УДК 533.6.072

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ САМОЛЁТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ НА ПРИМЕРЕ ТИПОВОЙ МОДЕЛИ ПАССАЖИРСКОГО САМОЛЁТА

© 2016 А.О. Шардин, А.А. Копылов, С.Я. Севостьянов, А.Д. Громышков, А.А. Юстус, И.В. Григорьев, К.В. Жирихин, А.В. Левицкий, Д.С. Руденко

Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ) им. проф. Н.Е. Жуковского
г. Жуковский

Статья поступила в редакцию 09.03.2016

В статье приводится подробное описание крупномасштабной модели самолёта для исследования аэродинамических характеристик в аэродинамической трубе на примере типовой модели пассажирского самолёта. Приводится краткое описание типов аэродинамических моделей, целей экспериментальных исследований и этапов конструкторской разработки и производства изделия.

Ключевые слова: *аэродинамическая модель, самолёт, исследования, аэродинамические характеристики, аэродинамическая труба, проектирование*

Аэродинамические испытания и их цели. На этапе создания пассажирского самолета перед вводом его в эксплуатацию производятся многочисленные стендовые испытания для отработки всех систем самолёта. Наряду с ресурсными, предполётными и полётными испытаниями готовых опытных образцов самолётов, силами Центрального Аэрогидродинамического Института, имени профессора Николая Егоровича Жуковского (ЦАГИ) проводятся экспериментальные исследования аэродинамических моделей в аэродинамических трубах.

Основные цели экспериментальных исследований:

- оценка аэродинамических характеристик проектируемых летательных аппаратов (ЛА) с учетом их аэродинамических компоновок;
- определение суммарных аэродинамических сил и моментов, действующих как на весь ЛА, так и отдельно на отклоняемые органы управления;
- оценка влияния работающей силовой установки (СУ) на суммарные аэродинамические характеристики ЛА;
- оценка влияния жесткости и упругости конструкции на аэродинамику и управляемость ЛА.

Типы аэродинамических моделей. В зависимости от целей экспериментальных исследований в ЦАГИ проектируются и изготавливаются аэродинамические модели ЛА следующих типов:

- весовые: предназначены для получения значений сил и моментов, как на весь ЛА, так и отдельно на отклоняемые органы управления;
- дренированные: применяются для получения картины распределения давления на внешней поверхности ЛА в зоне крыла, оперения, фюзеляжа и т. д.;
- динамически подобные: предназначены для исследования ЛА на:

a) Нестационарные аэродинамические характеристики;

b) Динамические характеристики устойчивости и управляемости;

c) Частотные характеристики и различные формы сваливания и штопора.

- упругоподобные: предназначены для исследования влияния жесткости конструкции на суммарные аэродинамические характеристики.

Кроме назначения моделей важным становится масштаб моделей. В зависимости от габаритных размеров, модели делятся на малоразмерные и крупномасштабные.

Сравнение малоразмерных и крупномасштабных аэродинамических моделей. Достоинства малоразмерных моделей:

- меньшие габариты и вес;
- использование модели в закрытых аэродинамических трубах небольшого диаметра позволяет испытывать модель при значительно больших скоростях потока воздуха (до 20 М);
- проектирование и изготовление таких моделей требует меньше времени, а следовательно, и меньших затрат;

Достоинства крупномасштабных моделей:

- получение при исследованиях моделей приближенного к натуре значения числа Рейнольдса (критерия подобия течения окружающего самолёт газа);
- более подробное исследование малоразмерных элементов, таких как обтекатели механизмов закрылков, законцовки крыла, вихрегенераторы на крыле и гондолах двигателей, имитаторы обледенения передней кромки крыла и т.д., за счет их более тщательного моделирования;
- возможность оснастить модель имитаторами СУ;
- возможность применить систему дистанционного управления для отклонения органов управления модели.

Характеристики крупномасштабной модели. На крупномасштабных аэродинамических моделях можно имитировать ряд систем реального самолёта, вследствие чего являющихся с одной стороны, достаточно высокоинформативными, а с другой — весьма трудоёмкими в проектировании и производстве. В данной статье в качестве примера рассмотрена модель

Шардин Антон Олегович, начальник отдела ЦАГИ. E-mail: ao_shardin@tsagi.ru
Копылов Алексей Анатольевич, начальник 5-го сектора 2-го отдела
Севостьянов Сергей Яковлевич, ведущий инженер
Громышков Александр Дмитриевич, инженер
Юстус Александр Анатольевич, инженер
Григорьев Игорь Владимирович, инженер
Жирихин Кирилл Владимирович, инженер
Левицкий Александр Вячеславович, инженер
Руденко Дмитрий Сергеевич, инженер

самолета МС-21 для испытаний в аэродинамической трубе Т-104 ЦАГИ (рис. 1). Крупномасштабная модель имеет следующие размеры: длина 4,5 метров, размах крыла 4 метра (рис. 2). Модель предназначена для испытаний в режимах взлет-посадка в диапазоне чисел Маха M = 0,15–0,25 при скорости потока V = 50–80 м/с. Основные задачи испытания рассматриваемой крупномасштабной модели:

- определение аэродинамических сил и моментов, действующих как весь ЛА, так и на его органы управления;
- исследование характеристик на критических и закритических углах атаки;
- определение аэродинамических сил и моментов, действующих на створки шасси;
- исследования влияния струи газа двигателя на суммарные аэродинамические характеристики ЛА.

