

ПИЛОТИРУЕМЫЙ КОРАБЛЬ «СОЮЗ ТМА»: ПРОДОЛЖЕНИЕ ЛЕГЕНДЫ

ПЕРВЫЙ
ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТ
ОАО «РКК «ЭНЕРГИЯ»,
ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ
ГЕНЕРАЛЬНОГО
КОНСТРУКТОРА
Николай Иванович
Зеленщиков



Создание пилотируемого космического корабля «Союз ТМА» стало крупной вехой в международном сотрудничестве России и США и их космических агентств (Роскосмос и НАСА) в области обеспечения эксплуатации Международной космической станции (МКС).

Поскольку только российские корабли типа «Союз ТМ» технически были способны осуществлять функцию корабля-спасателя на МКС, внедрение на кораблях «Союз ТМА» (ставших модернизацией своих предшественников) конструктивных и технологических решений, обеспечивающих возможность настройки и регулировки в зависимости от роста и массы экипажа, позволило осуществлять полеты астронавтам НАСА, антропометрические параметры которых не соответствовали ограничениям для кораблей предыдущих серий.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2013 года №254-р коллективу сотрудников ОАО «РКК «Энергия» и других организаций отрасли присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Лауреатами премии за создание пилотируемого космического корабля «Союз ТМА» для обеспечения транспортирования и спасения международных экипажей в рамках межгосударственных соглашений при эксплуатации Международной космической станции стали: Н.И. Зеленщиков, М.П. Кашицын, Р.М. Самитов,

В.В. Цветков, Е.А. Булатов, А.Ф. Стрекалов, В.А. Давыдов, Н.Г. Паничкин, А.Н. Котов.

При создании корабля «Союз ТМА» разработаны и внедрены уникальные инновационные решения:

- конструктивные доработки его спускаемого аппарата (СА) позволили обеспечить размещение космонавтов с расширенным диапазоном антропометрических параметров (масса от 50 до 95 кг и рост от 150 до 190 см), а также улучшить управление кораблем в ручном режиме;
- внедрение двухмашинного контура управления с разделением функций управления на орбитальном участке (средствами центральной вычислительной машины «Аргон-16») и на спуске (с использованием специального вычислителя КС020-М) позволило существенно расширить вычислительные ресурсы, обеспечить требуемую точность посадки СА в условиях широкого разброса значений массы космонавтов, контролировать выполнение наиболее ответственных динамических операций и усовершенствовать баллистико-навигационное обеспечение;
- установка нового пульта космонавтов, разработанного на компьютерной основе, расширило возможности экипажа в осуществлении управления кораблем;
- совершенствование комплекса средств приземления позволило: повысить точность приземления спускаемого аппарата за счет учета влияния ветрового сноса при парашютировании, снизить остаточную скорость при приземлении за счет разработки двухсекционных двигателей мягкой посадки, уменьшить нагрузки на экипаж за счет внедрения в конструкцию кресел настраиваемых четырехпозиционных амортизаторов.

Проведен большой объем автономных, комплексных и межведомственных испытаний: цикл копировых сбросов подтвердил прочность доработанной конструкции СА, а самолетные испытания – надеж-

1



КОРАБЛЬ В МОНТАЖНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОМ КОРПУСЕ

2



ПРИМЕРКА ЭКИПАЖА В КРЕСЛЕ «КАЗБЕК-УМ»

ность функционирования бортовых систем и средств приземления.

На этапе эксплуатации МКС для обеспечения функции спасения ее экипажа в составе шести человек потребовалось вдвое увеличить изготовление и запуск пилотируемых кораблей. Для этого была решена крупномасштабная задача переоснащения, разработки и внедрения технологий автоматизированного производства, испытаний и контроля.

Результатом выполненных работ явилось создание новых технологий, производств, участков и рабочих мест, соответствующих мировому уровню. Среди них технологии:

- вакуумно-автоклавного формования в азотной среде теплозащитных покрытий и производства теплозащитных покрытий на базе автоматизированного автоклавного комплекса;
- изготовления корпусов стыковочных агрегатов на базе многоцелевого обрабатывающего центра;
- производства деталей точной электромеханики;
- автоматизированной гибки труб при изготовлении трубопроводов по математическим моделям;
- контроля деталей и узлов методом томографии на базе автоматизированного томографа.

