

УДК 629.7.016.7, 629.7.018.77

Е.А. Дружинин, В.В. Чмовж, А.В. Корнев

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБРАЗЦА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены области применения различных методов проектирования, пути повышения технологичности проверенных методов проектирования в комплексе с развивающимися вычислительными технологиями. Рассмотрен алгоритм поэтапного их применения на разных стадиях разработки, направленный на получение наиболее эффективного вклада от каждого из методов, в котором особое внимание было уделено решению проблем использования методов аэродинамического проектирования.

Ключевые слова: НИОКР, оптимальное проектирование, методы проектирования, численный эксперимент, физический эксперимент, техническое предложение, эскизный проект.

Введение

В условиях постоянно нарастающей интенсивности мирового развития техники существенное влияние на высокий уровень конкурентной способности новых образцов, безусловно, создают такие факторы как новизна и перспективность заложенных идей, а также ресурсоёмкость и время их реализации. И если новизна и перспективность идей зависят от ряда объективных и субъективных факторов: уровня развития техники, образования, накопленного опыта, вопросов подготовки кадров, квалификации специалистов, способностей к коллективному и личному творчеству и других факторов, в том числе и социальных, и влияние на них выходит за рамки чисто технического решения, то снижение ресурсоёмкости и времени реализации представляется в эффективном управлении проектами, в необходимости применения новых, прогрессивных методов и технологий как в производстве, так и на этапе проектирования новой техники.

Существенное влияние на процесс создания новой техники создают факторы, обусловленные экономической эффективностью конкретного образца: стремление заказчиков и потенциальных инвесторов сократить период окупаемости вложенных в создание средств за счёт сокращения времени разработки и производства, в том числе и за счёт снижения расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), не поддающиеся достаточно точному прогнозированию, вследствие сложности адекватного математического описания реальных физических процессов.

Продолжительность цикла создания нового образца транспортной авиации, до начала лётных испытаний, прослеживается на примере истории создания самолетов АНТК им. Антонова и составляет около 2 – 6 лет. Образцы техники, создающие революционный прорыв (Ту-144, ОКБ Туполева, Россия; Ан-124, АНТК им. Антонова, Украина; Ил-96-300, КБ Ильюшина, Россия; А-380, европейский концерн "Airbus S.A.S"), создаются, в среднем, около 15-ти лет. Соз-

дание образцов военной авиации, каждый из которых является уникальным, длится от 5 до 15 лет. Легкомоторной авиации: 1 – 3 года.

Каждые 8 – 12 лет выпускаются образцы с ярко выраженными признаками, дающими резкий скачок, к примеру, топливной, транспортной или боевой эффективности, определяющими начало периода появления летательных аппаратов нового поколения [1], при возрастающей от поколения к поколению сложности систем и, как следствие, к усложнению необходимых для их разработки расчётов.

Цикл создания беспилотной авиационной техники, являющийся объектом исследования, в зависимости от назначения и класса летательного аппарата, при соответствующем обеспечении, измеряется временными промежутками от нескольких месяцев до 2 – 5 лет.

Частота обновления технологий и технических знаний всё время возрастает. Сменяются средства обнаружения, поражения, авионика. Расширяется сфера применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Это подталкивает к обновлению парка БЛА. И если пилотируемая техника создаётся из расчёта срока эксплуатации не менее 20 – 30 лет, то срок эксплуатации БЛА, в зависимости от назначения, применяемых конструкционных материалов, условий хранения, эксплуатации и др., составляет 5 – 10 лет и, зачастую, ограничивается количеством взлётопосадок – режимов, при которых конструкция испытывает пиковые нагрузки, иногда нерасчётные. В связи с этим необходимо соизмерять сроки создания и эксплуатации.

В Межотраслевом НИИ проблем физического моделирования режимов полёта самолётов при Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» (НИИ ПФМ ХАИ) ведутся разработки беспилотных автоматизированных комплексов, составной частью которых являются разработки БЛА различного назначения, как для самостоятельного применения, так и экспериментальных, предназначенных для моделирования режимов полё-

та, перевірки і обробки проектно-конструкторських і експлуатаційно-технологічних рішень.

В наші часи інтенсивне розвиток безпілотної авіації відкриває широкі можливості для дослідження інновацій, застосування нових технологій як для скорочення циклу створення ЛА, так і для швидкої їх власної апробації, обробки і подальшого впровадження з мінімальним ризиком і для виробника, і для кінцевого споживача.

Авіастроєння, як приклад науко- і ресурсомісткого виробництва, вже на перших етапах створення об'єктів техніки відчуває гостру необхідність у використанні високотехнологічних методів комплексного проектування. Враховуючи все різноманітність НІОКР, починаючи з етапу формування вигляду об'єкта або системи, в умовах значущої неопределенності вихідної проекційної інформації, і закінчуючи рішенням окремих завдань проектування окремих елементів, одним з напрямків рішення розглянутих питань вважається широке впровадження в практику комп'ютерних інформаційних технологій. В наші часи широке практичне застосування знайшли САД/САМ/САЕ додатки [2 – 5].

Одним з основних напрямків створення і вдосконалення атмосферних літальних апаратів, по-прежнему, залишається аеродинамічне проектування, яке є одним з найбільш науко-, ресурсомістких і, відносно, довгих процесів, зазвичай продовжується на протязі всього життєвого циклу ЛА. При наявності певного рівня розвитку доступних для практичного застосування чисельних методів аеродинамічного експерименту і їх технічного забезпечення, існують складнощі забезпечення достатньої точності результатів, особливо на початкових етапах розробки, і пов'язані з цим значущі витрати часу і обчислювальних ресурсів. В зв'язі з цим існує необхідність підвищення технологічності наявних, перевірених методів проектування в комплексі з розвиваючимися комп'ютерними технологіями, за рахунок їх раціонального комбінування, оптимізації і уніфікації, об'єднання їх в сценарій проектування в послідовності, що дозволяє в результаті отримати найбільш ефективний вклад від кожного з методів за менший проміжок часу і з меншими витратами.