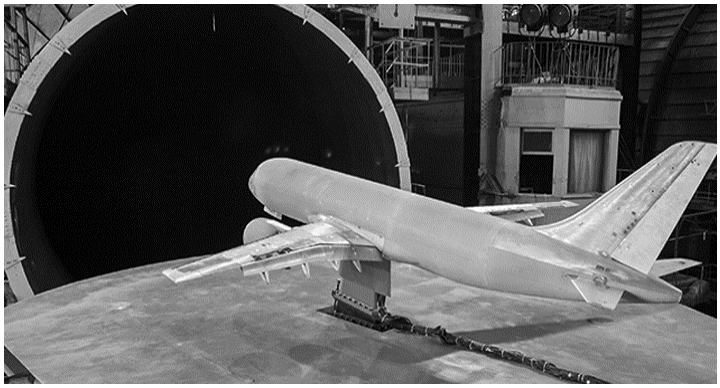

Рис. 1. Крупномасштабная модель самолёта в аэродинамической трубе Т-104

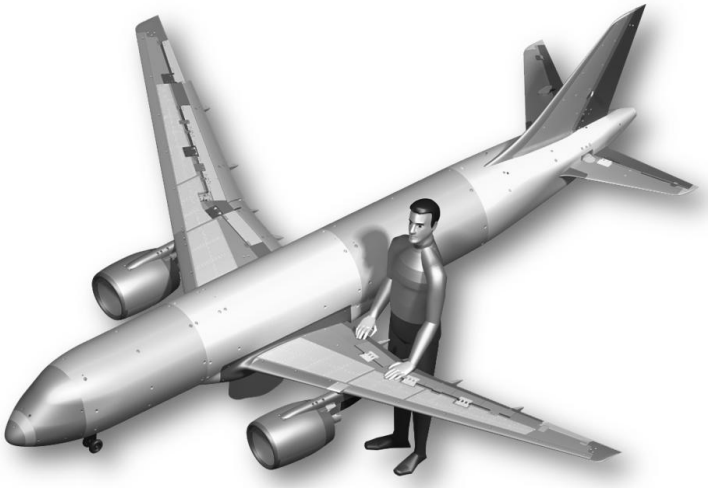

Рис. 2. Общий вид крупномасштабной модели

Конструкция крупномасштабной модели включает в себя (рис. 3):
- фюзеляж, основой которого является универсальный силовой каркас;
- сменные консоли крыла;
- сменные мотогондолы двигателя;
- сменные вертикальное и горизонтальное оперения;
- сменные имитаторы СУ.

Модель спроектирована таким образом, чтобы иметь возможность менять ее внешний обвод, получая, таким образом, модели разных модификаций самолета.

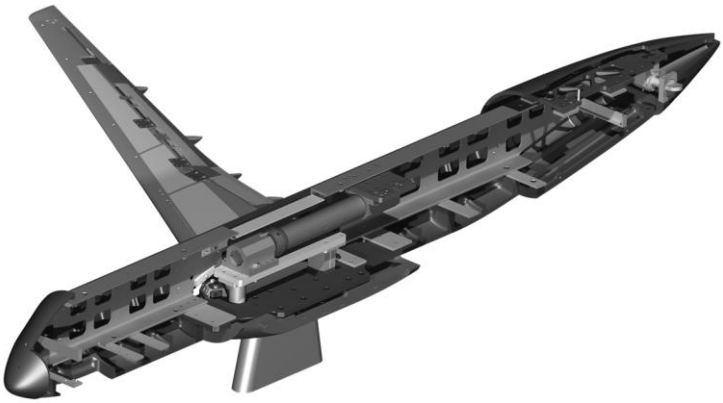

Рис. 3. Конструкция крупномасштабной модели

Универсальный силовой каркас представляет собой два замкнутых профиля с вырезами для облегчения конструкции, соединенных между собой толстостенными швеллерами и силовой пластиной. На силовую пластину крепятся консоли крыла. В собранном виде модель устанавливается на сменную подфюзеляжную стойку — фиксированную базу аэродинамической трубы. Кроме того, каркас имеет силовой кронштейн для установки вертикального и горизонтального оперения. В подфюзеляжной стойке предусмотрены: канал для подвода воздуха под высоким давлением, а также кабель канал для соединения электрической системы модели с измерительной аппаратурой экспериментальной установки.

