но процесс был чрезвычайно чувствителен к стабильности питания лазера. Колебания напряжения приводили к флуктуациям мощности накачки, а флуктуации мощности

— к снижению качества запутанности. Фотоны переставали быть идеально коррелированными. Связь деградировала.

— Просадка при подключении нагрузки, — сказала Кэт, подплыв к пульту и посмотрев на графики. — Сколько потребляет «Тяньгун» на холостом ходу?

— Три целых два киловатта, — ответил Лю. — Из них два и пять — электроника и обогрев, ноль семь — системы терморегулирования.

— Панели дают сейчас...

— Двадцать два и четыре киловатта. Суммарная нагрузка с «Факелом» и «Колумбией» — девятнадцать и один. Запас — три и три киловатта. «Тяньгун» потребляет три и два. Арифметически — хватает. Проблема не в мощности.

— Проблема в проводке, — сказал голос из-за спины Ревина.

Рамеш Патель — специалист по термальным системам из американской группы, тот самый человек с семью патентами на радиаторы — появился в командном посту с мультиметром в руке. Ревин заметил, что Патель, в отличие от большинства членов экипажа, перемещался в невесомости с некоторой неловкостью — ему было пятьдесят три, это был его первый полёт, и тело ещё сопротивлялось. Но руки у Патела были уверенные, и мультиметр он держал так, как хирург держит скальпель.

— Я измерил сопротивление силового кабеля между шиной «Колумбии» и вводом «Тяньгуна», — продолжил Па-

тель. — Восемьдесят семь миллиом. При токе двадцать семь ампер — а это номинальный ток «Тяньгуна» при полной загрузке — падение напряжения на кабеле составляет два целых три десятых вольта. Ещё три и семь десятых вольта — на соединителях. Итого — шесть вольт потери. Сто двадцать минус шесть — сто четырнадцать.

Ревин нахмурился.

— Откуда три и семь на соединителях? Спецификация — не более ноль целых пяти вольт на соединитель. У нас два соединителя. Максимум — один вольт.

— Спецификация верна для новых соединителей при комнатной температуре и номинальном токе, — сказал Патель. — Наши соединители прошли термоциклирование на орбите. Температура в месте установки — плюс восемь по Цельсию. И они стыковались в условиях, отличных от лабораторных.

Он подплыл к экрану и вывел фотографию, сделанную им десять минут назад: крупный план электрического соединителя — круглого, с двенадцатью позолоченными контактами, каждый диаметром два миллиметра. Фотография была сделана через лупу с десятикратным увеличением, и на ней было видно то, чего не увидишь невооружённым глазом: на двух контактах из двенадцати тонкий слой золотого покрытия был нарушен. Не стёрт, не поцарапан — деформирован. Микроскопические складки, похожие на морщины на коже.

— Фреттинг-коррозия, — сказал Патель. — Микроскопи-

ческие возвратно-поступательные движения контактов при термоциклировании. Золото — мягкий металл. При многократных смещениях на доли микрометра поверхность деформируется, контактная площадь уменьшается, сопротивление растёт.

Ревин закрыл глаза на секунду. Фреттинг-коррозия. Явление, известное инженерам с середины двадцатого века. Описано в учебниках, занесено в справочники, учтено в стандартах. И всё равно — здесь, на орбите, на соединителе, который прошёл все виды контроля качества, существующие на Земле.

— Варианты? — спросил он, открыв глаза.

— Первый, — сказал Патель, — замена соединителей. Есть в ЗИП. Работа — четыре часа. Но новые соединители подвергнутся тому же термоциклированию и через две недели дадут ту же проблему.

— Второй?

— Шунтирование. Параллельно штатному силовому кабелю проложить дополнительный — меньшего сечения, но с другими соединителями. Суммарное сопротивление падает, потери — в допуске.

— Третий? — спросила Кэт.

Патель повернулся к ней.

— Третий — повысить напряжение на шине. Со ста двадцати до ста двадцати шести вольт. Компенсируем потери.

— Это нештатный режим, — сказал Ревин.

— Это нештатный режим, — согласился Патель. — Но все преобразователи рассчитаны на диапазон от ста до ста сорока. Сто двадцать шесть — в пределах рабочего диапазона. Вопрос — согласует ли Хьюстон.

— Хьюстон согласует всё, что подтверждено расчётом и не убивает людей, — сказала Кэт. — Но я бы предпочла второй вариант. Шунтирование — это физическое решение. Повышение напряжения — это маскировка.