Своєчасне освоєння і раціональне застосування нових технологій є закладом ефективного використання ресурсів.

1. Системний сценарій проектування

Системний сценарій – комплекс проектних дій в процесі життєвого циклу ЛА. На рис. 1 представлено блок-схема системного сценарію проектування ЛА за принципом "від технічного пропозиції" на стадіях технічного пропозиції і ескізного проекту, на яких відбувається прийняття

до 80% основних рішень.

В основу розглянутого сценарію покладено оптимізація процесу проектування з метою мінімізації витрат і термінів реалізації при забезпеченні необхідного рівня якості проектування. Одним з основних способів рішення поставленої задачі є раціональне комбінування математичних і фізичних методів моделювання і розрахунок ЛА: інженерних *аналітичних методів, інтегрованих методів комп'ютерного моделювання, чисельних і програмних методів розрахунок, експериментальних методів* визначення параметрів ЛА. Кожен з методів, при самостійному використанні низкотехнологічний, має свою *точність* отримання результатів, *ресурсомісткість* і *градієнт витрат*.

Аналітичне моделювання дозволяє провести дослідження в найбільш загальному вигляді і отримати результати в зрозумілому, зручному для аналізу вигляді. Однак побудова аналітичних моделей часто пов'язана з необхідністю суттєво спрощувати розглянуте явище, що знижує достовірність отримуваних результатів. Інженерна практика, традиційно ґрунтується на проведенні експериментальних досліджень, що, при їх правильному виконанні, зазвичай забезпечує високу надійність техніки. Однак висока ціна і тривалість таких досліджень суттєво знижують конкурентоспроможність розроблюваної техніки. Чисельне моделювання з допомогою ЕВМ в наші часи стає одним з основних методів дослідження складних об'єктів і процесів.

Застосування згаданих методів в сценаріях, адаптованих під поточні завдання, в певній послідовності і на певному етапі проектування, коли багатовариантність конструкторсько-технологічних рішень проходить системний відбір, дозволяє знизити кількість невідомих параметрів при підготовці вихідних даних для наступного етапу.

За рахунок чого знизити час підготовки, при *надлежащем* якості результатів і отримати більш продуктивний і ефективний вклад від кожного з методів?

Оптимізація проводиться за критеріями економічної ефективності і технічної цільовості, визначених в процесі проектування для кожного конкретного випадку (комбінування несущої системи, оперення, входних і вихідних пристроїв і др.), враховуючи рівень теоретичної обробки питань проектування, цілі і необхідну ступінь проработки поставлених завдань, оцінюючи переваги і недоліки, а також можливість кожного з методів.

Визначення цільовості виконання цих або інших проектних дій і процес прийняття рішення суттєво спрощується, коли в ході пошуку вдасться формалізувати задачу проектування і цілі задачі, кількісно виразивши їх через