В процессе создания кораблей разработана новая автоматизированная испытательная система, которая построена на основе универсальных модулей. Она значительно расширила возможности диагностики бортовых систем в процессе наземных испытаний, позволила оценивать быстроменяющиеся параметры в реальном масштабе времени, исключила ошибки, связанные с человеческим фактором.

Запуск первого корабля серии «Союз ТМА» состоялся 30 октября 2002 года, а 4 мая 2003 года его СА успешно приземлился. Правильность и надежность наземной отработки и подготовки корабля на техническом и стартовом комплексах были подтверждены осуществлением пилотируемого полета (без проведения беспилотных запусков). Корабли по сей день успешно выполняют транспортные операции по доставке на МКС и возвращению на Землю экипажей.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Целью внедрения инновационных решений при создании корабля «Союз ТМА» было расширение его функциональных возможностей, обеспечение комфортности работы экипажа.

В разработанной серии кораблей «Союз ТМА» реализован комплекс доработок конструкции и бортовых систем, позволивший принципиально улучшить их функционирование.

Основные особенности новых кресел космонавтов («Казбек-УМ»), установленных на кораблях «Союз ТМА»:

- упрочнен каркас кресла и увеличен продольный размер чаши его ложементов на 50 мм, что позволило расширить допустимые для полетов на корабле антропометрические параметры космонавтов;
- разработан новый регулируемый амортизатор, имеющий четыре диапазона нагружения, что позволяет снизить ударные воздействия на космонавтов при нештатной посадке и не устанавливать балансировочные грузы на кресла для амортизации посадочных ударов;
- установлены датчики измерения трех компонентов ударных инерционных ускорений для обеспечения возможности анализа ударных нагрузок при посадке;
- подножка кресла выполнена поворотной для улучшения условий его монтажа и демонтажа в изделии;
- с боковых кресел сняты кронштейны крепления ручек управления движением и ориентацией корабля, они установлены на корпусе СА с возможностью регулируемого выдвижения в рабочее положение.

Для снижения уровня ударных перегрузок, действующих на экипаж при приземлении, был разработан и внедрен на корабле новый двигатель мягкой посадки (ДМП-М) с секционированным зарядом и доработана автоматика системы приземления. В ДМП-М заряд твердого топлива размещается в двух секциях – центральной и периферийной. Секции разделены силовой цилиндри-



3



ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ МАКЕТ ПУЛЬТА КОСМОНАВТОВ

4



ТЕСТИРОВАНИЕ НОВОГО ПУЛЬТА КОСМОНАВТОВ

ческой перегородкой и запускаются автономно. В зависимости от массы СА при спуске на основной парашютной системе (ОСП) или в зависимости от вида отказа ОСП автоматика системы приземления выдает команды на запуск необходимых секций. Возможность запуска ДМП-М в различных режимах обеспечивает выдачу двигателями импульса, в большей степени соответствующего состоянию СА и параметрам его движения на момент посадки. На СА корабля «Союз ТМА» было установлено два ДМП-М с секционированным зарядом.

В автоматике системы приземления для снижения ударных перегрузок, действующих на экипаж при приземлении, внедрен вновь разработанный гамма-лучевой высотомер (ГЛВ) «Кактус-1В», в котором реализованы настроечные значения, определяющие высоту запуска ДМП для трех расчетных случаев посадки: спуск на ОСП, спуск на запасной парашютной системе при выходе или невыходе основного блока ОСП из парашютного контейнера. Вместо двух независимых схем обработки принимаемого сигнала (в приемнике и в корректоре) применена одна схема обработки в корректоре, с которого выдается команда на запуск ДМП. Это позволяет выдавать данную команду с обязательным учетом фактической скорости снижения СА.

Внедрение модернизированных ДМП и модернизация ГЛВ позволили уменьшить вертикальные составляющие скорости СА к моменту касания Земли до 30%. За счет этого уменьшены ударные воздействия на космонавтов.