Ревин хотел спросить у Лю, но Лю уже говорил:

— Второй и третий. Оба. Шунтирование — как основное решение. Повышение напряжения — как временное, на период прокладки дополнительного кабеля. И я хочу добавить четвёртый вариант.

— Какой?

— Стабилизатор питания непосредственно на входе квантового генератора. Отдельный DC-DC преобразователь с низким выходным импедансом и подавлением пульсаций не хуже шестидесяти децибел. Он изолирует генератор от колебаний шины.

Ревин посмотрел на Лю. Лю смотрел на экран, где светились цифры напряжения — сто четырнадцать вольт, красная зона.

— У вас есть такой преобразователь?

— В ЗИП — нет. Но у меня есть Ли Синьвэй.

Ли Синьвэй, самый молодой инженер экспедиции, двадцать семь лет, магистр по радиационно-стойкой микроэлек-

троники. Ревин вспомнил его — тихий парень с тонкими пальцами и манерой смотреть на электронные платы так, будто он видит не компоненты, а электроны, бегущие по дорожкам.

— Он может собрать стабилизатор из того, что есть на борту, — продолжил Лю. — Я работал с ним три года. Он может собрать стабилизатор из того, что есть в мусорной корзине.

Ревин невольно усмехнулся. Потом посмотрел на Кэт.

— Параллельная работа. Патель — шунтирование. Ли — стабилизатор. Кэт — связь с Хьюстоном по повышению напряжения на шине как временная мера. Лю — общая координация по энергосистеме. Я иду разбираться со стыковочным узлом — хочу поставить на него постоянный акустический мониторинг.

— Вы всё ещё думаете о ночном звуке? — спросила Кэт.

— Я никогда не перестаю думать о звуках, которых не должно быть.

Пока Патель с Жарковым прокладывали дополнительный кабель — шестнадцать метров, от распределительного щита «Колумбии» до силового ввода «Тяньгуна», через три переходных тоннеля и два негерметичных отсека, — Ревин занялся тем, что считал не менее важным: он устанавливал датчики.

Пьезоэлектрические акселерометры — маленькие, размером с монету, каждый способный измерять вибрацию с ча-

стотой до ста килограмм и чувствительностью, достаточной, чтобы зафиксировать падение пылинки на стальную плиту. Ревин закрепил шесть таких датчиков на стыковочном узле «Факел-Колумбия» — по три с каждой стороны фланца — и подключил их к бортовой системе сбора данных.

Теперь любой звук, любая вибрация, любое микродвижение в стыке записывалось непрерывно, с меткой времени, с привязкой к орбитальному положению (солнце/тень), с корреляцией к температуре обшивки.

Пока он работал в тесном тоннеле, приклеивая датчики эпоксидным клеем к гладкой стали фланца, он думал о металле.

Титановый сплав Ti-6Al-4V — рабочая лошадка аэрокосмической промышленности. Шесть процентов алюминия, четыре процента ванадия, остальное — титан. Альфа-бета сплав: при комнатной температуре кристаллическая решётка титана существует в двух формах — гексагональной плотноупакованной (альфа-фаза) и объёмно-центрированной кубической (бета-фаза). Алюминий стабилизирует альфа-фазу. Ванадий — бета-фазу. Соотношение фаз определяет свойства: прочность, пластичность, коррозионную стойкость, усталостную долговечность.

При нагреве до ста двадцати градусов — температура солнечной стороны обшивки — ничего не происходит. Сплав стабилен до четырёхсот. При охлаждении до минус ста пятидесяти — тоже ничего катастрофического: Ti-6Al-4V сохра-

няет пластичность до минус двухсот. Но — и это «но», о котором Ревин думал, приклеивая последний датчик, — каждый цикл нагрев-охлаждение создаёт в металле микронапряжения. На границе между альфа- и бета-зёрнами, где кристаллические решётки не совпадают, термические деформации неодинаковы. Альфа-зерно расширяется в одну сторону, бета-зерно — в другую. Граница между ними испытывает сдвиг. Ничтожный — нанометры. Но повторяющийся. Пять тысяч семьсот раз за одиннадцать суток. Шестьдесят три раза в сутки. И каждый раз — чуть-чуть, неизмеримо мало — граница зерна ослабевает.

Это называется термоусталость. Она не описывается в рекламных буклетах материалов. Она описывается в монографиях, которые читают люди вроде Натальи Ким.

Ревин вызвал Ким по внутренней связи.

— Наталья Юрьевна, когда вы рассчитывали проставку вчера — вы закладывали термоусталость?