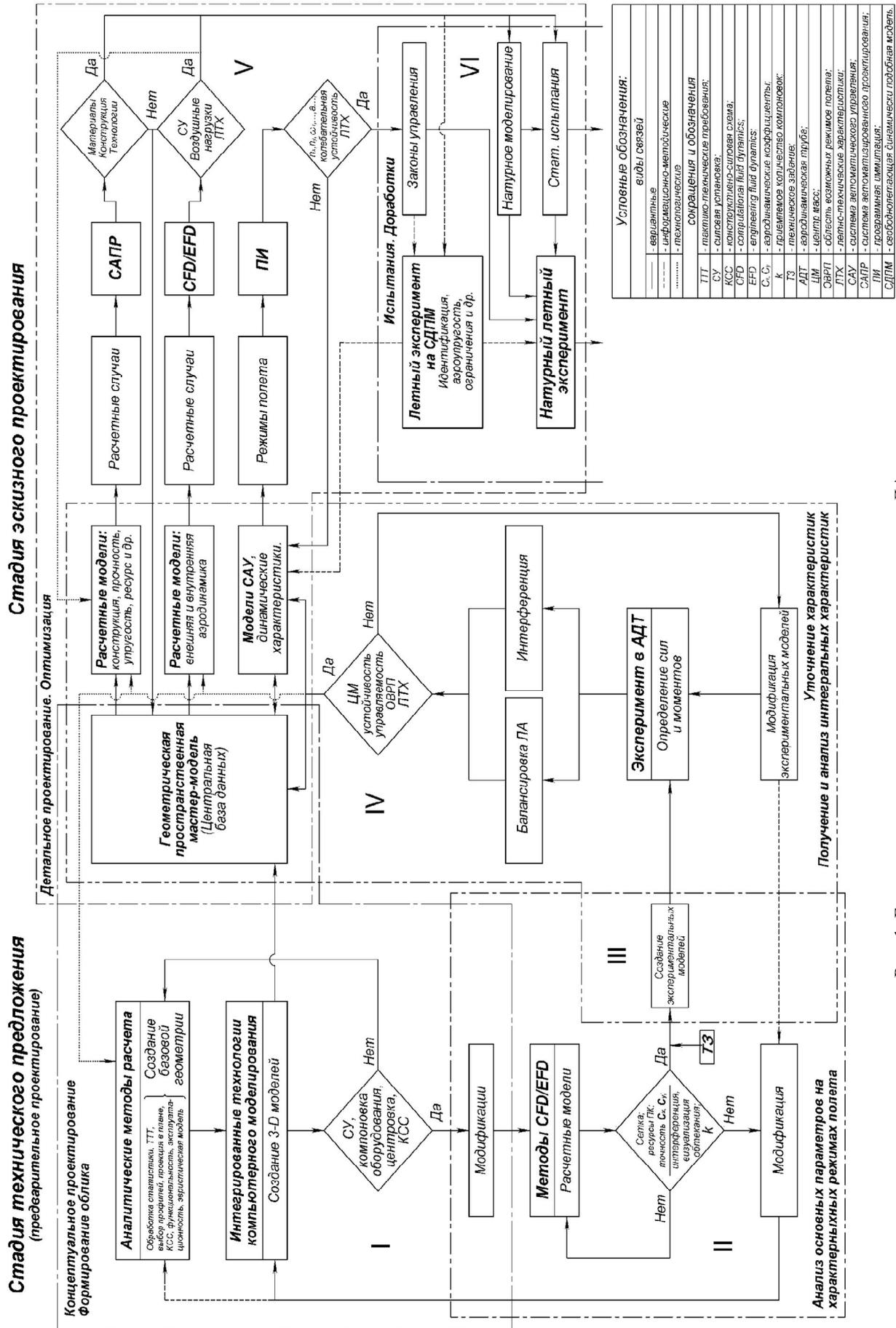


Рис. 1. Блок-схема системного сценария проектирования ЛА

определённые критерии. Наибольшая ценность подобных сценариев представляется в значительном снижении риска допущения необоснованных и ошибочных решений (особенно принципиальных) на этапах практической реализации проекта (уже начиная с этапа экспериментальных исследований на масштабных моделях в аэродинамических трубах (АДТ)), когда их исправление является наиболее затруднительным и влечёт за собой наибольшие издержки. По состоянию разработки, по методическим признакам и по степени проработки рассматриваемые стадии проектирования подразделены на взаимосвязанные этапы.

1.1. Стадия технического предложения

Стадия технического предложения подразделяется на два этапа. На первом этапе, т. н. *этапе внешнего проектирования*, проводится анализ рынка и определяются потребительские свойства объекта проектирования: проводится анализ статистических данных по аналогичным системам, проводится разработка эвристических моделей, тактико-технических требований (ТТТ), при помощи *аналитических методов* и *методов компьютерного моделирования* происходит формирование облика ЛА и его систем, создаётся базовая пространственная мастер-модель [6 – 11].

Следует отметить, что большинство расчётных методов, описанных в литературе, основаны на опыте создания пилотируемой техники, рассчитанной на продолжительный срок эксплуатации. Учитывая это обстоятельство, при инженерном подходе к созданию беспилотных систем, существует возможность значительного упрощения расчётных методик, корректирования критериев запаса прочности, пересмотра допущений, за счёт этого получения лучшей временной, весовой и экономической отдачи.

На этом этапе для расчёта несущей системы доступны методы расчёта двумерных задач, позволяющих получить удовлетворительные результаты в линейной области изменения характеристик: аналитические приближённые методы, метод присоединённых вихрей; существуют методы и программные продукты, предназначенные для расчёта профилей и их модификаций. Но решение двумерных задач не даёт достаточного представления о реальных процессах. Хорошие результаты получаются при использовании методов конечных объёмов численного моделирования, реализованные в специализированных и прикладных программных продуктах, т.н. *Computational Fluid Dynamic (CFD)* и *Engineering Fluid Dynamic (EFD)* приложениях, как при двумерной, так и пространственной постановке задачи [12 – 14].

Следует отметить, что EFD является направлением в CFD, реализованное в приложениях, интегрированных в систему графического проектирования, ориентированное на инженера-проектировщика и имеет принципиальные преимущества перед последним как на этапе предварительного проектирования, так и при детальном проектировании:

- задание исходных данных и просмотр результатов непосредственно в окне графического проектирования;

- возможность использования инженером, а не CFD-специалистом;

- минимальное время на подготовку исходных данных и анализ полученных результатов.

При переходе к решению пространственных задач использование CFD/EFD приложений позволяет в более полной мере моделировать обтекание крыла конечного размаха с соблюдением критериев подобия, с учётом скоса потока и индуктивной составляющей сопротивления – характеристик, зависящих от размеров и формы крыла в плане, несущих свойств сечений крыла, их распределения по размаху и взаимовлияния. Эти геометрические параметры, зачастую, являются предметом длительной оптимизации. Точность решения этих задач зависит от ряда факторов, в том числе, сложности формы расчётной модели и её детализации, размеров расчётной области, размеров ячеек расчётной сетки, на что в свою очередь влияет наличие достаточных вычислительных и временных ресурсов. В большой степени на точности результатов на этом этапе разработки сказывается отсутствие информации о начальной турбулентности потока [15]. Существует обширная теоретическая и экспериментальная база данных влияния изменения геометрических параметров крыла на его несущие свойства, на которые можно опираться как при аналитическом расчёте характеристик, так и при анализе результатов численного эксперимента [6, 11].

Точность аналитических методов известна и, в большинстве случаев, находится в пределах 10 – 15%. Получение достаточного количества информации о новом объекте с их помощью – трудоёмкий, кропотливый и, довольно, длительный процесс. Сократить время расчётов и увеличить объём информации позволяет оформление отработанных методик в виде алгоритмов и программных расчётных модулей. Применение методов CFD/EFD позволяет получить незаменимую, на предварительном этапе проектирования, информацию о характере обтекания, распределении скоростей и давлений, о взаимодействии потоков, с учётом вязкости и параметров атмосферы, приближённых к реальным условиям. Но длительность всеобъемлющих исследований с помощью этих методов ведёт к неоправданным затратам. К тому же погрешности расчётов силового воздействия воздушных потоков на данном этапе проектирования могут достигать 10 – 30%, поэтому имеет смысл ограничиться характерными расчётными случаями и уровнем сходимости результатов в пределах погрешности и сконцентрировать внимание на вопросах общего проектирования, качественной картине обтекания альтернативных компоновок, их *конфигураций* и сравнительной оценке аэродинамических характеристик (АДХ).

