

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

Серебрянский С.А.¹, Барабанов А.В.¹

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

¹ s-s-alex@mail.ru ²barabanovav@outlook.com

Аннотация. В данной статье рассмотрен способ управления жизненным циклом изделия авиационной техники за счет оптимизации этапов внутреннего проектирования воздушных судов и минимизации рисков принятия ключевых технических решений на ранних этапах реализации проекта. В качестве примера такой оптимизации выбран процесс проектирования носовой части сверхзвукового самолета. На этом примере наглядно показаны возможности существенного сокращения сроков и рисков за счет разработки и внедрения комплексной методики проектирования по комплексному критерию верхнего уровня. Внедрение подхода к проектированию авиационной техники, описанного в текущей работе, во все направления разработки воздушных судов позволит сократить циклы проектирования принципиально новых изделий, существенно повысить точность прогнозирования результатов испытаний, и как следствие минимизировать риски срыва сроков проведения государственных испытаний.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия; оптимизация; проектные параметры; испытания; минимизация рисков; методика; комплексный критерий; алгоритм.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире технологии, окружающие нас во всех сферах жизнедеятельности, развиваются настолько быстро, что для занятия лидерских позиций отрасли необходимо не только максимально сокращать этапы разработки новых образцов техники, но и минимизировать риски при внедрении принципиально новых технических решений. Данный тренд наблюдается и при разработке авиационной техники военного и гражданского назначения. Основным требованием заказчика к новым образцам авиационной техники в настоящий момент является получение в кратчайшие сроки (5-7 лет) серийных самолетов, обладающих принципиально новым уровнем характеристик, подтвержденных в ходе Государственных Совместных Испытаний (ГСИ). При этом сроки проведения ОКР истребителя завоевания господства в воздухе 5-го поколения F-22 и ударного авиационного комплекса 5-го поколения F-35 по информации из открытых источников составляют порядка 10-15 лет.

Ключевыми особенностями самолетов нового поколения является увеличение скорости полета (до 3-х и более чисел Маха), многофункциональность, низкий уровень радиолокационной заметности, применение новейшего вооружения.

1 ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В рамках жизненного цикла самолет как изделие проходит следующие стадии (gates) (рис. 1):



Рис. 1. Жизненный цикл изделия авиационной техники

Как видно из рисунка 1 каждая из стадий подразделяется на этапы внешнего и внутреннего проектирования. В рамках этапов внешнего проектирования на основе анализа общей тактической

обстановки и авиационной группировки ВКС определяются основные требования к новому проекту самолета и формируется тактико-техническое задание (ТТЗ).

Остановимся подробнее на этапах внутреннего проектирования, так как именно они являются предметом анализа текущей работы. Основными этапами внутреннего проектирования, которые определяют основные применяемые технические решения являются инженерная записка и эскизно-технический проект, на данных этапах к разработке проекта подключено минимально необходимое число специалистов проектной организации, изготавливается минимальное число элементарных или конструктивно-подобных образцов конструкции и систем, служащих для отработки технических решений, не производится полноценных образцов авиационной техники, не строится полномасштабных стендов; следствием этого является минимизация затрат при максимизации технических решений. По завершению данных этапов утверждается конфигурация воздушного судна, учитывающая все риски реализации программы и проект переходит на стадию подготовки производства опытных образцов, включающую выпуск РКД, разработку программы проведения испытаний, получения заключений методического совета и запуск производства экспериментальных летных образцов АТ (при этом количество определяется методикой и объемом проведения летных испытаний). Обобщить вышесказанное можно построив график зависимости числа принимаемых технических решений и затрат из бюджета проекта от времени реализации проекта (рис. 2):