Пауза в три секунды. Ким думала.

— Я использовала кривую Вёлера для Ti-6Al-4V при амплитуде напряжения, соответствующей перепаду в двести семьдесят градусов. Ресурс — порядка двадцати тысяч циклов до появления микротрещин. При шестидесяти трёх циклах в сутки на низкой орбите это — триста семнадцать суток. Но в полёте к Марсу термоциклирование будет другим: корабль ориентирован постоянно, солнечная сторона не меняется. Количество циклов — в десятки раз меньше.

— А на этапе сборки? Девяносто шесть дней на орбите — это шесть тысяч сорок восемь циклов.

— Это тридцать процентов ресурса, — сказала Ким, и её голос стал чуть суше, чуть ровнее — признак того, что она только что увидела число, которое ей не понравилось. — Тридцать процентов — до полёта.

— Мы будем летать на узле, который выработал треть ресурса по термоусталости, ещё не покинув орбиту Земли.

— Да, — сказала Ким. — Если мы не примем мер.

— Какие меры?

— Термочехол. Многослойная экранно-вакуумная изоляция на стыковочный узел. Снизим амплитуду термоцикла с двухсот семидесяти до... я рассчитаю точнее, но ориентировочно — до пятидесяти-шестидесяти градусов. При такой амплитуде ресурс — более ста тысяч циклов. Проблема исчезает.

— Делайте, — сказал Ревин. — И оба узла — «Факел-Колумбия» и «Тяньгун-Колумбия».

— Есть.

Ревин отключился и повис в тоннеле, глядя на шесть маленьких датчиков, прилепленных к стальному кольцу. Шесть ушей, слушающих тишину металла. Он не знал, заговорит ли металл снова. Но теперь, если заговорит, — его услышат.

Ли Синьвэй собрал стабилизатор за девять часов.

Ревин наблюдал за процессом — частично, урывками, между другими задачами — и то, что он видел, вызывало

в нём смесь восхищения и лёгкой тревоги. Ли работал за складным столом в лабораторном отсеке «Тяньгуна», закрепив ноги в напольных петлях, а компоненты — на магнитном коврике. Вокруг него плавали — буквально — инструменты: паяльник с вакуумным отсосом олова (обычный паяльник в невесомости опасен — капля расплавленного припоя, оторвавшись от платы, летит по инерции и может попасть в глаз, в вентиляцию, в прибор), пинцет, лупа на гибком кронштейне, осциллограф.

Он собирал стабилизатор из компонентов, извлечённых из трёх разных источников: контроллер ШИМ — из запасной платы управления термопарами; силовой MOSFET-транзистор — из резервного блока питания научного прибора, который не будет использоваться до полёта; конденсаторы и индуктивности — из ЗИП. Каждый компонент он проверял перед установкой: транзистор — на характериографе, конденсатор — на измерителе ёмкости и ESR, индуктивность — на импедансном анализаторе.

Схему Ли не рисовал — она существовала в его голове. Лю, стоявший рядом, один раз попросил показать принципиальную схему, и Ли начертил её маркером на листе бумаги за сорок секунд: понижающий преобразователь с синхронным выпрямлением, входное напряжение 100-140 В, выходное $120\text{ В} \pm 0,1\%$, пульсации — не более одного милливольт. Лю посмотрел на схему, кивнул и больше вопросов не задавал.

Когда стабилизатор был собран — небольшая плата размером с игральную карту, залитая конформным покрытием для защиты от влаги и пыли, — Ли подключил его к лабораторному источнику питания и нагрузке.

— Вход — сто четырнадцать вольт, — сказал он. Его голос был мягким, почти робким — голос человека, привыкшего разговаривать с электронами, а не с людьми. — Выход — сто двадцать ноль-ноль три. Пульсации...

Он переключил осциллограф на максимальную чувствительность — пятьсот микровольт на деление.

— Пульсации — шестьсот двадцать микровольт. Ноль целых шесть миллиом... нет, миллиВольт. Спецификация — один милливольт. В допуске.

Лю позволил себе улыбку — короткую, но настоящую.

— Теперь — термоиспытания, — сказал он. — Нагрев до семидесяти, охлаждение до минус двадцати. Три цикла. Проверим стабильность.

Термоиспытания заняли ещё четыре часа. Стабилизатор прошёл их без замечаний.

К двадцати трём часам по Гринвичу все три решения были реализованы: напряжение на шине временно поднято до ста двадцати четырёх вольт (Хьюстон согласовал после трёх-часового обсуждения), дополнительный силовой кабель проложен и подключён, стабилизатор Ли установлен на входе квантового генератора.