Принимая во внимание описанные выше обстоятельства, переходя ко второму этапу стадии тех. предложения, представляются целесообразным исследование с помощью CFD/CFD приложений с целью выявления, наивыгоднейшей компоновки или вариантов компоновок с минимальным негативным взаимовлиянием частей планера, а в лучшем случае – выявления компоновок с положительной интерференцией частей:

- изолированных частей планера, для определения влияния геометрических параметров на АДХ, с целью выявления конфигураций и способов их *модификации* для возможности оптимизации на последующих этапах проектирования;

- компоновок и элементов конструктивной увязки агрегатов, анализа характера обтекания и взаимовлияния их, при различном взаимном расположении, например, горизонтального оперения относительно крыла, в присутствии схода потока, имитация работы механизации и др.;

- определения области затенения и картины падения скоростного напора за несущей поверхностью по углу атаки, при симметричном и несимметричном обтекании;

- исследования влияния обдува от воздушных винтов на АДХ;

- для ЛА, на которых для увеличения диапазона скоростей и/или повышения маневренных характеристик, либо для других целей, используются вихрегенераторы, существует возможность исследования вихревой системы обтекания: определения момента начала вихреобразования, её влияния на несущие свойства и взаимодействие с элементами планера;

- определения зон волнового кризиса для своевременного принятия возможных мер по его смещению в область больших чисел Маха;

- визуализации течений для проектирования “по линиям тока”;

- определения мест расположения и геометрии входных и выхлопных устройств силовой установки с последующей их увязкой с элементами планера, с учётом локальных условий обтекания и взаимовлияния, в присутствии пограничного слоя, скачков уплотнения и выхлопной струи;

- определения мест расположения воздушных датчиков.

Процесс проектирования на этом этапе представляет собой *итерационный метод целенаправленного изменения формы*, с помощью систем автоматизированного проектирования, с цепочкой коротких связей, обуславливающих простоту и оперативность внесения изменений и возможность возвращения на предыдущий этап, в любой момент, в случае несоответствия полученных результатов заявленным требованиям.

Сходный подход к проектированию ЛА с определёнными, специфическими техническими требованиями, на стадии предварительного проектирования, изложен в работах [16, 17].

Основная роль компьютерных интегрированных технологий на этапе формирования облика объекта проектирования заключается в возможности проведения и упрощения процессов композиции-декомпозиции расчётных моделей для определения дифференциальных аэродинамических характеристик изолированных частей планера и интегральных АДХ ЛА, проведения необходимого и достаточного количества итераций предварительного проектирования, не приводящих к существенным материальным затратам.

Применение этих методов позволяет на ранней стадии выявить степень влияния тех или иных параметров на исследуемые характеристики и определить целесообразность различных путей исследования. В результате это позволяет сузить область возможных решений, свести до минимума количество переменных параметров и, как следствие, соответствующих итераций на следующем этапе проектирования.

Стадия технического предложения заканчивается:

- выпуском трёхмерных геометрических моделей альтернативных компоновок, из которых отбирается приемлемое количество (*k*) наиболее удачных с точки зрения АДХ, эксплуатационных, компоновочных, конструктивных, технологических соображений;

- формированием *технического предложения*;

- выпуском масштабной *экспериментальной модели*, с предусмотренной возможностью её модификации в конфигурации отобранных вариантов компоновок, для экспериментальных исследований в АДТ;

- проработкой рекомендаций по направлению дальнейших исследований.

В случае создания БЛА классов “мини” и “микро”, в особенности, проектируемых по хорошо поддающимся расчёту аэродинамическим схемам, стадия тех. предложения заканчивается подготовкой материалов для детального проектирования и конструирования моделей для натурных экспериментальных исследований.

Перед началом стадии эскизного проектирования, совместно с представителями заказчика, формулируется техническое задание (ТЗ).

1.2. Стадия эскизного проектирования

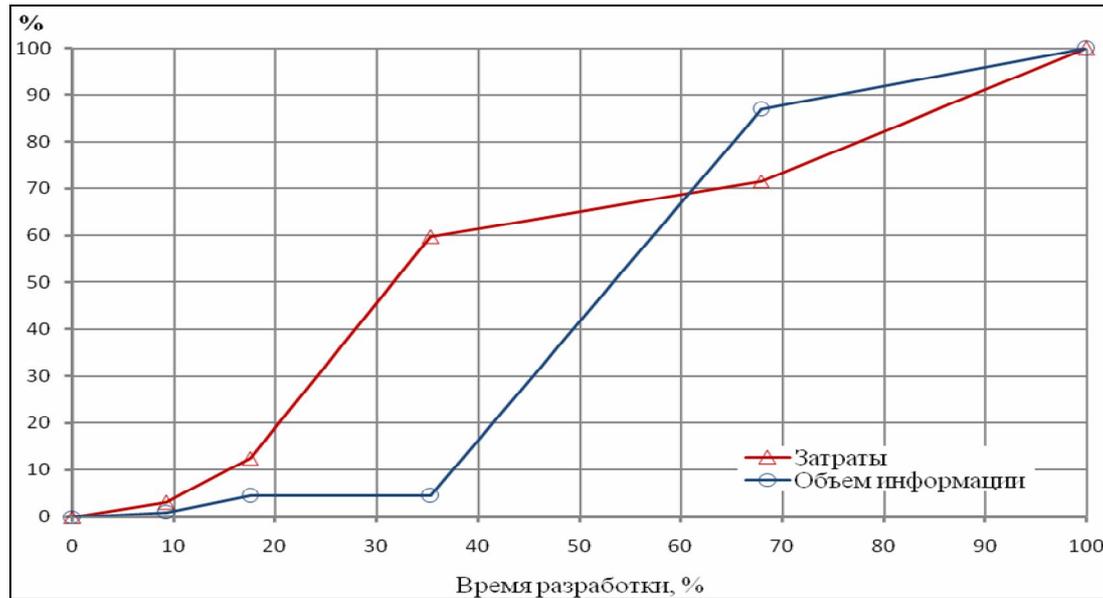
Стадия эскизного проектирования габаритных ЛА начинается с выявления соответствия и уточнения параметров, полученных на предыдущем этапе, *методами прикладной аэродинамики* при экспериментальных исследованиях на масштабных моделях в АДТ. Эти методы являются одними из наиболее ресурсоёмких и наиболее точных методов определения АДХ на этой стадии проектирования.

