

УДК 629.7.018.74(045)

А.И. Горячих, В.С. Кривцов, П.В. Мелихов,  
А.В. Смоляков, О.Е. Федорович, С.А. Яшин

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДА СВОБОДНО ЛЕТАЮЩИХ МОДЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ

*Рассмотрены современное состояние и перспективы развития метода физического моделирования на свободно летающих моделях самолетов, используемых в качестве инструмента для комплексного исследования опасных явлений и критических режимов полета.*

Основными этапами создания современного самолета являются:

- расчет и прогнозирование характеристик объекта с помощью математических моделей;
- исследование моделей самолета в аэродинамических трубах;
- постройка опытных экземпляров;
- наземные и летные испытания с-доводкой уже построенного образца.

Наибольший эффект достигается при создании самолетов достаточно изученных аэродинамических схем. Однако современный уровень развития экономики повышает требования, предъявляемые к авиационной технике. Прогресс в развитии авиационной техники требует широкого применения в самолетостроении автоматических и автоматизированных систем управления самолетом, силовой установкой и полетом, улучшения взлетно-посадочных характеристик путем использования высокомега-низированных крыльев и разработки систем снижения маневренных и турбулентных нагрузок на крыло. Самолеты с новыми аэродинамическими схемами, пониженной степенью статической устойчивости по перегрузке эксплуатируются на нестационарных режимах и имеют сложную структуру систем автоматического управления.

Динамическая структура современного самолета состоит из упругого планера, взаимодействующего с воздушным нестационарным потоком, двигателей, высокоавтоматизированных систем управления полетом самолета, работой двигателя и устойчивостью. При работе этой сложной структуры могут проявиться явления, выводящие самолет за пределы эксплуатационных ограничений.

Стремление уменьшить затраты на создание самолета приводит к поиску новых методов определения характеристик проектируемого образца авиационной техники. Современный уровень развития авиационной техники выдвинул целый ряд технических и научных задач, требующих проведения опережающих исследований, так как имеющиеся режимы не всегда поддаются математическому моделированию или физическому моделированию в аэродинамических трубах.

Практически все нормы летной годности самолетов разрешают не изучать поведение самолетов на углах атаки, превышающих установленные ограничения на 5-15 градусов, и свойства самолетов не нормируют. В случаях непреднамеренного выхода самолета на большие углы атаки, за ограничения часто возникают катастрофы, причины которых квалифицируют как ошибки пилотирования. Хотя по своей сути это не ошибки экипажа в эксплуатации, а следствие недоработки самолета.

Кроме того, среди задач, решаемых в процессе испытания нового самолета, есть такие, которые могут привести к потере опытного самолета, и в худшем случае к гибели летного экипажа. К ним, прежде всего, следует отнести испытания самолета на закритические углы, сваливание, штопор и исследования критических режимов и особых явлений в динамике и управляемости.

Применение летающих моделей в авиастроении известно с первых дней становления авиации. Летающие модели широко использовали в период освоения трансзвуковых и сверхзвуковых скоростей. Следующим этапом в развитии метода свободно летающих динамически подобных моделей стало изучение явления аэроупругости и колебательной неустойчивости, обусловленной включением бустеров в систему управления при создании больших реактивных самолетов, у которых упругие деформации конструкции оказывали существенное влияние на характеристики обтекания.

Очередной этап в развитии этого метода был связан с созданием реактивных самолетов четвертого поколения. Эти самолеты должны были сочетать в себе большую сверхзвуковую скорость, хорошую поляру с высоким аэродинамическим качеством, высокие характеристики маневренности. Работа над повышением маневренных свойств самолета привела к освоению больших закритических углов атаки и маневров, основанных на нестационарных режимах полета. Как правило, эти режимы являются критическими и опасными и могут привести к потере опытного самолета. Но достоверный материал о поведении самолета может быть получен только при исследовании этих режимов в экспериментальном полете самолета либо его свободно летающей динамически подобной модели в свободном полете.

Безусловно, развитие средств вычислительной техники, программирования и численных методов решения задач аэродинамики привело к тому, что расширилась область режимов движения самолета, которые достаточно близко моделируются математическими методами. Это обстоятельство послужило объективной причиной сокращения объемов применения летающих моделей.

На современном этапе развития самолетостроения летающие модели являются эффективным средством получения достоверной экспериментальной информации об аэродинамических характеристиках самолета на нестационарных, переходных режимах полета с учетом работы автоматических систем, а также при отказах систем или их элементов.