Напряжение на шине: сто двадцать целых две десятых

вольты.

Напряжение на входе квантового генератора: сто двадцать целых ноль-ноль три вольты.

Пульсации: шестьсот двадцать микровольт.

Лю включил генератор. На экране появилась диаграмма — распределение степени запутанности фотонных пар. Идеальная запутанность — единица. Допустимый минимум — ноль целых девяносто пять сотых.

Цифра на экране: 0,983.

— Рабочий режим, — сказал Лю. И, помолчав: — Хороший стабилизатор.

Ли Синьвэй покраснел. В невесомости кровь приливает к лицу иначе, чем на Земле — не волной, а равномерно, и лицо не краснеет, а приобретает ровный, тёмно-розовый оттенок, похожий на закат.

На восьмой день — через два дня после стыковки «Тяньгуна» — Ревин получил данные от акустических датчиков.

Он сидел в командном посту, один — было четыре часа утра по Гринвичу, его очередная бессонница, — и просматривал спектрограммы за прошедшие сорок восемь часов. Программа автоматического анализа не нашла аномалий. Но Ревин не доверял программам в вопросах, которые касались звуков в металле. Он просматривал данные вручную, прокручивая спектрограмму минуту за минутой.

На отметке тридцать один час семнадцать минут он нашёл это.

Не звук. Не вибрация. Паттерн.

Каждый раз, когда станция входила в тень Земли — каждые девяносто две минуты, — акустический спектр стыковочного узла менялся. Фоновый шум — хаотическая смесь частот от механизмов, вентиляции, электроники — оставался прежним. Но на частотах от двенадцати до шестнадцати килогерц появлялся слабый, на грани обнаружения, сигнал. Не одиночный тон, как тот, что разбудил его. Широкополосный — размазанный по четырём килогерцам. Длительность — от двух до шести секунд. Начало — через одиннадцать-четырнадцать минут после входа в тень. Конец — резкий, как обрезанный ножницами.

Ревин насчитал тридцать один такой эпизод за сорок восемь часов. Тридцать один из тридцати трёх орбитальных витков. В двух случаях сигнал отсутствовал — оба раза станция входила в полутень, а не в полную тень (Луна экранировала часть солнечного потока, замедляя охлаждение).

Паттерн. Не случайность — паттерн.

— Наталья Юрьевна, — вызвал он Ким. — Мне нужна ваша консультация. Я знаю, что сейчас четыре утра.

Ким ответила через двадцать секунд — без раздражения, без сонного голоса, будто и не спала.

— Слушаю.

Он переслал ей данные. Ким анализировала их двенадцать минут. Ревин ждал, глядя в иллюминатор, за которым медленно проплывала ночная Европа — россыпь огней, со-

звездие городов, жёлтые капилляры автострад.

— Это проставка, — сказала Ким наконец.

— Уверены?

— Частотный диапазон. Двенадцать-шестнадцать килогерц — это собственная частота элемента толщиной два-три миллиметра из Ti-6Al-4V при поперечных колебаниях. Проставка имеет толщину от нуля до двух целых три десятых. Она вибрирует.

— Почему?

— Клеевое соединение. При охлаждении коэффициент термического расширения клея — эпоксидного компаунда — отличается от коэффициента титана. Клей сжимается быстрее, чем проставка и фланец. Между ними возникает касательное напряжение. Когда напряжение превышает адгезионную прочность — клей локально отрывается от поверхности. На микроскопическом участке проставка перестаёт быть связанной с фланцем и вибрирует как свободная мембрана. При нагреве клей расширяется, контакт восстанавливается, вибрация прекращается.

Ревин медленно выдохнул.

— То есть клеевой шов деградирует.

— Да. Медленно. Циклически. С каждым витком — чуть больше. Но, — она сделала паузу, — проставка фиксируется не только клеем. Она прижата болтовым соединением. Даже если клей полностью разрушится — проставка останется на месте.

— Но будет вибрировать.

— Будет вибрировать. На частоте двенадцать-шестнадцать килогерц, с амплитудой порядка... — она считала. — Порядка пяти-десяти микрометров. Это не создаст структурных проблем для фланца. Но создаст акустический шум, который может повлиять на чувствительное оборудование.

— Лазерные гироскопы, — сказал Ревин.

— Лазерные гироскопы, — подтвердила Ким. — Они находятся в «Тяньгуне», через два модуля от стыка. Вибрация будет передаваться через конструкцию с затуханием... я оценю, но интуитивно — недостаточным.