Для примера, при создании самолёта YF-16 (General Dynamics, США) были выполнены испытания в АДТ объёмом более 1200 часов и исследовано более 50 модификаций. Продолжительность продувок моделей самолёта F-117 (Lockheed, США) со-

ставила 1920 часов. На продувки моделей самолёта B-2 (Northrop Grumman, США), создание которого велось с широким применением компьютерных технологий, потребовалось 2400 часов. Аэродинамические исследования во время поиска геометрии, на основе которой были созданы самолёты МиГ-29 и Су-27 (Россия), потребовали около 60 тыс. часов продувок и относятся к созданию нескольких типов предшествующих летательных аппаратов.

Несмотря на необходимость значительных начальных вложений градиент затрат экспериментальных исследований по количеству итераций, необхо-

димых для получения одинакового объёма информации, на порядок ниже такового методов численного эксперимента [18]. На рис. 2 показан график зависимости затрат и объёма получаемой информации на протяжении 10-ти месяцев разработки, приведённой к количеству расчётных точек, обрабатываемых на разных этапах проектирования с использованием разных методов, выраженных в процентах (римскими цифрами указаны этапы разработки, в соответствии с блок-схемой, показанной на рис. 1). Условно график построен для случая последовательного распределения задач на этапах до начала производства.



Время разработки, %	Этапы разработки (см. рис. 1)	Применяемые методы проектирования
0 – 9	I	– аналитические методы расчёта
9 – 18	II	– предварительное проектирование с помощью численных и программных методов
18 – 35	III	– подготовка эксперимента в АДТ
35 – 68	IV	– экспериментальные исследования в АДТ
68 – 100	V	– детальное проектирование с помощью CFD/EFD

Рис. 2. Зависимость затрат и объёма получаемой информации на протяжении 10-ти месяцев разработки

На рис. 3 показан тот же график в сравнении с гипотетическим графиком (пунктирные линии) зависимости затрат по времени получения 100% объёма информации, но при использовании только численных методов эксперимента на котором явно проявляется рациональность комбинированного подхода.

По окончании этапа экспериментальных исследований в АДТ проводится *верификация расчётных моделей CFD/EFD*, выявляется влияние изменения формы ЛА на АДХ при переходе от масштабной экспериментальной модели к натурному изделию, проводится расчёт внутренней аэродинамики и деталей внешней аэродинамики, а также совместный расчёт внутренней и внешней аэродинамики устройств, которые невозможно было воспроизвести на моделях в АДТ. Используя *аналитические методы и САПР*, а также информацию о воздушных нагрузках, полученных при эксперименте в АДТ и посчи-

танных численными методами, проводится углубленное проектирование систем ЛА, поагрегатное проектирование конструкции. Создаются *модели САУ*. Производится *макетирование* изделия и отработка технологии производства.

Использование EFD приложений даёт возможность проведения сессий аэродинамического расчёта и последующего инженерного анализа, например, прочностного в одном файле изделия либо позволяет достаточно просто транспортировать значения воздушных нагрузок в файл прочностной расчётной модели.

Процесс создания ведётся при *последовательно-параллельном распределении задач* [20]. Применение компьютерных интегрированных технологий на этапе формирования облика, при наличии нескольких рабочих мест позволяет вести одновременно исследование нескольких *конфигураций*, распределять ресурсоёмкие вычисления между рабочими местами.