Сменные элементы модели. Вертикальное оперение модели выполнено в виде цельной алюминиевой консоли с выборками для облегчения. На вертикальное оперение устанавливаются отклоняемые рули направления. Отклонение рулей направления осуществляется при помощи жёстких фиксаторов. Полости внутри консоли вертикального оперения в дальнейшем, при необходимости, позволяют расположить дистанционный механизм поворота рулевых поверхностей.

Внешние панели фюзеляжа. Внешний облик фюзеляжа формируют несиловые обводообразующие панели, устанавливаемые на универсальный силовой каркас. Панели выполнены из двух видов материала. Центральные секции из модельного пластика значительно облегчают вес модели. Кроме того, этот материал легко обрабатывается на станках с ЧПУ. К носовой и хвостовой секциям из алюминия крепятся некоторые силовые элементы, находящиеся под небольшой нагрузкой.

Определение сил и моментов. Одним из этапов эксперимента является определение значений сил и моментов, действующих на: всю модель, органы управления крыла, элементы стоек шасси. Для определения значений нагрузок (сил и моментов) действующих на всю модель она устанавливается на тензовесы, при помощи которых и определяются эти значения. В связи с особенностями аэродинамической трубы Т-104, весы размещаются внутри фюзеляжа модели. Схема компоновки следующая: модель фиксируется на одном конце тензовесов, а сами тензовесы жестко закреплены на стойке при помощи толстостенных труб. Таким образом, вся модель, с консолями крыла и оперением, оказывается подвешенной на внутрифюзеляжных тензовесах. Такая конструктивная схема позволяет передавать усилия со всей модели на тензовесы посредством деформации весового элемента. С весового элемента тензовесов в зависимости от степени его деформации передаются электрические сигналы по проводам на измерительную аппаратуру. На аппаратуре можно видеть значения сил и моментов, возникающих на модели.

На модели также определяются значения сил и моментов, действующих на органы управления крыла. С этой целью органы управления (предкрылки, закрылки, интерцепторы, тормозные щитки и т. д.), установленные на крыле, выборочно оснащаются тензовесами. Крепление осуществляется следующим образом: тензовесы своим основанием крепятся жестко с консоли крыла, а к концу тензовесов крепится орган управления. Данная схема по конструктивному принципу повторяет схему установки всей модели на весах и является типовой для элементов оснащенных тензовесами. Электрические провода, идущие от тензовесов органов управления, проложены в специальных кабель каналах консолей крыла. Те органы управления, которые не оснащаются тензовесами, фиксируются жесткими фиксаторами. Кроме этого в модели установлены тензовесы для определения нагрузок на стойки и створки шасси.

Материалы консоли. Центральная часть консоли как основной силовой элемент выполнена из высоколегированной стали 30ХГСА. Для облегчения веса в консоли сделаны выборки, закрывающиеся алюминиевыми крышками. Другие габаритные элементы крыла, например, закрылки и пилоны механизмов отклонения, также выполнены из алюминия.

Имитация силовой установки. Одним из видов исследований, проводимых на крупномасштабной модели — это имитация работы СУ для определения влияния струи выдува газа на аэродинамические характеристики ЛА. Для этого подготовлен следующий вариант компоновки: внутри стойки расположен канал, через который воздух под давлением подается к модели самолёта. В канале стойки располагается приемник разделитель, который делит поток воздуха пополам для подачи его к двум имитаторам СУ через воздушные каналы консолей крыла.

Типовые конструкции. На модели также применяется ряд типовых конструкций, зарекомендовавших себя на предыдущих моделях. Это конструкции пилонов закрылка, жёсткие фиксаторы предкрылка, тормозного щитка и интерцептора, петли и оси для удобной смены положения рулевых поверхностей.

Системы дистанционного управления. Установка требуемых углов органов управления традиционно осуществляется с помощью жестких фиксаторов. Чтобы произвести изменение компоновки модели самолета в аэродинамической трубе, приходится неоднократно проводить перестановку органов управления, что занимает большое количество времени. Использование систем дистанционного управления отклоняемыми поверхностями позволяет в значительной мере сократить время и средства, затрачиваемые на весь цикл испытаний. В основе системы дистанционного управления отклоняемыми поверхностями модели предполагается использовать систему управляемых электроприводов, комплектующуюся аппаратными и программными средствами, ориентированными на точные кратковременные перемещения в пространстве. Аналогичная система уже успешно зарекомендовала себя при изготовлении и испытании моделей самолётов в малоскоростных трубах. На данной модели планируется осуществить дистанционное управление тормозным щитком, а также горизонтальным оперением. При малых габаритах управляющих приводов при отработке на стендах достигнуты высокие значения крутящих моментов, обеспечена высокая (до долей градусов) точность позиционирования рабочих плоскостей, учтены люфты и вибрации. Помимо ограничений на габариты самого привода и применяемых с ним редукторов, накладывались ограничения и на размеры жгута проводов, необходимых для питания и управления приводами.