Ревин посмотрел на часы. Четыре тридцать две. Через полтора часа — подъём. Через два — утреннее совещание. Через три — начало работ по установке боковых пилонов жилого модуля.

— Решение? — спросил он.

Ким думала семь секунд.

— Заменить эпоксидный клей на индиевую прокладку. Индий — мягкий металл, температура плавления сто пятьдесят семь градусов. При болтовом соединении индиевая прокладка деформируется, заполняя все неровности. Коэффициент термического расширения индия — тридцать три на десять в минус шестой, титана — восемь и шесть. Разница — большая. Но индий пластичен: он не отрывается, а деформируется. Вибрации не будет.

— Индий есть на борту?

— Нет. Но индиевая проволока используется в вакуумных уплотнениях. На платформе должны быть вакуумные фланцы с индиевыми прокладками — это стандарт для научного оборудования.

Ревин вызвал Остапчук.

— Марина, у нас на платформе есть индий?

Остапчук ответила не сразу — она проверяла инвентарную базу.

— Индиевая проволока, диаметр один миллиметр, чистота девяносто девять и девяносто девять сотых процента. Три катушки по десять метров. Для вакуумных фланцев масс-спектрометра, который так и не прислали.

— Мне нужна одна катушка.

— Забирайте.

Ревин повернулся к спектрограмме на экране. Тридцать один эпизод за сорок восемь часов. Тридцать один раз проставка шептала ему: я здесь, я вибрирую, я живу своей жизнью, не той, которую вы мне назначили.

Он услышал.

Переделка заняла целый день.

Демонтаж стыковочного узла — двадцать четыре болта в обратном порядке, каждый с контролем момента отворачивания (если момент существенно ниже затяжного — болт мог ослабнуть сам, и это отдельная проблема, требующая расследования; все моменты оказались в норме). Извлечение проставки, очистка поверхностей от остатков эпоксид-

ного клея (механическая — скребком из нержавеющей стали, затем химическая — метилэтилкетон, затем протирка изопропиловым спиртом). Укладка индиевой проволоки в паз, сформированный в проставке — Лю модифицировал геометрию, добавив канавку глубиной ноль целых пять десятых миллиметра и шириной один миллиметр, точно под диаметр проволоки. Проволоку уложили кольцом, обжали, подрезали стык под углом сорок пять градусов и свели концы внахлест — стандартная техника индиевого уплотнения, описанная в руководстве по вакуумной технике, которое Ким цитировала по памяти.

Повторная установка. Болты — снова крест-накрест, снова сто двадцать ньютонов. Но на этот раз, когда болты тянулись, Ревин чувствовал — через ключ, через перчатку, через руку — как индий «течет»: мягкий, послушный, заполняющий каждую впадину, каждую царапину, каждый микрометр пространства между проставкой и фланцем. Индий — один из немногих металлов, который при комнатной температуре ведет себя почти как пластилин. Его предел текучести — всего два мегапаскаля — в сто пятьдесят раз ниже, чем у титана. Болтовое соединение сдавливало индиевую прокладку, и она принимала форму того пространства, которое должна была заполнить. Идеально. Без зазоров. Без пустот.

Герметичность — ноль утечки.

Акустический мониторинг запустили немедленно. Ревин

лично наблюдал за первым входом в тень после переделки.

Спектрограмма: фоновый шум. Ровный, хаотический, скучный.

Вход в тень: минус одна минута. Ноль. Плюс одна. Плюс пять. Плюс десять. Плюс одиннадцать — время, когда раньше появлялся сигнал.

Ничего.

Плюс пятнадцать. Плюс двадцать.

Ничего.

Выход из тени. Нагрев. Охлаждение на следующем витке.

Ничего.

Ревин дождался трёх полных витков — четыре с половиной часа. Тишина.

Он снял наушники и откинулся — насколько это возможно в невесомости, просто расслабил тело и позволил ему парить на привязи.

— Тихо? — спросила Кэт, заглянув в командный пост.

— Тихо.

— Хорошая тишина.

— Лучшая тишина, — сказал Ревин. И добавил, потому что чувствовал, что это нужно сказать, хотя и не был уверен почему: — Спасибо.

Кэт наклонила голову.

— За что?

— За то, что ваш Патель нашёл фреттинг-коррозию. Если бы не это — я бы не стал ставить акустические датчики. Не

услышал бы проставку. Не заменил бы клей.