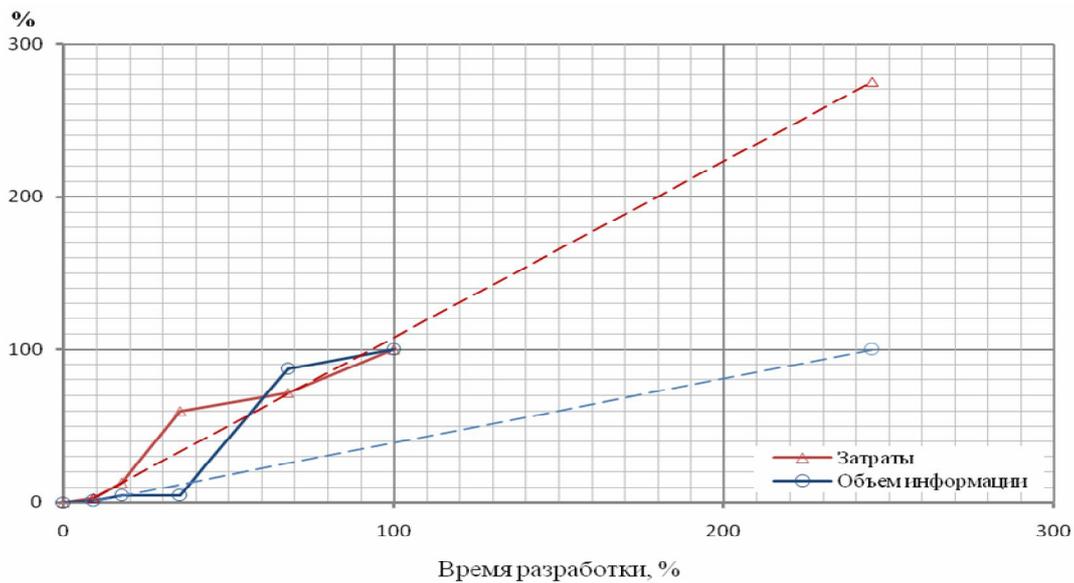


Рис. 3. Сравнение реальной и гипотетической (пунктирные линии) зависимостей затрат

Пополнение информационной базы данных об аэродинамических, конструктивных, эксплуатационных параметрах ЛА и его систем с определённого момента ведётся параллельно с изготовлением масштабных моделей. Исследования с помощью методов CFD/EFD не прекращаются на стадии физического эксперимента. При получении первых результатов эксперимента в АДТ происходит уточнение и дополнение расчётных моделей, подготовка исходных данных и создание расчётных моделей для прочностного анализа на этапе детального проектирования конструкции ЛА и его систем. При помощи программных средств инженерного анализа ведётся поитерационное определение ЛТХ, являющихся объективными критериями соответствия при сравнении вариантов компоновок. Все этапы проектирования сопровождаются проектировочными и поверочными инженерными расчётами. В большинстве случаев стадия эскизного проектирования совмещается с рабочим проектированием, т.е. проектирование деталей, узлов и агрегатов ЛА ведётся одновременно с процессом подготовки производства (проектированием и производством технологической оснастки).

Идентификация ЛА, как объекта управления, проводится при опережающих *испытаниях* на *свободнолетающих масштабных моделях* в АДТ, либо при *испытаниях свободнолетающих динамически подобных моделей (СДПМ)*.

При производстве БЛА небольших размеров, наиболее рациональным является использование СДПМ, выполненных в натуральную величину, т.к. при этом подготовка к лётному эксперименту может вестись параллельно с макетированием и отработкой технологии. Лётный эксперимент с использованием полноразмерных СДПМ позволяет получить достоверную информацию о динамических характеристиках БЛА, в том числе на характерных критических режимах, частотные характеристики системы пла-

нер+САУ, смоделировать аварийные ситуации и провести отладку средств обеспечения безопасности полётов и др., с целью уточнения и дополнения ЛТХ, отладки моделей САУ и отработки законов управления, а также позволяет решить вопросы, связанные с аэроупругостью реальной конструкции.

В завершении стадии эскизного проектирования в результате *натурных лётных испытаний* определяется соответствие характеристик ЛА ТЗ. Полученная база знаний о ЛА как о реальном объекте переводит процесс проектирования на качественно более высокий уровень. Проводятся необходимые *доработки* систем. На этом этапе существует вероятность возвращения к предыдущим этапам проектирования, но этот процесс носит избирательный характер и, в основном, затрагивает детальное проектирование с целью доводки и настройки систем. На этом этапе также выпускаются: *полный комплект конструкторско-технологической документации, опытные образцы изделия* для прочностных и лётных испытаний.

На следующих стадиях аэродинамическое проектирование представляет собой доводку ЛА на основе экспериментальной и опытной эксплуатации его образцов и выпуск предсерийных и серийных *модификаций*.

Наработанный при проектировании опыт является базой для поддержания жизненного цикла ЛА. Расчётные модели могут быть использованы при создании различных модификаций ЛА, для оценки изменений, привносимых в аэродинамическую компоновку в процессе эксплуатации, для различных вариантов применения и базирования (различные подвески, надстройки, обтекатели, варианты шасси и др.). При этом созданный ЛА рассматривается как *прототип*.

При правильном подходе к проектированию, с расчётом на перспективу, выгода от применения описанных технологий будет иметь долговременный эффект.

Заклучение

В ходе проектирования, учитывая разнообразие и сложность решаемых задач с помощью доступных методов расчёта и экспериментальных исследований, совместно с кафедрой "Аэродинамики" и кафедрой "Информационных технологий проектирования ЛА" Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» была инициирована работа по обобщению опыта разработок летательных аппаратов и оптимизации процесса аэродинамического проектирования и конструирования ЛА, а также разработки систем автоматического управления. Был разработан системный сценарий проектирования перспективного образца авиационной техники в процессе жизненного цикла разработки, в котором особое внимание было уделено решению проблем использования методов аэродинамического проектирования [21, 22]. Для получения рационального комбинирования применяемых методов проектирования с целью минимизации затрат и сокращения сроков необходимо определять целесообразность выполняемых объёмов работ по каждому из методов исходя из точности и степени влияния данной и получаемой информации на окончательный результат.

Применение подобных сценариев позволяет структуризировать, обосновывать и более точно определять предварительные расходы на НИОКР.

Проследить эффект от применения описанного подхода можно на следующих двух примерах, объединённых задачей решения широкого спектра вопросов, связанных с интерференцией.

В период с 1995 по 2004 г. во время аэродинамических исследований семейства БЛА повышенной динамической устойчивости с системой непосредственного управления подъёмной силой, нетрадиционной схемы "тандем" (НИИ ПФМ ХАИ) [23 – 25], предназначенных для полётов в турбулентных слоях атмосферы, создаваемых с использованием экспериментальных методов прикладной аэродинамики, было изготовлено 3 масштабные модели (рис. 4, 5). В общей сложности, в течение 18 месяцев с учётом времени подготовки экспериментов было исследовано 15 модификаций моделей и аэродинамической компоновки ЛА.