Необходимость применения метода физического моделирования диктуется его уникальными возможностями и неоспоримыми преимуществами перед другими методами аэродинамических исследований, основными из которых являются:

- оперативность решения задач;
- широкий диапазон областей исследуемых явлений;
- высокая достоверность получаемых результатов;
- возможность исследования режимов, не реализуемых другими методами;
- возможность комплексного исследования аэродинамических явлений.

К концептуальным задачам, когда нецелесообразно создавать полномасштабный самолет, относят разработку новых аэродинамических форм и схем, применение новой структуры системы автоматического управления, например, программы НИМАТ и Х-36. Традиционно для решения перечисленных задач использовали статистические данные, математическое моделирование, эксперименты в аэродинамических трубах и летные испытания создаваемого самолета путем постепенного расширения допустимых для каждой области пределов изменения основных параметров движения самолета, определяю-

ших граничные условия его эксплуатации при подходе к опасному явлению или режиму. Это может привести к большим материальным и финансовым затратам.

Прогресс в решении поставленных задач был достигнут объединением усилий ведущих авиационных предприятий (ОКБ имени П.О. Сухого, ОКБ имени А.И. Микояна, ЭМЗ имени В.М. Мясищева, ЛИИ имени М.М. Громова, ЦАГИ, ГНИКИ ВВС И ХАИ) путем использования для исследований динамики переходных процессов, критических явлений и режимов свободно летающих динамически подобных моделей. Эти научно-исследовательские инструменты предназначены для решения задач методом физического моделирования исследуемых явлений при создании нового самолета. Оснащенные комплексом научного оборудования эти модели позволило успешно выполнить программы опережающих летных исследований критических режимов полета самолетов СУ-27 и МИГ-29, сократить сроки и повысить безопасность их летной доводки. Обязанности между предприятиями распределялись следующим образом:

– ОКБ определяли области и задачи исследования, предоставляли геометрию создаваемого самолета, возможные области ее изменения и необходимые исходные данные для проектирования и на основании всех полученных экспериментальных данных создавали полную математическую модель аэродинамики самолета;

– Харьковский авиационный институт разрабатывал и строил свободно летающие модели, осуществлял их техническую эксплуатацию, ремонт и модификацию в процессе экспериментальных исследований;

– ЦАГИ определял режимы и задачи моделирования, области подобных режимов полета, выдавал рекомендации по масштабу летающих моделей, критериям подобия, осуществлял методическое руководство общим проектированием летающих моделей и моделированием систем автоматического управления, анализировал материалы трубных и модельных испытаний, выдавал рекомендации по модификации аэродинамической компоновки, выполнял пересчет результатов испытаний модели на исследуемый самолет, анализировал сходимость результатов;

– ЛИИ разрабатывал методику постановки и выполнения летных экспериментов, осуществлял метрологическое обеспечение и обработку экспериментальной информации, выполнял анализ материалов испытаний, выдавал заключение по характеристикам исследуемой аэродинамической компоновки и рекомендации по их улучшению, анализировал сходимость результатов, предоставлял помещения, самолеты, вертолеты, их летные и технические экипажи при проведении летных исследований, занимался идентификацией математических моделей движения и аэродинамики самолета;

– ГНИКИ ВВС предоставлял испытательную базу, полигон, обеспечивал радиотелеметрический прием и регистрацию экспериментальной информации, радиотехническое, связанное и инженерно-авиационное обслуживание летных экспериментов.

При физическом моделировании существуют следующие две модели:

– физическая модель – материальное тело, летающая модель как физический прибор для воспроизведения режимов движения;

– физическая модель – явление как режим движения и обтекания, воспроизводимый летающей моделью.

Свободно летающая модель представляет собой физический прибор, состоящий из следующих частей:

– летательного аппарата, геометрически и динамически подобного изучаемому объекту, достаточно полно отображающего его существенные свойства, конструкцию;

- моделей систем автоматического управления и бортовой автоматики натурального самолета;
- бортовых измерительных и навигационных комплексов;
- системы управления ходом эксперимента;
- систем взлета и посадки, позволяющих многократно осуществлять проведение необходимых летных экспериментов.

После выполнения летного эксперимента модель совершает посадку на испытательном полигоне и доставляется транспортной машиной на техническую или стартовую позицию для подготовки к дальнейшим испытаниям.

