

## СТРУКТУРА И ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СВОБОДНОЛЕТАЮЩИХ МОДЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ

к.т.н. А.В. Бетин, д.т.н. А.И. Рыженко, Д.В. Тиняков, Е.А. Мураховская

Разработаны основные концепции создания крупномасштабных свободнолетающих динамически подобных моделей самолетов и структурно - методическая база их реализации.

Результаты летных исследований критических режимов полета самолетов с помощью крупномасштабных свободнолетающих динамически подобных моделей (СДПМ) во многом определяют судьбу нового самолета (или его модификаций), направление и темпы проведения последующих испытаний натурного летательного аппарата (ЛА) и работ по внедрению его в серийное производство.

Главной особенностью процесса создания СДПМ является то, что на всех этапах проектирования и производства СДПМ, а также проведения на них летных исследований необходимо решать проблему удовлетворения принятых (с учетом задач моделирования) условий подобия. Отклонение от этих условий или их невыполнение при проектировании с большой степенью вероятности приведет далее к производству СДПМ с неудовлетворительными значениями параметров качества, а затем и к отрицательному решению вопроса об эксплуатации СДПМ с неподдающимися доводке параметрами.

Анализ использованных при создании крупномасштабных СДПМ самолетов методических, конструкторских и технологических решений позволяет сделать следующие выводы [1 - 3].

1. Для крупномасштабных СДПМ самолетов используют принцип модульного членения планера: к ее основному модулю - фюзеляжу присоединяют различные варианты консолей крыла, оперения, носовых наплывов и т.п.

2. Взаимозаменяемость агрегатов и увязка технологической оснастки СДПМ обеспечивают применение эталонно - шаблонного метода.

3. Процесс изготовления СДПМ состоит из следующих основных этапов: изготовление панелей обшивок; изготовление каркасных деталей; сборка каркасов; сборка агрегатов из обшивок и каркасов; общая сборка модели из отдельных агрегатов; монтаж оборудования; отладка и настройка систем.

4. Обшивку СДПМ изготавливают в виде трехслойных (реже однослойных) панелей с несущими слоями из стеклопластика и пенопластовым наполнителем методом вакуумного формования в негативных матрицах, которые получают слепком с эталона поверхности модели (ЭПМ).

5. Каркасы СДПМ, как правило, металлические (алюминиевые сплавы, сталь), сборные. Составляющим их деталям придают простые формы, и поэтому для их изготовления использованы самые разнообразные способы и методы, начиная механической обработкой и заканчивая формовкой в матрицах.

6. Агрегаты СДПМ малой строительной высоты обычно имеют сплошной пенопластовый наполнитель. Между собой агрегаты СДПМ соединяют через эксплуатационно-разъемные ушковые, контурные и подвижные стыковые узлы.

7. Для минимизации числа переносов размеров, а, следовательно, и обеспечения максимальной точности, для изготовления агрегатов СДПМ применен принцип многофункциональности технологической оснастки.

8. Сборку СДПМ осуществляют в приспособлении при базировании на поверхности обшивки, которую соединяют с каркасом посредством эпоксидного компенсатора с различными наполнителями (стекловолокно, стеклянная микросфера) и винтовыми швами разреженного шага.

9. При контроле качества поверхности СДПМ профилографами (или другими приборами измерения микрогеометрии) определяют реальные значения шероховатости, а коническим щупом отклонения обводов агрегатов от обводов рубильников сборочного приспособления.

10. При нивелировке определяют соответствие фактических геометрических параметров СДПМ нивелировочной ведомости соответствующих параметров ЭПМ либо другого носителя информации.

11. Координаты центра масс (ЦМ) определяют подвешиванием СДПМ на карданном подвесе (и опускании отвеса из его центра на ординатное центровочное приспособление, закрепленное на СДПМ).

12. Для экспериментального определения фактических значений осевых моментов инерции СДПМ применяют метод двойного физического маятника и метод крутильных колебаний на бифилярном подвесе.

13. Центробежные моменты инерции СДПМ прямыми экспериментальными методами найти не удается, но их определяют расчетом по данным о замеренных осевых моментах инерции.

14. После взвешивания, определения координат ЦМ, осевых и центробежных моментов инерции СДПМ вычисляют отклонения центровки и массово-инерционных параметров от требуемых по подобию значений, решают вопрос о необходимости и возможности их доводки, а затем и осуществляют ее, разделяя процедуры доводки положения ЦМ,

моментов инерции и массы СДПМ.

15. Оценку степени подобия на стадии подготовки к модельным летным исследованиям проводят путем сравнения поведения реальной и эталонной СДПМ методами численного моделирования.

16. Обязательным при проведении летных испытаний СДПМ является выяснение вопроса о реальности получения интересующей заказчика информации и определение работоспособности жизненно важных систем СДПМ.