Рис. 4. БЛА «Поиск 2»



Рис. 5. Продувочная модель БЛА «Пчёлка К» в аэродинамической трубе АТ-4 ХАИ

Определялись дифференциальные характеристики и взаимовлияние крыльев различного размаха с разными профилями и взаимным расположением, исследовалось влияние концевых элементов. Было исследовано несколько форм фюзеляжей, в том числе с разной длиной и формой носовой части, с мотогондолами и без них, с различными компоновками оперения и др. Было исследовано более 130 конфигураций с различными углами установки крыльев и комбинациями отклонения рулевых поверхностей, было получено более 160 поляр.

В настоящее время, в инициативном порядке, проводится апробация описанного подхода при разработке экспериментального БЛА (ADCOM Systems, рис. 6), создаваемого по принципу газодинамического единства планера и силовой установки, предназначенного для полётов в большом скоростном диапазоне и скоростного маневрирования.



Рис. 6. Экспериментальный БЛА ADCOM Systems

Сценарий проектирования адаптирован для исследования компоновок оперения и силовой установки на ЛА интегральной схемы с несущим фюзеляжем, в условиях переменной центровки, определение которой осложнено нелинейностью аэродинамических характеристик, вследствие интенсивной интерференции несущей системы крыло + фюзеляж

с горизонтальным и вертикальным оперением. При этом, с учётом предыдущих наработок, при опережающих исследованиях с помощью численных методов в течение месяца было выполнено около 20 продувок и исследованы две компоновки ЛА с тремя типами входных устройств, была исследована вихревая система обтекания в результате чего было подтверждено положительное влияние несущей системы на работу ВУ на взлётных режимах и при маневрировании, был выбран тип и компоновка ВУ и предварительно определена компоновка оперения. Впоследствии на одной масштабной модели (рис. 7) в АДТ было исследовано 5 модификаций модели и компоновок оперения, 37 конфигураций с различными углами установки крыла и дифференциально отклоняемого стабилизатора и получено 86 поляр.



Рис. 7. Продувочная модель БЛА в аэродинамической трубе АТ-4 ХАИ

Этап аэродинамических исследований в АДТ с учётом времени постановки и подготовки эксперимента занял около 5-ти месяцев. Входное устройство, относясь к элементам внутренней аэродинамики и являясь самостоятельным элементом аэродинамического проектирования профилировалось с использованием численных методов.

При проектировании ВУ и проточного тракта в течение 3-х месяцев было проведено еще 46 продувок. Взаимное влияние несущей системы и ВУ потребовало решения совместной задачи внешней и внутренней аэродинамики, которая представлялась затруднительной при использовании только прикладных методов и технически, и методологически, вследствие масштабного эффекта.

Методы физического эксперимента продолжают играть существенную роль в создании авиационной техники, т.к. они дают наиболее полное и достоверное представление об исследуемых явлениях.

В настоящее время ведётся разработка методики комплексного определения газодинамических параметров ЛА и его систем с использованием методов прикладной аэродинамики, пакетов прикладных программ численного моделирования, и её внедрение в технологический цикл проектирования.

При настоящем уровне развития вычислительной техники и интегрированных компьютерных технологий опережающие экспериментальные исследования с помощью методов численного моделирования позволяют оценить возможность и определить область существования разрабатываемой авиационной техники на концептуальном уровне при разработке тех. предложения и тех. задания, а также:

- свести к приемлемому минимуму количество масштабных моделей и их конфигураций;
- свести к минимуму вероятности возникновения существенных несоответствий АДХ техническому заданию в ходе экспериментальных исследований в АДТ;
- предоставляют возможности лучше понять исследуемые процессы и получать более прогнозируемые результаты в ходе модификации моделей;
- выработать пути и стратегию оптимизации для каждого конкретного случая.

Это позволяет более рационально расходовать ресурсы во время подготовки наиболее ресурсоёмкой стадии предварительного проектирования – к исследованиям в АДТ и испытаниям на масштабных моделях и снизить затраты за счёт сокращения программы исследований.

Список литературы

1. Архипов, А. Где вы, самолёты пятого поколения? [Текст] / А. Архипов. – М.: "Крылья Родины", 2003. – № 11 (639). – С. 4-10.
2. Егер, С.М. Основы автоматизированного проектирования самолётов [Текст] / С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
3. Ванин, И.В. Разработка компьютерных моделей базовой геометрии самолёта с использованием современных информационных технологий [Текст] / И.В. Ванин, Г.А. Вирченко, Я.И. Ткачевский // АНТК им. Антонова / Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2009. – С. 82-86.
4. Гребеников, А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолётных конструкций [Текст] / А.Г. Гребеников // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2006. – 532 с.
5. Компьютерное моделирование летательного аппарата многофункционального беспилотного авиационного комплекса гражданского назначения [Текст] / В.Д. Белый, А.К. Мялица, А.Г. Гребеников, В.О. Черановский [и др.] // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2001. – Вып. 25. – С. 88-100.
6. Кюхеман, Д. Аэродинамическое проектирование самолётов [Текст] / перевод с английского Н.А. Благовещенского, Г.И. Майкапара / под ред. Г.И. Майкапара. – М.: Машиностроение, 1983. – 657 с.
7. Остославский, Н.В. Аэродинамический расчёт самолётов [Текст] / Н.В. Остославский, В.М. Титов / под ред. А.Н. Журавченко. – М.: Московский авиационный институт им. Серго Орджоникидзе, 1938. – 485 с.
8. Краснов, Н.Ф. Аэродинамика. Том 2. Методы аэродинамического расчёта. [Текст] / Н.Ф. Краснов. – 1980. – 416 с.