К разработке летающих моделей предъявляются следующие основные требования:

- возможность быстрой модификации аэродинамической формы;
- модульность конструкции и систем;
- простота обслуживания и ремонтпригодность конструкции и систем модели;
- способность оперативной настройки программы летного эксперимента;
- минимальный цикл подготовки к повторному полету;
- повторяемость, воспроизводимость экспериментов и достоверность их результатов;
- передача большого объема исследовательской информации на наземный пункт приема и обработка ее в процессе полета, наличие бортовых накопителей;
- возможность выполнения автономного, автоматического полета по заданной жесткой или адаптивной программе и управления ходом эксперимента с наземного пункта управления;
- многократность и мобильность применения;
- способность посадки на неподготовленные площадки;
- не критичность к способу вывода на высоту эксперимента.

Актуальность дальнейшего развития метода физического моделирования и совершенствования конструкции и систем свободно летающих моделей определяется следующими факторами:

- более низкой стоимостью по сравнению с пилотируемыми авиационными комплексами;
- простотой и малым циклом подготовки;
- необходимостью исследования динамики сваливания, штопора, определения углов атаки начала сваливания во всех полетных конфигурациях создаваемого самолета и методов вывода из сваливания и штопора;
- возможностью опережающих исследований создаваемого самолета, в том числе сваливания и штопора для маневренных самолетов с моделированием законов управления;
- исследованием сложных динамических режимов типа аэроинерционного вращения при числах Маха модели, равных натурным;
- возможностью поиска и уточнения законов систем автоматического управления натурального самолета для обеспечения требуемых характеристик устойчивости и управляемости на больших углах атаки, в том числе на закритических;

- определением влияния модификаций формы на аэродинамические характеристики исследуемого самолета на больших углах атаки;
- исследованием характеристик устойчивости и управляемости создаваемых тяжелых транспортных самолетов на больших углах атаки вплоть до сваливания и глубокого сваливания, характеристик вывода из сваливания при больших числах  $Re$  и  $Ma$  модели, близких или равных натурным;
- возможностью исследования и отладки образцов бортового оборудования;
- изучением всех особенностей динамики и управляемости создаваемого самолета и оценки степени их влияния на пилотирование до начала постройки самолета;
- поиском критических явлений в динамике и управляемости нового самолета, их влияния на безопасность полетов и пилотирования, полного их устранения в нормальных условиях полета и максимального смягчения в особых случаях полета;
- установлением соответствия основных характеристик устойчивости и управляемости создаваемого самолета во всех подлежащих контролю точках действующим нормам;
- установлением предельно допустимых при массовой эксплуатации проектируемого самолета значений углов атаки и скольжения;
- подтверждением достаточности защиты натурального самолета от непреднамеренного превышения устанавливаемых ему эксплуатационных ограничений при возможных ошибках пилотирования или отказах бортовых систем, двигателя;
- уточнением инструкций по пилотированию, экспертизы, рекомендаций летчику о поведении или методах пилотирования создаваемого самолета в опасных ситуациях;
- уточнением внешних границ предельной области режимов полета и оценки условий и безопасности непродолжительного пребывания разрабатываемого самолета в этой области.

Отличительными особенностями свободно летающих моделей нового поколения, предназначенных для аэродинамических исследований, являются:

- турбореактивный двигатель;
- электрогидравлическая система управления;
- посадка под парашютом на гидромеханическую или пневматическую амортизацию в горизонтальном положении;
- адаптивная аналоговая или цифровая система автоматического управления;
- радиоканальное управление режимами эксперимента;
- увеличенная длительность полета.

Накопленный опыт применения летающих моделей позволил перейти к разработке на их базе информационно-моделирующих комплексов для физического моделирования и исследования устойчивости, управляемости, динамики полета, нестационарных режимов, структур системы автоматического управления и повреждений конструкции самолетов в свободном полете, в реальной атмосфере.

Информационно-моделирующий комплекс для физического моделирования представляет собой совокупность взаимосвязанных в единую функциональную систему составных частей, основными из которых являются:

- собственно свободно летающая динамически подобная модель исследуемого самолета;
- средства ее подготовки и проведения летного эксперимента;
- средства приема (в том числе по радиоканалам) и обработки данных бортовых измерительных датчиков;

– математические модели аэродинамики и динамики движения самолета и методы их идентификации, программные и аппаратные средства.