Кэт смотрела на него четыре секунды — дольше, чем обычно. Потом сказала:

— Вы бы слышали. Может быть — позже. Может быть — слишком поздно. Но вы бы слышали. Вы из тех, кто слушает.

Ревин не нашёлся, что ответить. Он не привык к комплиментам, особенно — к точным. Вместо ответа он вывел на экран обновлённый график проекта.

— Мы потеряли день, — сказал он. — Восемь дней из тридцати на первую фазу. Осталось двадцать два. Завтра — боковые пилоны.

— Пилоны — моя часть, — сказала Кэт. — Я готова.

— Знаю.

Она уплыла. Ревин остался в командном посту, глядя на спектрограмму, где не было ничего, кроме белого шума, и думал о том, что главное в работе инженера — не строить. Главное — слушать. Слушать металл, слушать цифры, слушать тишину. И различать в тишине те звуки, которые не должны быть.

На девятый день ЦУП в Королёве передал результаты дополнительного моделирования термоциклирования стыковочного узла — того самого, которое запустили после обнаружения деформации фланца. Моделировали не сто циклов, как в стандартном тесте, а десять тысяч — полный ресурс пребывания на орбите с учётом этапа сборки и ожидания ок-

на запуска.

Результаты пришли в виде отчёта на восемьдесят семь страниц, подписанного пятью докторами наук. Ревин прочитал его за два часа — в том же обзорном куполе, где неделю назад стоял сорок минут, глядя на модули в пустоте.

Ключевой вывод был на странице шестьдесят три, в разделе 4.7 «Кумулятивная микродеформация при высокоцикловом термомеханическом нагружении»:

«При числе циклов свыше четырёх тысяч с амплитудой перепада температуры 270 К (от +120°C до -150°C) в сплаве Ti-6Al-4V наблюдается необратимая кумулятивная деформация, обусловленная рэтчетингом — направленным накоплением пластической деформации при циклическом нагружении в условиях ненулевого среднего напряжения. Величина деформации — порядка 10^{-5} на цикл, что при 5700 циклах даёт суммарную деформацию $5,7 \times 10^{-2}$, или 5,7%. Для элемента с характерным размером 40 мм (толщина фланца) это соответствует изменению размера порядка 2,3 мм, что согласуется с наблюдаемым отклонением.»

Ревин дочитал абзац и закрыл глаза.

Рэтчетинг. Он знал это слово. Каждый инженер-прочнист знал это слово. Это один из механизмов усталостного разрушения — коварный, потому что каждый отдельный цикл нагружения не вызывает ничего опасного. Напряжения — ниже предела текучести. Деформации — упругие, обратимые. Но если среднее напряжение ненулевое — а оно ненулевое,

потому что фланец предварительно нагружен болтовым соединением, — то каждый цикл добавляет крошечную, неизмеримо малую пластическую деформацию. Как храповик — «рэтчет» — который двигается только в одну сторону. Цикл за циклом. Тысяча циклов. Пять тысяч. Десять тысяч. И однажды деформация становится заметной.

Два целых три десятых миллиметра. Вот откуда они взялись. Не дефект производства. Не ошибка контроля качества. Физика.

Ревин открыл глаза и посмотрел в иллюминатор. Земля проплывала внизу — голубая, белая, безразличная. Ей не было дела до рэтчетинга, до стыковочных фланцев, до двенадцати инженеров в железной банке на высоте четырёхста двадцать километров. Земля вращалась, как вращалась четыре с половиной миллиарда лет, и будет вращаться, когда от «Лагранжа» не останется даже пыли.

Но Ревину было дело.

Он вызвал Кэт и Лю.

— Совещание. Через десять минут. У нас новые данные.

Они собрались втроем — без остальных инженеров, без связи с Землёй. Ревин сознательно ограничил круг: прежде чем информация уйдёт в ЦУПы трёх стран, где её начнут интерпретировать, обсуждать, оспаривать и политизировать, — он хотел, чтобы три главных инженера пришли к общему пониманию.

Он изложил результаты отчёта в пяти минутах. Кэт слу-

шала с планшетом в руках, на котором она делала пометки стилусом — быстро, короткими штрихами, похожими на кардиограмму. Лю слушал неподвижно, с тем выражением сосредоточенного спокойствия, которое Ревин уже начал распознавать как его рабочее состояние.

— Резюме, — сказал Ревин. — Деформация фланца — не дефект. Это фундаментальное поведение материала при термоциклировании в условиях предварительного нагружения. Мы не можем его предотвратить. Мы можем только замедлить — снизив амплитуду термоцикла.