Применение информационных технологий в цикле производства модели. Для обеспечения конкурентоспособности изделия необходима оптимизация управления производственными процессами на протяжении всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ) на принципах CALS [2], основанных на непрерывной информационной поддержке его. ЖЦИ, как известно, это совокупность процессов, выполняемых от возникновения

потребности в изделии до конструирования и изготовления его с последующей утилизацией. Весь процесс можно представить в виде блок-схемы, демонстрирующей цикл производства модели во взаимодействии с электронной базой данных. Производственный цикл с использованием данной системы выглядит таким образом: конструктор создаёт математическую модель детали в системе автоматизированного проектирования и загружает в электронную базу данных. Далее доступ к модели получает технолог, который после выполнения своей части работы отправляет обработанную для станка с ЧПУ модель в производство. После изготовления и сборки готовое изделие поступает в аэродинамическую трубу. На всех этапах этого цикла у каждого участника есть возможность обратиться к конструктору, который может обновить модель в базе данных согласно их требованиям (обратная связь на рисунке показана полукруглыми стрелками). Кроме того, у команды разработчиков есть возможность обратиться непосредственно в базу данных для получения любой интересующей справочной информации о модели, будь то какие-либо конкретные размеры деталей или порядок сборки модели.

Выводы: при создании крупномасштабной модели самолета МС-21 основным является решение ряда проблем, связанных с ее геометрическими размерами. Во-первых, модель характеризуется высокой трудоемкостью и стоимостью. Для их снижения в конструкции модели максимально унифицирована силовая конструкция с тем, чтобы использовать ее для ряда тестирования различных моделей самолетов при смене только обводообразующих элементов. Во-вторых, существует ограничение по максимальному весу модели. Для наибольшего снижения веса применяются облегчающие вырезы в деталях модели. Для обводообразующих панелей выбран более легкий материал по сравнению с традиционно применяемыми металлическими материалами.

При проектировании крупномасштабной модели МС-21был определён ряд задач:

– выбор конструктивно-силовой схемы;
– снижение веса спроектированной модели;
– подача воздуха под давлением через фюзеляжи консоли крыла в имитаторы СУ модели;
– обеспечение необходимой прочности конструкции;
– создание дистанционного отклонения органов управления;
– создание сменных элементов конструкции — от крыльев до органов управления на них;
– создание унифицированной конструкции для выполнения последующих доработок модели;
– проведение на одной модели нескольких видов исследований.

Данные задачи были успешно решены усилиями всего коллектива конструкторского отдела НТЦ НПК ЦАГИ. Разработанная модель по всем характеристикам удовлетворяет требованиям технического задания по проектированию аэродинамических моделей для аэродинамических труб комплекса ЦАГИ, предъявляемым к данному типу моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Информационный сайт Центрального аэрогидродинамического института www.tsagi.ru
2. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Главн. ред. д.т.н., профессор *А.Г. Братухин*. International Expert in Aerospace and CALS. М.:ОАО «НИЦ АСК», 2008, 608 с.

DESIGN AND PRODUCTION THE LARGE-SCALE AIRCRAFT MODELS FOR RESEARCH THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS IN THE WIND TUNNEL ON THE EXAMPLE OF STANDARD PASSENGER AIRCRAFT MODEL

© 2016 A.O. Shardin, A.A. Kopylov, S.Ya. Sevostyanov, A.D. Gromyshkov, A.A. Yustus, I.V. Grigoriev, K.V. Zhirikhin, A.V. Levitsky, D.S. Rudenko

Central Aero Hydrodynamic Institute (TsAGI) named after prof. N.E. Zhukovskiy, Zhukovskiy city

In article the detailed description of large-scale aircraft model for research the aerodynamic characteristics is provided in a wind tunnel on the example of standard passenger aircraft model plane is provided. The short description of types of aerodynamic models, aims of experimental researches and stages of design development and production of a product is provided.

Key words: *aerodynamic model, aircraft, researches, aerodynamic characteristics, wind tunnel, design*

Anton Shardin, Chief of the Department.
E-mail: ao_shardin@tsagi.ru
Aleksey Kopylov, Chied of the 5-th sector at 2-nd Department
Sergey Sevostyanov, Leading Engineer
Alexander Gromyshkov, Engineer
Alexander Yustus, Engineer
Igor Grigoriev, Engineer
Kirill Zhirikhin, Engineer
Alexander Levitskiy, Engineer
Dmitriy Rudenko, Engineer