Представленные выше методические, конструкторские и технологические решения, обладая широкими возможностями модификации, могут и далее быть использованы для создания крупномасштабных СДПМ самолетов. В любом случае (будут ли полностью или частично использованы эти решения) неизменной должна остаться структура процесса формирования и контроля качества крупномасштабных СДПМ самолетов, реализуемая при их создании (рис. 1).

Первым этапом создания крупномасштабной СДПМ является этап выработки требований. При выполнении этого этапа заказчик и разработчик СДПМ на основе анализа целей разработки СДПМ, перспектив совершенствования моделируемого ЛА, результатов предварительных продувок в аэродинамических трубах, статистических данных о ранее разработанных СДПМ и принципов взаимодействия СДПМ с другими компонентами научно-исследовательского комплекса, а также полномасштабного исследования необходимых и достаточных условий адекватного отображения на СДПМ совокупности заданных для исследования явлений и режимов, а также исходя из возможностей производственной базы прогнозируют потребные общие характеристики будущей крупномасштабной СДПМ и определяют летно-технические требования (ЛТТ) к ней. На этом же этапе рассчитывают основные технико-экономические показатели создания и использования СДПМ. Результатом является техническое задание (ТЗ) на проектирование крупномасштабной СДПМ.

Второй этап охватывает разработку проекта СДПМ на основе требований ТЗ. Законченный проект по существу представляет собой совокупность конструктивной информации, полностью определяющей конструкцию будущей СДПМ и зафиксированной в чертежах, технических условиях, описаниях и др. При проектировании крупномасштабных СДПМ ищут такие конструкторские решения, которые дают возможность при производстве СДПМ применять наиболее совершенные, надежные в отношении качества технологические методы и способы изготовления, методы технического контроля и испытаний. Особое внимание уделяют требованиям, выполнение которых обеспечивает создание технологичной конструкции СДПМ потребного качества.

Третьим этапом является технологическая подготовка производства

СДПМ и научно-исследовательского комплекса, в котором ей предстоит работать. Производство по существу является воспроизведением в материальной форме всей конструктивной информации, заданной проектом. Задача технологической подготовки производства состоит, во-первых, в разработке детальной программы воспроизведения в материальной форме заданной конструктивной информации, и во-вторых, в создании или переработке необходимых для выполнения программы изготовления СДПМ рамы орудий труда.



Рис.1. Структура процесса формирования и контроля качества крупномасштабных СДПМ самолетов

Программа воспроизведения конструктивной информации оформляется в виде комплекса технологической документации на изготовление СДПМ. Правильная подготовка научно-исследовательского комплекса для решения задач моделирования на конкретной СДПМ также не менее важна. При этом главным (как и для других этапов создания СДПМ) является необходимость удовлетворения принятых условий подбоя.

Четвертый этап - собственно изготовление СДПМ. Задача этого этапа состоит в точном воспроизведении в материализованной форме всей заданной в проекте СДПМ конструктивной информации в полном соответствии с программой, предусмотренной технологической документацией.

Каким бы высокоточным и качественным ни было изготовление крупномасштабных СДПМ, оно все же не гарантирует точного обеспечения заявленных при проектировании параметров. Инженеры, разрабатывающие ТЗ, конструкторы и технологи принимают большое количество частных решений, многие из которых могут не соответствовать полностью ЛГТ. Все эти решения находят отражение в ТЗ, конструкторской и технологической документации. При изготовлении деталей и сборке СДПМ в свою очередь неизбежно возникают различные отклонения от предписания чертежей и технологической документации, которые, накапливаясь, вызывают дополнительные отклонения конечных параметров и характеристик СДПМ.

Окончательное превращение СДПМ в научно-исследовательский инструмент происходит на испытательных и контрольно-доводочных этапах производства: наземных испытаниях; доводки параметров; численного моделирования и летных испытаниях СДПМ.

Наиболее достоверные данные о работоспособности жизненно важных систем СДПМ могут быть получены в летных испытаниях, что не может полностью удовлетворить потребности производства первой и последующих экземпляров СДПМ в информации обратной связи. Во-первых, они не позволяют оценить поведение СДПМ при долговременной работе. Во-вторых, испытаниям подвергают лишь законченные СДПМ, в то время как желательно иметь информацию и о качестве отдельных элементов конструкции еще до их установки на СДПМ. Поэтому в структуру производственного процесса обязательно вводят пятый этап создания СДПМ - наземные испытания.

При осуществлении наземных испытаний определяют фактические значения параметров качества поверхности СДПМ, выполняют прочностные и жесткостные испытания агрегатов и всего аппарата в целом, продувки в аэродинамических трубах, нивелировку и взвешивание, находят положение ЦМ и значения моментов инерции СДПМ. Каналы обратной связи, имеющие началом наземные испытания, являются по сравнению с другими наиболее оперативными. Объем и качество полу-

чаемой по ним информации зависит от программы испытаний, полноты и точности выполняемых измерений.