— Термочехлы, — сказала Кэт.

— Термочехлы, — подтвердил Ревин. — Наталья Юрьевна уже готовит их. Но чехлы снижают амплитуду до пятидесяти-шестидесяти градусов, не до нуля. Рэтчетинг будет продолжаться — медленнее, но будет.

— Какой остаточный ресурс с чехлами? — спросил Лю.

— По оценке Королёва — более ста тысяч циклов при амплитуде шестьдесят градусов. Это четыре с половиной года на низкой орбите. Нам нужно три месяца сборки плюс восемь месяцев полёта. С огромным запасом.

— Тогда в чём проблема? — спросила Кэт.

Ревин помолчал.

— Проблема в том, что эта деформация была в чертежах. В расчётах. В модели. И никто — ни в Королёве, ни в Хьюстоне, ни в Пекине — не увидел её до того, как она проявилась физически. Мы моделировали сто циклов, потому что

стандарт говорит — сто циклов достаточно. Стандарт написан для низкоорбитальных станций, где конструкции защищены теплоизоляцией и термоциклирование не превышает пятидесяти градусов. Мы применили этот стандарт к голому фланцу с амплитудой двести семьдесят, и стандарт нас подвёл.

Тишина.

— Сколько ещё таких стандартов мы используем? — спросил Лю. Это не был риторический вопрос. Это был вопрос инженера, который понял масштаб проблемы.

— Не знаю, — сказал Ревин. — И это — настоящая проблема. Мы строим первый межпланетный корабль, используя стандарты, написанные для околоземной орбиты. Каждый стандарт — набор допущений. Каждое допущение действительно в определённых условиях. Межпланетное пространство — другие условия. Другое излучение, другие температуры, другие длительности. Мы не знаем, какие из наших допущений перестанут работать.

— Мы узнаем, — сказала Кэт. — Когда они перестанут работать.

— Это поздно.

— Это — единственный доступный способ, — возразила она. — Мы не можем перепроверить все стандарты. Их тысячи. На это уйдут годы. У нас — восемьдесят восемь дней. Лю поправил очки.

— Компромисс, — сказал он. — Мы не можем проверить

все стандарты. Но мы можем определить критические точки — узлы, где условия максимально отличаются от околоземных, — и проверить стандарты, применённые к этим узлам.

— Сколько таких точек? — спросил Ревин.

— Я оцениваю — от пятнадцати до двадцати, — ответил Лю. — Стыковочные узлы, радиаторы, солнечные панели, сверхпроводящие магниты, оптические системы, уплотнения. Всё, что подвергается экстремальным температурам, радиации или длительным нагрузкам.

— Распределим, — сказал Ревин. — Каждая группа берёт пять-шесть точек. Проверяем стандарты, пересчитываем с реальными условиями. Параллельно основной работе.

— Параллельно? — Кэт подняла бровь. — Мы и так работаем шестнадцать часов в сутки.

— Восемнадцать, — поправил Ревин. — Спать будем на Земле.

Это была не шутка, и все трое это знали. Но Кэт улыбнулась — той быстрой, уголками губ, улыбкой, которая у неё означала не веселье, а признание ситуации.

— Договорились, — сказала она. — Спать будем на Земле.

Лю ничего не сказал. Он уже составлял список критических точек.

К вечеру десятого дня Ревин подвёл итоги первой недели сборки.

Два модуля из четырёх на месте. Один стыковочный узел

переделан — дважды. Одна проблема с электропитанием решена — тремя способами одновременно. Обнаружен и устранён дефект, не предусмотренный ни одним стандартом. Потерян один день из графика.

Термочехлы, изготовленные Ким из многослойной экранно-вакуумной изоляции — двадцать слоёв алюминизированного майлара, переложенных сеткой из полиэстера, — были установлены на оба стыковочных узла. Температурный перепад на фланцах упал с двухсот семидесяти до пятидесяти четырёх градусов. Рэтчетинг замедлился в тридцать раз. Ресурс — гарантирован.

Ревин записал в бортовой журнал:

«День 10. Стыковка модулей «Факел» и «Тяньгун» с хабом «Колумбия» завершена. Выявлены и устранены: 1) кумулятивная термическая деформация стыковочного фланца (рэтчетинг, 2,3 мм); 2) фреттинг-коррозия силовых электроразъёмов; 3) дрейф рубидиевого стандарта частоты. Установлены: компенсационная проставка с индиевым уплотнением; дополнительный силовой кабель; стабилизатор питания квантового генератора (изготовлен на борту); термоизоляция стыковочных узлов. Инициирована ревизия применимости стандартов для межпланетных условий.»