Для обеспечения размещения космонавтов с увеличенными антропометрическими характеристиками разработан и на корабле «Союз ТМА» внедрен новый пульт «Нептун-МЭ», созданный с использованием современной элементной базы. Применение современных компьютерных средств, интегрированных в пульт, позволило по-новому представлять навигационные данные и увеличить число форматов отображения информации.

Анализ, проведенный при разработке корабля, показал, что существует проблема компенсации разбросов массы СА, появляющихся при свободной (без огра-

ничений) замене экипажа корабля, когда последний находится на станции, а замену осуществляет шаттл.

Если раньше различия в массе космонавтов в составе одного экипажа, как правило, не выходили за пределы 15 кг и частично компенсировались легкосъемными грузами на креслах, то теперь они могут доходить до 45 кг: минимальная масса космонавта составляет 50 кг, максимальная – 95 кг. Различие же суммарной массы двух экипажей, основного и заменяющего (из трех человек каждый), может достигать 135 кг. Этот диапазон допустим в рамках ограничений по массе СА при спуске в атмосфере и парашютировании. Что касается этапа посадки, он обеспечивается посадочными двигателями и автоматикой.

Однако большое различие по массе космонавтов существенно влияет на центровку СА, что, в свою очередь, негативно отражается на точности управления и надежности спуска. Если в экипаже три человека, то положение центра масс относительно продольной оси СА в плоскости балансирующего угла атаки может изменяться в пределах 20 мм при допустимых 6 мм по условиям управляемости при спуске.

Принципиальная модернизация системы управления спуском обеспечивает работу в расширенном диапазоне центровочных характеристик СА с одновременным повышением точности посадки. С этой целью в систему введены: новый блок акселерометров, модернизированный спецвычислитель КС020-М и блок управления спуском. Статистика полетов на кораблях «Союз ТМА» подтвердила ожидаемое улучшение точности в 2,5 раза.

Для отладки программного обеспечения системы управления спуском в РКК «Энергия» был создан стенд – наземный комплекс отладки компьютерных систем СА.

В системе исполнительных органов спуска применено модернизированное топливо – пероксид водорода с новым составом стабилизатора для уменьшения скорости разложения при длительном хранении в процессе эксплуатации. Разделитель из лакоткани в баках заменен на разделитель из фторопласта. На баках установлена система термоэлектрического охлаждения для автоматического поддержания их температуры в диапазоне от 0 до 6°C.



5



НАКАТКА ГОЛОВНОГО ОБТЕКАТЕЛЯ

Новая система автономной регистрации и запоминания информации на корабле имеет меньшую массу и габариты, а также обеспечивает запись речевой информации.

В телевизионную систему введены две малогабаритные телекамеры.

В системе терморегулирования заменен холодно-сушильный агрегат (ХСА) в СА и бытовом отсеке. Новый уменьшен по габаритам для обеспечения возможности разместить удлиненное кресло. Установлен новый распределительный кран, с помощью которого теплоноситель дискретно перераспределяется между секциями ХСА, обеспечивая тепло- и влажосъем в максимальном режиме. Одноканальные сигнализаторы давления заменены на трехканальные. Введены каналы автоматического управления работой жидкостного и воздушного электронагревателей при полете в составе станции.

В системе обеспечения жизнедеятельности изменено место установки нового баллона с кислородом для размещения увеличенного по габаритам кресла. Доработана автоматика для обеспечения полного сброса кислорода в атмосферу перед приземлением. Доработан пневмоцилок подачи кислорода комплекса средств спасения при разгерметизации, что было вызвано увеличением габаритов кресел и необходимостью исключения соударения коленей «боковых» космонавтов с агрегатами щитка при взведении кресел перед посадкой. При изготовлении полетных теплозащитных гидрокостюмов и скафандров использованы новые материалы и технологии.

Для размещения кресла увеличенного размера уменьшены масса и габариты, а также изменено размещение моноблока модернизированной системы голосовой связи «Рассвет-М».

