

SSJ100 – первый российский “цифровой” гражданский самолет



Производство самолетов SSJ100
в Комсомольске-на-Амуре

Целями перехода на полностью цифровое проектирование в компании “Гражданские самолеты Сухого” (ГСС) в связи с реализацией проекта создания самолета SSJ100 было снижение рисков разработки и повышение качества работы проектировщиков. Для этого в молодой на тот момент компании с самого начала проекта были заложены основы системы управления жизненным циклом изделия на базе PLM-решения TeamCenter, а непосредственно для разработки самолета использовалась CAD-среда CATIA v5 – наиболее продвинутая в то время 3D CAD-система в авиационной промышленности. Для отработки аэродинамической компоновки самолета с самых ранних этапов (КР2

и КР3 (конструктивные решения) в действующей сейчас терминологии стандартов управления проектами ОАК) широко использовались CFD-пакеты как зарубежной (FLUENT), так и отечественной (EWT, BLFR56) разработки. Детальная разработка алгоритмов системы управления без использования цифрового моделирования была бы просто невозможна, и в ГСС первая математическая модель, реализованная еще в C++, “полетела” задолго до первого полета “суперджета” в Комсомольске-на-Амуре.

“В 2004 году мы уже показывали потенциальным заказчикам наши первые, тогда еще довольно наивные, представления о современных законах защиты от выхода

за эксплуатационные ограничения, используя для этого небольшую по нынешним меркам рабочую станцию, оснащенную обычными, игровыми контроллерами, штурвалом, джойстиком и педалями. Благодаря этой небольшой установке нам удалось сформировать основной набор функций системы управления самолета в замкнутом контуре с пилотами, что позволило избежать крупных, системных ошибок в дальнейшей работе”, – рассказывает Александр Долотовский, заместитель главного конструктора по аэродинамике SSJ100 компании ГСС.

В разработке SSJ100 принимали активное участие не только конструкторы компании, но и ученые сразу нескольких крупных организаций,



Мифы вокруг цифр

Один из расхожих мифов об эффектах цифровизации жизненного цикла самолета состоит в том, что кратное удешевление стоимости всех процессов жизненного цикла происходит за счет сокращения требуемых инженерных ресурсов. Это не так. Один компьютер, даже самый мощный, не заменяет нескольких инженеров. По-прежнему для принятия решения необходим человек с соответствующим опытом и квалификацией. Более того, наличие необходимого количества квалифицированных специалистов в конструкторском бюро является обязательным требованием авиационных властей для поддержания действия сертификата разработчика и сертификата производителя.

Реальный источник экономии – в другом. Использование сложных

математических моделей позволяет реально управлять рисками при принятии технических решений на всех этапах жизненного цикла проекта для исключения дорогостоящих итераций на этапах постройки или испытаний прототипа. Для этого профильным инженерам необходимы сложные и верифицированные математические модели и инструменты 3D-проектирования, заменяющие физические макеты и позволяющие “прочувствовать” конструкцию посредством проведения цифровых испытаний принятых технических решений до, а не после постройки прототипа.

Александр Долотовский,
заместитель главного конструктора
по аэродинамике SSJ100, компания
“Гражданские самолеты Сухого”



Цифровая 3D-модель SSJ100

в первую очередь Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) им. профессора Н. Е. Жуковского, Саровского инженерного центра, Московского физико-технического института и Сибирского научно-исследовательского института авиации им. С. А. Чаплыгина, которых привлекали на различных этапах проекта для решения прикладных задач, прежде всего с использованием того, что сейчас принято называть “суперкомпьютерными технологиями”.

“Использование расчетных методов грубо можно разделить на два основных направления – поиск оптимального решения и сопровождение натурного и полунатурного экспериментов, – продолжает

Александр Долотовский. – Например, для оптимизации профилировки и формы крыла в плане совместно с учеными НИО-2 ЦАГИ был проведен итерационный процесс оптимизации профилировки по многим критериям, включавшим в себя требования к компоновке, прочности, технологии производства и, разумеется, требование аэродинамического совершенства. Но для того чтобы удостовериться, что расчеты действительно дают заданный уровень совершенства, необходимо провести эксперимент в аэродинамической трубе, который тоже имеет определенный уровень подобия. И тут на помощь приходят CFD-технологии, позволяющие учесть особенности потока в аэро-

динамической трубе, сделать корректный пересчет полученных в ней результатов на условия реального полета”.