9. Проектирование самолётов: учебник для вузов [Текст] / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.

10. Поликовский, В.И. Самолётные силовые установки [Текст] / В.И. Поликовский. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1952. – 600 с.

11. Справочник авиаконструктора. Т. 1. Аэродинамика самолёта [Текст] / Под ред. А.К. Мартынова. – М.: ЦАГИ, 1937. – 512 с.

12. Применение метода дискретных вихрей при моделировании полёта беспилотного летательного аппарата с воздушным винтом [Текст] / Ю.А. Богданов, А.В. Смоляков, В.О. Черановский, В.А. Янакаев // Аэрогидродинамика и аэроакустика: проблемы и перспективы: сб. научн. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – Х., 2009. – Вып. 3. – С. 33-37.

13. SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов [и др.] – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.

14. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Учебное пособие [Текст] / Т.В. Кондранин, Б.К. Ткаченко, М.В. Безруковиче [и др.]. – М.: МФТИ, 2005. – 104 с.

15. Печенюк, А.В. Численное моделирование обтекания крыла конечного размаха с аэродинамическим профилем NASA-2406 потоком несжимаемой жидкости при малых числах Маха [Электронный ресурс] / А.В. Печенюк. – ООО "Digital Marine Technology". – Режим доступа: andrew@digitalmarine.net.

16. Hall, C.A. Engine And Installation Configurations For A Silent Aircraft [Текст] / C.A. Hall, D. Crichton. – Cambridge University Engineering Department, ISABE-2005-1164, 2005.

17. Hileman, J.I. Aerodynamic and Aeroacoustic Three-Dimensional Design for a "Silent" Aircraft [Текст] / J.I. Hileman, Z.S. Spakovszky, M. Drela // Gas Turbine Laboratory, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139 / M.A. Sargeant – Cambridge University Engineering Department / AIAA 2006-241, 2006.

18. Tinoco, E.N. The Impact of CFD in Aircraft Design [Текст] / E.N. Tinoco // Canadian Aeronautics and Space Journal (Boeing), – Sept., 1998. – С. 132-144.

19. Курсаков, И.А. Численное моделирование обтекания моделей пассажирских самолётов в условиях ограниченного пространства и влияния элементов конструкции аэродинамической трубы: автореф. дис. ... канд.

техн. наук: 05.07.01 [Текст] / Курсаков Иннокентий Александрович. – Жуковский: ЦАГИ, 2011. – 20 с.

20. Гайдабрус, Б.В. Параллельный инжиниринг как идеология управления жизненным циклом изделия [Текст] / Б.В. Гайдабрус, Е.А. Дружинин // Тези доповідей Міжн. НТК «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки». – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 21 – 22 апреля, 2010.

21. Чмовж, В.В. Оптимизация процесса проектирования при рациональном комбинировании методов определения параметров ЛА [Текст] / В.В. Чмовж, Е.А. Дружинин, А.В. Корнев, Ю.В. Гирька // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки». – Х.: Нац. аэрокосм. университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 21 – 22 апреля, 2010.

22. Корнев, А.В. Оптимизация методологического сценария проектирования нового образца беспилотной авиационной техники на стадиях технического предложения и эскизного проекта [Текст] / А.В. Корнев, В.В. Чмовж, А. М. Альдаххери // Тези доповідей 10 НТК «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах». – Феодосия: ГНИЦВСУ, 2 – 3 сентября, 2010.

23. Летательные аппараты НИИ ПФМ ХАИ [Текст] / С.А. Бычков, Л.А. Малащенко, В.Н. Кобрин [и др.] // Они покоряли небо / под ред. В.С. Кривоцова, М.Н. Федотова. – Х.: Нац. аэрокосм. университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2005. – С. 309-335.

24. Многофункциональная трансформируемая авиационная платформа гражданского назначения [Текст] / А.Г. Гребенников, В.Д. Белый, В.П. Максимов, А.В. Корнев [и др.] // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2004. – Вып. 39(4). – С. 49-55.

25. Концепция создания авиационного беспилотного комплекса [Текст] / В.С. Кривоцов, А.Г. Гребенников, В.Д. Белый, А.В. Корнев [и др.] // Сб. науч. тр. "Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии". – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2007. – Вып. 35. – С. 5-12.

Поступила в редколлегию 30.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ АЕРОДИНАМІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ПРОЦЕСІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ РОЗРОБКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВІДБИТТЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Є.Д. Дружинін, В.В. Чмовж, О.В. Корнєв

Розглянуті області застосування різних методів проектування, шляхи підвищення технологічності перевірених методів проектування в комплексі з обчислювальними технологіями, що розвиваються. Розглянуто алгоритм поетапного їх застосування на різних стадіях розробки, спрямований на отримання найбільш ефективного вкладу від кожного з методів, в якому особлива увага була приділена вирішенню проблем використання методів аеродинамічного проектування.

Ключові слова: НДОКР, оптимальне проектування, методи проектування, чисельний експеримент, фізичний експеримент, технічне пропонування, ескізний проект.

APPLICATION OF AERODYNAMIC DESIGN METHODS WHILE LIFE CYCLE IMPLEMENTATION FOR ADVANCED AERONAUTICAL ENGINEERING DEVELOPMENT

E.D. Druzhinin, V.V. Chmovzh, A.V. Kornev

The work considered application fields of various design methods, improvement of production effectiveness of attested design methods alongside with developing computing technologies. The algorithm of their gradual application on various development stages has been elaborated to achieve the most effective output from each method. A special attention have spared for solving problems of application of aerodynamic design methods.

Keywords: R&D, optimal design, design methods, computational experiment, physical experiment, preliminary design, design stage.