Таким образом, на кораблях «Союз ТМА» были расширены функциональные возможности:

- обеспечен полет космонавтов/астронавтов с расширенными антропометрическими характеристиками: массой от 50 до 95 кг и ростом от 150 до 190 см;
- улучшена точность посадки СА;
- уменьшена на 30% скорость приземления СА и введена возможность перенастройки амортиза-

6



УСТАНОВКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «СОЮЗ-ФГ» С КОСМИЧЕСКИМ КОРАБЛЕМ «СОЮЗ ТМА» НА СТАРТОВУЮ ПЛОЩАДКУ

торов кресел (четыре режима), что привело к снижению ударных нагрузок в момент посадки СА; – внедрен модернизированный пульт космонавтов «Нептун-МЭ» с новым программным обеспечением, что позволило увеличить объем информации, предоставляемой экипажу, повысить надежность пульта за счет аппаратного дублирования вывода информации.

ЭТАПНОСТЬ РАБОТ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И АВТОНОМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Работы в РКК «Энергия» им. С.П. Королёва были начаты в середине 1996 года. График создания модифицированного корабля стал основой организации работ головного конструкторского бюро корпорации, ее завода экспериментального машиностроения и смежных предприятий, главным образом НПП «Звезда», НИИАО, МКБ «Искра», ЦНИИ РТК, а также головных организаций Федерального космического агентства – ЦНИИмаш и НПО «Техномаш».

Разработка конструкторской документации началась уже в ноябре 1996 года, что диктовалось очень сжатыми сроками реализации программы.

Одновременно с этим был изготовлен макет СА и проведено его тщательное объемное макетирование, позволившее уточнить отдельные решения по компоновке, доработкам конструкции и оборудования. По результатам выпущен отчет, направленный в Роскосмос и НАСА. Объемное макетирование компоновки СА позволило подтвердить основные технические решения по доработке аппарата.

В декабре 1997 года была завершена сборка динамического макета СА.

В феврале 1998 года завершились вибропрочностные испытания на динамическом макете СА для подтверждения прочности конструкции под воздействием нагрузок, соответствующих транспортировке и выведению на орбиту.



7



СТЫКОВКА КОРАБЛЯ «СОЮЗ ТМА» С МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ

После динамических испытаний в середине марта 1998 года на макете СА проводились контрольные примерки размещения внутри него экипажей с предельными антропометрическими данными. Проверялись размещение космонавтов, операции взведения кресел и наддува скафандров, досягаемость органов ручного управления, имитировалась работа с ними.

Эти примерки стали заключительным этапом конструкторско-технологического макетирования. В результате был сделан вывод о приемлемости конструкции СА с точки зрения размещения и создания нормальных условий для работы космонавтов.

Автономная отработка агрегатов и систем корабля была закончена в конце 1999 года.

КОПРОВЫЕ И САМОЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В 1998–1999 годах были проведены копровые испытания, план которых предусматривал выполнение трех сбросов СА для отработки ударной прочности и восьми сбросов для проверки условий посадки с точки зрения физиологической переносимости экипажем. Проведение этих испытаний осуществлялось на экспериментальной базе 26-го ЦНИИ Минобороны России. В конце 1999 года копровые испытания на макетах СА были завершены и в целом прошли успешно.

Следующим этапом экспериментальной отработки было проведение самолетных испытаний, когда в процессе сбросов макета СА проверяется функционирование и взаимодействие всех его систем от ввода парашютов до посадки.

24 декабря 1998 года самолет-носитель Ил-76МД с макетом СА на борту стартовал с аэродрома Раменское. Полет проходил в соответствии с принятым планом. Самолет вышел в зону испытаний, осуществил контрольный проход над точкой сброса, развернулся, лег на курс и сбросил макет СА. Системы макета в полете работали без замечаний.

Второй сброс СА состоялся 8 апреля 1999 года. В этом сбросе имитировался отказ основной парашютной системы и проверялся последующий за от-

8



СПУСКАЕМЫЙ АППАРАТ КОРАБЛЯ «СОЮЗ ТМА» НА МЕСТЕ ПОСАДКИ

казом переход на запасную парашютную систему. Для этого основной купол ОСП был зарифован (стянут шнуром по кромке купола). Автоматика системы приземления зафиксировала повышенную скорость, отделила купол ОСП и ввела в действие запасную парашютную систему.

Сброс №3 состоялся 1 сентября 1999 года. Спуск проводился на основной парашютной системе в условиях, соответствующих тем, которые складываются при аварии ракеты-носителя на начальной части участка выведения корабля на орбиту, с вводом ОСП на высоте около 5 км.