На шестом этапе определяют отклонения располагаемых значений параметров СДПМ от требуемых по подобию значений, решают вопрос о необходимости и возможности их доводки, а затем и осуществляют ее. Шероховатость поверхности доводят шлифованием и полированием, отклонения формы - шпаклевкой или напылением, а массово-инерционные параметры - размещением в пределах контура СДПМ необходимых систем центровочных и доводочных точечных грузов.

Седьмой этап - численное моделирование с целью определения годности СДПМ для летных исследований. Доводка не всех параметров СДПМ может дать удовлетворительные результаты, которые в этом случае будут иметь реальные (или располагаемые) значения. Заключение о возможности получения достоверных данных о летных характеристиках самолета на СДПМ с неподдающимися доводке параметрами делают на основании: численного моделирования, при котором определяют и сравнивают расчетные значения интегральных оценок качества реальной и эталонной СДПМ (полученные по результатам интегрирования уравнений математической модели движения СДПМ при типовых единичных воздействиях); проведения летных испытаний СДПМ с определением фактического вида  $m$ -мерного переходного процесса при типовых единичных воздействиях (как и в случае численного моделирования), расчетом и сравнением интегральных оценок качества реальной СДПМ по полетным данным и эталонной - по расчетным значениям численного моделирования.

На восьмом этапе создания крупномасштабной СДПМ – летных испытаниях осуществляют кратковременное наблюдение за поведением СДПМ в нескольких полетах по специальной программе, которая сводится, в итоге, к определению фактических характеристик и возможностей СДПМ, а также доводки ее параметров до значений, обеспечивающих адекватность и достаточную точность при моделировании заданных режимов полета натурального ЛА. Результат летных испытаний - заключение о годности СДПМ как ЛА и инструмента для выполнения конкретных летных исследований, т.е. возможности эксплуатации СДПМ.

Летные испытания позволяют получить неполную и более ограниченную информацию о качестве СДПМ, чем форсированная или нормальная эксплуатация, так как эти испытания не охватывают всего многообразия условий, характерных для нормальной эксплуатации. Но эта информация по каналам обратной связи позволяет оперативно корректировать процесс создания последующих экземпляров СДПМ.

Наиболее объективным комплексным критерием совершенства всех принятых в процессе создания СДПМ инженерных решений является оценка качества СДПМ в эксплуатации. Поэтому необходимым условием постоянной проверки этих решений является непрерывное поступле-

ние к разработчику СДПМ информации о дефектах, проявившихся при проведении летных исследований.

Из сказанного следует, что потребное качество СДПМ можно обеспечить лишь в результате осуществления весьма сложного комплексного процесса, включающего разработку ТЗ, проектирование, подготовку серийного производства, изготовление, наземные испытания, доводку параметров до требуемых по подобию значений, численное моделирование, летные испытания, а также частично и процесс эксплуатации СДПМ.

Расчеты показателей экономической эффективности от использования крупномасштабных СДПМ серии СЛМТ-10С для исследования сваливания и штопора самолета Су-27 дали следующие результаты [3].

1. Коэффициент экономической эффективности капиталовложений  $\epsilon$  в создание производственного и научно-исследовательского комплекса для крупномасштабных СДПМ серии СЛМТ-10С составил 0,21 (при нормативном коэффициенте эффективности капиталовложений  $\epsilon_{\text{н}} = 0,15$ ).

2. Минимальный суммарный годовой экономический эффект от применения крупномасштабных СДПМ серии СЛМТ-10С (в ценах 1988 г.) составляет 932 тыс. руб. при стоимости хозяйственной работы 150 тыс. руб. в год. Таким образом, экономическая эффективность от выполнения таких исследований составляет не менее 6,2 грн. на 1 грн. затрат в нынешних ценах.

Приведенные результаты расчетов позволяют сделать вывод о достаточно высокой экономической эффективности применения крупномасштабных СДПМ для опережающих исследований критических режимов полета самолетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бетин А.В., Рыженко А.И., Рябков В.И., Черановский О.Р. Определение размеров и массово-инерционных параметров свободнолетающих динамически подобных моделей самолетов : Труды ХАИ. – Харьков: ХАИ, 1992. – 101 с.

2. Бетин А.В. Реализация заявленных проектных параметров свободнолетающей модели при ее изготовлении и подготовке к летным исследованиям. – Харьков: ХАИ, 1996. – 86 с. – Деп. в УкрИНТЭИ 2.12.96, № 217 - Ук 96.

3. Бетин А.В., Черановский О.Р. Основные концепции формирования и контроля качества крупномасштабных свободнолетающих динамически подобных моделей самолетов // Технологические системы. – 2000. – Вып. 1(3). – С. 62 - 65.

*Поступила в редколлегию 30.06.2001*

---