В результате крыло SSJ100, оптимизация которого была выполнена в очень короткие сроки (менее двух лет), обеспечивает не только отличные показатели по расходу топлива, но и на редкость хорошие характеристики самолета в режимах сваливания, в том числе и с учетом обледенения. При этом технологии производства этого крыла отработывались в Комсомольске-на-Амуре параллельно с разработкой конструкции, что позволяет сейчас Комсомольскому-на-Амуре авиационному заводу (КнААЗ) им. Ю. А. Гагарина и Комсомольскому-на-Аму-

ре филиалу (КНАФ) компании ГСС обеспечивать высокий темп производства самолетов, превосходящий даже ранее имевшийся в СССР по некоторым самолетам такой размерности.

Другой пример успешного использования цифровых технологий в аэрогазодинамике SSJ100 – проектирование мотогондолы двигателя SaM146, которую выполнили партнеры ГСС – компания PowerJet, тоже совместно с ЦАГИ. Задача, поставленная перед разработчиками, заключалась в том, чтобы обеспечить высокую эффективность воздухозаборника двигателя во всех режимах полета и при этом снизить до приемлемого уровня риски повреждения двигателя от посторонних

предметов на входе в мотогондолы. С этой целью были проведены расчетные работы по многокритериальной оптимизации геометрии заборника и кока вентилятора, которые гарантируют сепарацию посторонних предметов во внешний контур вентилятора двигателя при нахождении самолета на земле и в полете. Проведенные после этого испытания в аэродинамических трубах ЦАГИ (в частности в Т-104) показали правильность расчетных результатов, а фактический опыт испытаний самолетов SSJ100 на аэродромах России, в том числе и покрытых осадками, подтверждают эксперименты, проведенные на математических моделях и моделях, испытывавшихся в аэродинамических трубах.



Александр Долотовский (слева) с коллегами на пилотажном стенде готовится к изучению параметров выполненного режима



Проверка выходных ARINC-сигналов с помощью анализатора на имитаторе двигателей

Не изучались, а подтверждались

“Еще одно направление, где использование математического моделирования обеспечивает успешный результат в пределах разумных сроков и бюджета, – это разработка алгоритмов управления системами воздушного судна, особенно с учетом требований сертификации по отказобезопасности конструкции гражданского самолета, – говорит Александр Долотовский. – Использование сложных математических моделей (под сложными понимаются модели с высокой степенью детализации на уровне системы-подсистемы и там, где необходимо, – компонентов систем) позволяет построить увязанную цепочку требований от уровня самолета до уровня компонента системы, которая минимизирует фактор субъективности при принятии решения в процессе разработки до разумного минимума, чем существенно повышает качество работы конструктора”.

Таким образом, при разработке SSJ100 была не просто внедрена замена бумажных чертежей на электронные модели в 2D- и 3D-системах проектирования, а был реализован системный подход к проектированию, когда проектное решение проверяется моделированием на каждом уровне разработки еще до начала изготовления физического компонента/подсистемы/системы/прототипа самолета. Испытания же на каждом уровне предназначались не для поиска решений, а для подтверждения полученных результатов и валидации используемых математических моделей.

Видимым результатом использования такого подхода стало то, что в поведении самолета и его систем в ходе летных испытаний количество “открытий” было сведено к минимуму. Характеристики самолета не изучались, а подтверждались.

От виртуальной реальности – к реальному миру

Преимущество цифровых технологий, в частности методов трехмерной визуализации цифровой

модели, состоит в возможности для инженера-разработчика уже на этапе разработки понять и прочувствовать процессы, происходящие с конструкцией. В результате доводка конструкции производится на ранних этапах проектирования, что существенно сокращает этап доводочных испытаний самолета и требует гораздо меньше доработок, чем в доцифровую эпоху.