Завершающий сброс проводился 1 декабря 1999 года. Тогда имитировался отказ отцепки тормозного парашюта в ОСП, в результате чего исключается ввод в воздушный поток основного парашюта. Автоматика распознала ситуацию и ввела в работу запасную парашютную систему. Сброс макета СА был благополучно проведен, все системы работали нормально, без замечаний.

Соответственно результатам самолетные испытания были оценены как успешные. Проведение наземных и летных испытаний СА в таком объеме с положительными результатами позволило без этапа беспилотных запусков перейти к пилотируемым полетам корабля в составе МКС.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Корабль «Союз ТМА», первый из новой серии кораблей с расширенным диапазоном антропометрических параметров, был собран и передан на контрольно-испытательную станцию 14 августа 2001 года.

Отработочный цикл испытаний на комплексном испытательном стенде первого корабля «Союз ТМА» был завершён в 2001 году. В обеспечение подготовки летных испытаний корабля, отработки бортовой и эксплуатационной документации и тренировки экипажей был выполнен основной объем работ по вводу в строй моделирующего стенда в РКК «Энергия» им. С.П. Королёва и тренажера в РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина.



ПОДГОТОВКА КОРАБЛЯ НА ТЕХНИЧЕСКОМ И СТАРТОВОМ КОМПЛЕКСАХ

Корабль был отправлен на технический комплекс космодрома Байконур в ночь с 9 на 10 августа 2002 года.

В РКК «Энергия» им. С.П. Королёва 7 октября 2002 года состоялось заседание совета главных конструкторов, который рассмотрел состояние дел в работе над кораблем. Совет, приняв к сведению результаты испытаний корабля, одобрил предложенный корпорацией план работ по подготовке его к запуску.

На заседаниях технического руководства и государственной комиссии 27 октября были заслушаны доклады всех специалистов и служб о готовности к полету, было принято решение о переходе к работам на стартовой позиции.

ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Старт корабля с экипажем в составе командира Сергея Викторовича Залётина, бортинженера-1 Франка Де Винне и бортинженера-2 Юрия Валентиновича Лончакова состоялся 30 октября 2002 года в 6:11 по московскому времени, а 1 ноября была осуществлена успешная стыковка корабля к стыковочному отсеку (модуль «Пирс») МКС.

Системы корабля в автономном полете и при стыковке функционировали нормально.

Спуск корабля с орбиты был осуществлен 4 мая 2003 года. Экипаж: Николай Михайлович Бударин – ко-

мандир корабля (Россия), Кеннет Бауэрсокс, исполнявший на корабле обязанности бортинженера, и Дональд Петтит (оба астронавты НАСА).

Комплекс средств приземления, включая ОСП и ДМП, работал нормально. Сама посадка была действительно «мягкой»: осевые ударные перегрузки были более чем в 2 раза ниже среднестатистических значений для СА корабля «Союз ТМ». Это связано с совершенствованием средств посадки на корабле «Союз ТМА». Экипаж после посадки самостоятельно вышел из СА.

Полет корабля «Союз ТМА» был первым испытательным полетом корабля новой серии и впервые в отечественной практике осуществлен в пилотируемом режиме без предварительной проверки доработанных систем в беспилотном пуске. Тщательная наземная экспериментальная отработка, включая самолетные и копровые испытания СА, позволила совместить летные испытания корабля с выполнением задач регулярного полета на МКС, что сэкономило значительные средства. Результаты испытаний первого корабля имели особо важное значение, так как подтвердили готовность кораблей к дальнейшей эксплуатации в составе МКС.

В 2002 году был создан самый совершенный на сегодняшний день транспортный пилотируемый корабль «Союз ТМА». Этому способствовал ценный опыт разработки и эксплуатации техники для пилотируемых полетов, накопленный РКК «Энергия» им. С.П. Королёва более чем за 40-летний период деятельности.

статья подготовлена при участии:

Е.А. Булатова, М.П. Кашицына, Р.М. Самитова,
А.Ф. Стрекалова, В.В. Цветкова, В.А. Давыдова,
Н.Г. Паничкина, А.Н. Котова