Элементы этих комплексов могут располагаться на автомобильных шасси высокой проходимости, что придает им мобильность применения, возможность пуска с неподготовленных в инженерном отношении площадок. В качестве элементов комплекса используются и существующие стандартные системы проведения летного эксперимента на самолетах.

На базе летающей модели с турбореактивным двигателем может быть разработан комплекс в варианте воздушной мишени.

В целом свободно летающие динамически подобные модели позволят расширить области исследований аэродинамических явлений, существенно сократить цикл создания нового самолета и повысить безопасность летных исследований (см. таблицу).

Основные характеристики летающих моделей

Параметр	Тип летающих моделей			
	СЛМ	СЛМ10	СЛМ22	СЛМ32
Особенности модели	Сваливание, штопор	Сваливание, штопор, устойчивость, управляемость, нестационарные режимы	Сваливание, штопор, устойчивость, управляемость, нестационарные режимы, структура САУ	Сваливание, штопор, устойчивость, управляемость, нестационарные режимы, структура САУ, работа силовой установки
Силовая установка	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Турбореактивный двигатель
Способ старта	Разгонная ступень, пусковая установка	Разгонная ступень, пусковая установка, самолет или вертолет-носитель	Вертолет-носитель	Вертолет-носитель
Способ посадки	Под парашютом, носом вниз на механический демпфер	Под парашютом, разделение на две части, носом вниз на механический демпфер	Под парашютом на гидромеханическую амортизацию в горизонтальном положении	Под парашютом на гидромеханическую амортизацию в горизонтальном положении
Способ регистрации параметров	Фоторегистратор	Телеметрия или магнитный накопитель	Телеметрия и магнитный накопитель	Телеметрия и магнитный накопитель
Число регистрируемых параметров	17	До 60	До 120	Более 120

На протяжении последних 40 лет Харьковский авиационный институт совместно с ведущими предприятиями занимался исследованиями на летающих моделях модификации самолетов СУ-27, СУ-35, СУ-27УБ, СУ-27К, МИГ-29, МИГ-29УБ, М-55, 1.42, С-37. По этим программам было выполнено более 300 исследовательских экспериментальных полетов. Полученный материал хорошо согласуется с данными летных испытаний натуральных образцов, но не всегда согласуется с данными испытаний в аэродинамических трубах. Примерами уникальных явлений, полученных в опережающих исследованиях на летающих моделях, могут служить следующие:

- динамический выход на большие углы атаки и уход с них – "кобра Пугачева";
- явление подсосывания в штопоре противоштопорного парашюта к верхней поверхности модели с последующим прилипанием и полной потерей его эффективности;
- отличные от полученных в аэродинамической трубе значения моментов тангажа стабилизатора на больших закритических углах атаки в нестационарном процессе, что послужило основанием для разработки режимов сверхманевренности, и некоторые другие явления и эффекты.

В 1989 году вследствие значительного увеличения объема исследований на летающих моделях при Харьковском авиационном институте был организован специализированный Научно-исследовательский институт проблем физического моделирования режимов полета самолета (НИИ ПФМ) для решения задачи самолетостроения на современном этапе. Отдельные виды летных экспериментов проводятся в НИИ ПФМ на собственной экспериментальной базе. Дальнейшее развитие метода летающих моделей в Харьковском авиационном институте на базе НИИ ПФМ соответствует требованиям современного этапа развития самолетостроения. Целесообразно распространить метод на моделирование явлений и процессов, представляющих интерес для пассажирских и транспортных самолетов, особое значение придавая развитию научно-технических связей с АНТК "Антонов", исследованию взлетно-посадочных режимов с учетом обдува винтов и близости земли, поведения самолетов при сваливании, методов вывода из сваливания, эффективности противоштопорного парашюта и нагрузок, возникающих при его применении, изучению инструкций по пилотированию самолетов в особых случаях и др.

Для повышения оперативности исследований на летающих моделях необходимо повысить уровень работ по метрологическому обеспечению, обработке экспериментальной информации, экспертизе результатов исследований и выдачи рекомендаций и заключений. В этом направлении ведется работа по организации и аттестации соответствующих подразделений.

Для решения поставленных задач необходимо объединение усилий ведущих авиационных организаций Украины: Киевского международного университета гражданской авиации, Киевского государственного университета, Киевского политехнического института, Киевского института кибернетики, ГАНИЦ, Харьковского авиационного института.