Он перечитал запись. Сухо. Точно. Ни слова о бессоннице, о звуке в четыре утра, о сорока минутах у купола. Ни слова о том, как Лю собрал третью модель за то время, пока Хьюстон и Королёв спорили о граничных условиях. Ни сло-

ва о том, как Ли Синьвэй покраснел, когда его стабилизатор заработал.

Бортовой журнал — документ. Документы хранят факты. Остальное хранят люди.

Ревин выключил свет в командном посту и подплыл к обзорному куполу. За стеклом, в абсолютной черноте, висел скелет «Лагранжа» — два модуля, соединённые хабом, укутанные в новенькие термочехлы, блестящие серебром в свете Земли. Завтра начнётся установка боковых пилонов. Послезавтра — жилой модуль. Через неделю — первый тест вращающегося сегмента.

Восемьдесят шесть дней до завершения.

Ревин положил ладонь на стекло купола. Туманный отпечаток — как тот, первый. Как все последующие.

— Мы слушаем, — сказал он тихо. Не металлу. Не кораблю. Не космосу.

Себе.

Глава 3. Скелет

На одиннадцатый день на платформу пришли новости из Хьюстона: жилой модуль опаздывал.

Ревин узнал об этом в 03:47 по Гринвичу — время, которое, как он начинал подозревать, специально выбирали американские менеджеры, чтобы новость дошла до него не в момент, когда он мог что-то с ней сделать, а в момент, когда он мог только с ней проснуться. Сообщение пришло текстом на его планшет: «Запуск модуля Habitat-1 перенесён на 96 часов из-за замечаний по системе термостатирования. Новая дата — день 15 миссии, 14:20 UTC. Подтверждение — Дэниел Роуч, руководитель программы NASA.»

Девяносто шесть часов. Четверо суток. В графике из девяноста шести дней — четыре процента общего времени. Много. Но не смертельно.

Он лежал в спальном мешке, глядя в темноту, и считал в уме. Резерв фазы один — десять дней. Один день уже потрачен на переделку стыковочного узла. Ещё четыре — на ожидание жилого модуля. Итого — пять из десяти. Половина. И это до того, как обнаружится хоть одна новая проблема.

Он расстегнул мешок и поплыл к командному посту. Кэт была уже там — сидела перед экраном с чашкой кофе в питьевом пакете (пить кофе в невесомости из открытой чашки невозможно — жидкость собирается в шар и уплывает, по-

этому все напитки на орбите пьются через соломинку из мягких пакетов). Она подняла глаза, когда он появился в дверном проёме.

— Вы тоже получили?

— Только что.

Она отпила из пакета — медленно, экономно, как человек, для которого этот кофе, возможно, был последним за ближайшие шесть часов.

— Роуч звонил мне четыре часа назад. Я пыталась его отговорить. Не помогло.

— Что за замечания?

Кэт устало провела рукой по коротко стриженным волосам, которые в невесомости так и норовили встать дыбом.

— Течь в контуре теплоносителя. Микроскопическая — литр за три дня. На Земле — можно было бы летать. На орбите — нельзя: за восемь месяцев мы потеряем весь теплоноситель. Причина — брак сварного шва на одном из радиаторных панелей. Обнаружили при финальных гидроиспытаниях. Ремонт занимает семьдесят два часа. Плюс двадцать четыре — новый цикл проверок. Плюс интеграция с ракетой — двенадцать. Итого — сто восемь. Роуч добавил ещё двенадцать «на всякий случай».

— Всегда «на всякий случай», — сказал Ревин.

— Всегда.

Он подплыл к пульту, вызвал схему предстоящих работ и посмотрел на неё так, как смотрят на пациента, у которо-

го только что обнаружили осложнение. Установка боковых пилонов — двое суток. Затем — пауза до прибытия жилого модуля. В графике эти двое суток стояли встык с прибытием модуля, потому что пилоны нужны только для его крепления. Без модуля они — просто торчащие в пустоте кронштейны, дожидаящиеся своей нагрузки.

— Мы можем сдвинуть работы вперёд, — сказал он. — Начать испытания систем «Факела» и «Тяньгуна» в автономном режиме. Не ждать жилого модуля для полной интеграции.

— Какие испытания?

— Проверка криогенной системы двигательного модуля. Мы должны залить жидкий азот в контур охлаждения сверхпроводящих магнитов и подтвердить, что система держит температуру.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.