Таким образом, первые “полеты” самолета SSJ100 в самых разных, в том числе критических с точки зрения устойчивости и управляемости режимах, выполнялись задолго до первого вылета реального прототипа 95001, состоявшегося 19 мая 2008 года.

Для этого в ГСС были построены два стенда полунатурного моделирования – пилотажный стенд и стенд “Электронная птица”, каждый из которых моделирует поведение самолета по-своему. Пилотажный стенд – это полностью виртуальный мир. Здесь из реального оборудования только рычаги управления, блок ручного управления, педали, рычаг управления механизацией крыла и пульт триммирования. Остальное – макеты и электронные модели на базе промышленных компьютеров. “Электронная птица” – это, по сути, совокупность стендов систем самолета, включая реальные электронные блоки и сложные цифро-аналоговые имитаторы механических частей систем, а также кабина пилотов с полным набором оборудования и органов управления.

В помещении, где расположен стендовый комплекс “Электронная птица”, работу двигателей обсчитывают размещенные в двух шкафах реальные компьютеры DECU (Digital Electronic Control Unit – цифровой электронный блок управления), точнее, их электронная часть FADEC (Full Authority Digital Engine Control – цифровая система управления двигателем с полной ответственностью). Здесь же размещены имитаторы внутренних элементов системы управления двигателем, которые взаимодействуют с детальной газодинамической моделью мотора. В отдельных шкафах находятся имитаторы системы кон-



Специалист ГСС на пилотажном стенде рассказывает о возможности изучения на нем внештатных ситуаций



Установка отказов блоков DECU на имитаторе двигателей

диционирования и системы электроснабжения, авионики, шасси, гидросистемы. Отдельно расположены имитаторы приводов системы управления. В центре установлен шатер с кабиной самолета, окруженной проекционной системой визуализации.

Все эти многочисленные стенды соединены между собой огромным количеством проводов, соответствующих реальной топографии кабельной сети SSJ100. Кабельная сеть проложена под потолком и ведет к кабине SSJ100.

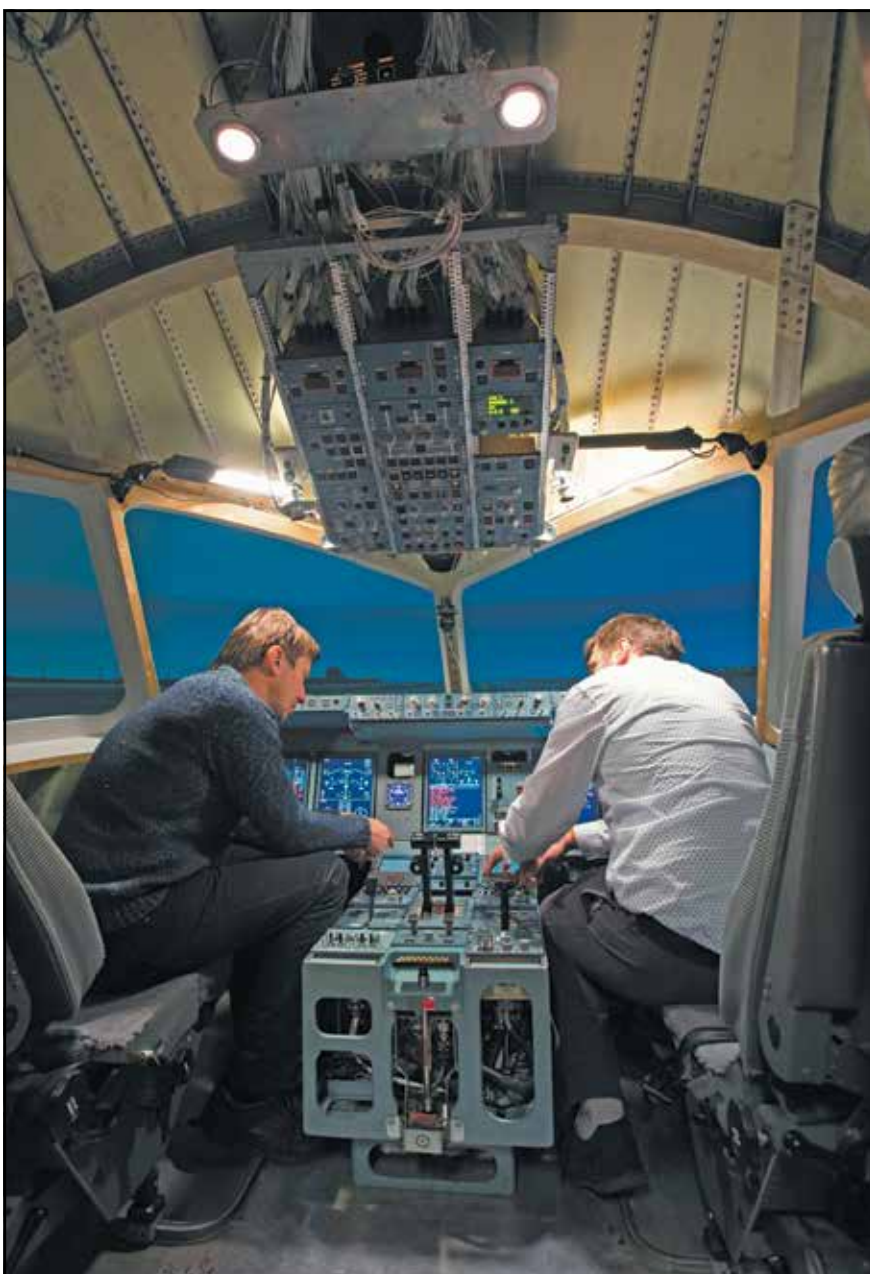
Иллюзия полета – полная

Кабина – точная копия части отсека Ф1 SSJ100 – была изготов-

лена в Новосибирске на заводе компании “Сухой” и установлена в Москве еще за два года до первого “боевого” вылета SSJ100 в 2008 году. Годом ранее был запущен пилотажный стенд, на котором отработывались настройки системы управления, включая настройки органов управления, боковой ручки и короткоходовых педалей, не имевших аналогов в отечественном гражданском самолетостроении. Да и в мировом тоже, ведь SSJ100 – вторая в мире программа после Airbus A320, где идеология кабины перестроена под использование боковой ручки вместо штурвала. И сейчас только Airbus и ГСС владеют этой технологией в равной степени, что отмечают все эксплуатанты SSJ100. Для отработки этой новой



Тестовый полет по крутой глассаде в кабине пилотажного стенда



Настройка системы управления полетом в кабине стенда "Электронная птица"

концепции и был сделан пилотажный стенд с таким уровнем подobia самолету. "Иллюзия полета – полная. Народ даже укачивает", – иронизирует Александр Долотовский.

Благодаря этим стендам, а также пилотажному стенду ПСПК 102 в ЦАГИ, который тоже был подключен к данной программе, бок о бок с инженерами-конструкторами работали летчики-испытатели из ГСС и из сертификационных центров. Большой вклад в облик кабины самолета и его комплекса авионики внес первый шеф-пилот ГСС Александр Яблонцев, к тому моменту имевший большой практический опыт пилота-инструктора гражданской авиации помимо основной специальности летчика-испытателя. Сергей Коростиев, нынешний шеф-пилот ГСС, особое внимание уделял и уделяет функционалу системы самолетовождения лайнера и системе предупреждения экипажа. Летчик-испытатель ЛИИ им. М. М. Громова и летчик-эксперт сертификационных властей России Владимир Бирюков вспоминает: "Количество доводочных испытательных полетов на SSJ100 было заметно меньше по сравнению с предыдущими моделями отечественных самолетов, и примерно таким же, как у Boeing или Airbus. Фактически большая часть полетов просто сводилась к верификационным испытаниям – основную часть неизбежных доработок удалось сделать еще в виртуальной кабине".

Первый вылет SSJ100 по программе сертификационных испытаний состоялся 1 ноября 2008 года, программа завершилась всего двумя годами позднее, 31 декабря 2010 года. Летчики провели около 1000 полетов на четырех прототипах. В прежнее время только доводочная программа гражданского самолета, случалось, занимала пять и более лет.

Сократились сроки доводки и испытаний самолетов, что позволило снизить себестоимость программы (не только за счет экономии на керосине и сокращения циклов техобслуживания перед каждым вылетом, но и за счет снижения объемов дорогостоящих доработок уже построенного прототипа). Выросло качество и безопасность полетов,



Первый полет SSJ100 19 мая 2008 года

поскольку пилоты были заранее осведомлены о большинстве возможных проблемных моментов.

“Однако использование цифровых технологий не отменяет физического эксперимента, – считает Александр Долотовский. – Разработчику нельзя забывать, что модель – это всего лишь модель, и достоверность виртуального эксперимента необходимо верифицировать испытаниями прототипов. Поэтому все полученные расчетными методами технические решения в области аэродинамики и не только обязательно подтверждались испытаниями моделей самолета в аэродинамических трубах ЦАГИ и СибНИА”. Особенно это касается аэродинамических характеристик на больших углах атаки и в сваливании, когда нестационарные процессы динамики течения все еще требуют развития моделирующего математического аппарата. Но, как уже отмечалось, благодаря использованию современных суперкомпьютерных технологий центр тяжести задач в физическом эксперименте переносится с поиска решения на верификацию расчетного результата.

Аналогичная ситуация сложилась и при проведении летных испытаний. “Виртуальные испытания ни в коем случае не заменят полностью натурные, – убежден Владимир Бирюков. – Современные технологии пока не в состоянии передать полностью перегрузки и угловые скорости, которые испытывает пилот, например, в режимах сваливания. Но основные характеристики самолета сейчас неплохо известны уже до первого вылета. Это в частности подтверждается тем, что с самого первого полета мы отмечаем близкое соответствие между поведением модели самолета на пилотажных стендах и в реальных полетах”.

А “Электронная птица” и пилотажный стенд SSJ100 активно загружены до сих пор. Так, инженеры и летчики отработывали новую версию программного обеспечения авионики и системы управления, которые необходимы для обеспечения эксплуатации самолета SSJ100 в аэропорту Лондон-Сити в интересах ирландской компании CityJet. Специфику освоения этого аэродрома (а полоса в Лондон-Сити – укороченная и узкая), как пояснил Александр Долотовский, согласно

уже принятой в ГСС практике сначала отработывают на стендах.

Смогут ли производители самолетов сэкономить на керосине для испытаний самолетов, а компьютеры полностью заменить полеты? И Александр Долотовский, и Владимир Бирюков утверждают, что на данном этапе развития технологий – нет. Главное ограничение любого, даже самого совершенного тренажера – это то, что он всего лишь тренажер. Его возможности ограничены пределами точности моделирования, которую необходимо подтверждать в реальном эксперименте. Реальный экономический эффект от использования безбумажных технологий – в существенном росте качества проектирования, кратном сокращающем этапы доводки самолета на этапе постройки и начала испытаний реальных прототипов.

По материалам, предоставленным пресс-службой ПАО “Объединенная авиастроительная корпорация” и редакцией журнала “Горизонты”
Фотографии: Марина Лысцева; пресс-служба ГСС

ВЕДУЩЕЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ МЕРОПРИЯТИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА

12–14 марта 2019 • САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • КВЦ Экспофорум

Обработка металлов.
Машиностроение

Металлургия. Литейное дело

Крепёж. Метизы.
Инструмент

Автоматизация
промышленных
предприятий

Высокие технологии.
Инновации. Инвестиции

Охрана труда и средства
индивидуальной защиты

Пластмассы. Полимеры. РТИ

Подъемно-транспортное
оборудование

**ТОЛЬКО ЦЕЛЕВЫЕ ПОСЕТИТЕЛИ
И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ
БИЗНЕС-КОНТАКТЫ!**



Конкурс
инновационных
проектов

Биржа
деловых
контактов

Деловая
программа

**ИТОГИ
ПТЯ 2018**

Посетители-
специалисты

**более
6500**

стран
мира

**более
20**

Участники
выставок

**более
300**

встреч
на БДК

1200

**СТАТЬ УЧАСТНИКОМ
www.ptfair.ru**

Тел./факс: +7 812 3209032

E-mail: bolgova@restec.ru

vk.com/ptfair

fb.com/PTFair.ru