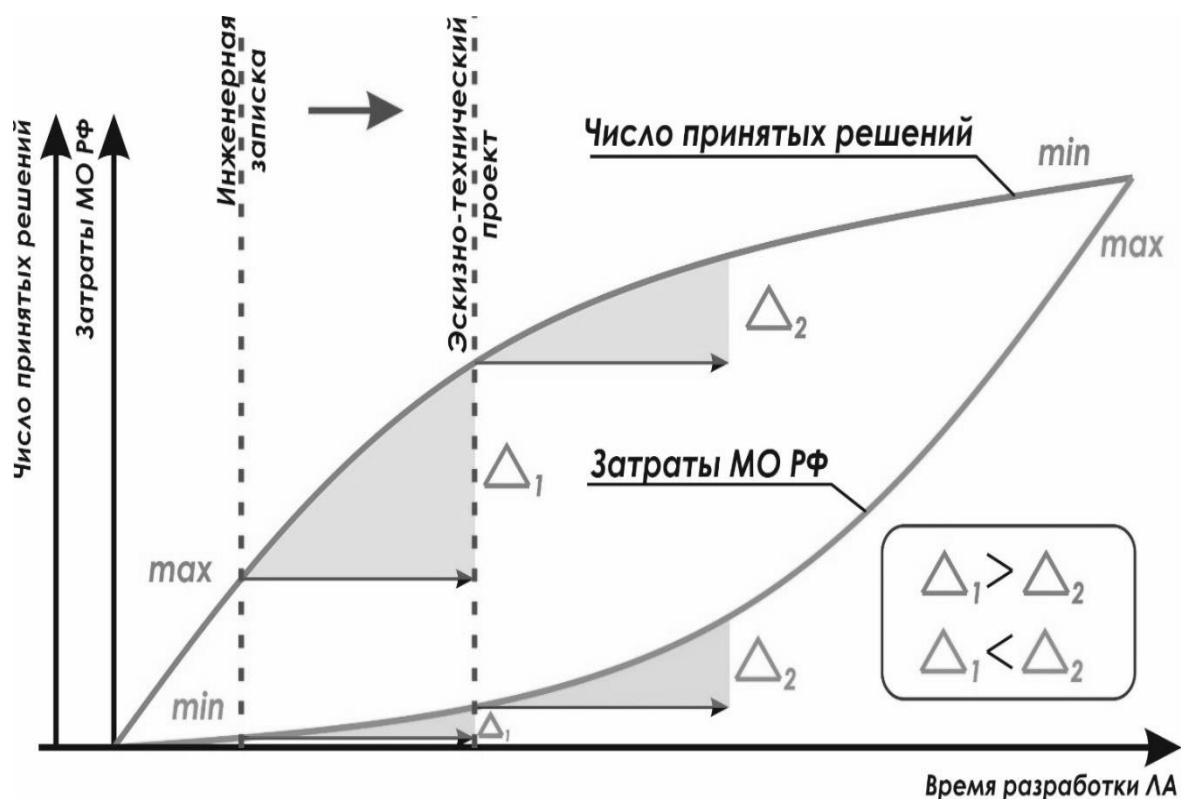


Рис. 2. Принятые технические решения и экономические затраты на этапах реализации проекта

Таким образом этапы завязки проекта являются самыми эффективными с точки зрения стоимости и числа принимаемых технических решений:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_i^{\text{затраты}} \\ \Delta_i^{\text{время}} \end{array} \right\} \rightarrow \min(\text{opt})$$

Однако данные этапы являются имеют наибольшие технические риски, а ошибки в принятых технических решениях могут стать роковыми для дальнейшей судьбы проекта.

Чтобы наглядно иллюстрировать технические риски рассмотрим алгоритм формирования носовой части самолета, который состоит из следующих последовательных этапов (рис. 3):



Рис. 3. Алгоритм формирования носовой части самолета.

После завершения этапа формирования теоретических обводов носовой части самолета необходимо убедиться, что форма носового радиопрозрачного обтекателя антенны радиолокационной станции соответствует требованиям к радиотехническим и аэродинамическим характеристикам. Причем радиотехнические характеристики обтекателя в дальнейшем определяют дальность обнаружения целей локатором, а аэродинамические характеристики определяют максимальную скорость полета.

Таким образом, такая, казалось бы, незначительная вещь, как форма носовой части самолета может определять его ключевые характеристики боевого применения. Причем форма носовой части минимального сопротивления и форма максимальной радиопрозрачности вещи несовместимы, так как наилучшими РТХ обладают как правило обтекатели малого удлинения (отношения квадрата длины обтекателя к площади начального поперечного сечения), такая форма позволяет обеспечить равномерность распределения углов падения фронта электромагнитной волны на поверхность стенки обтекателя, наилучшими АДХ же напротив обладают тела с максимальным удлинением, это позволяет существенно снизить сопротивление на сверхзвуковых скоростях полета, см. Рис. 4:

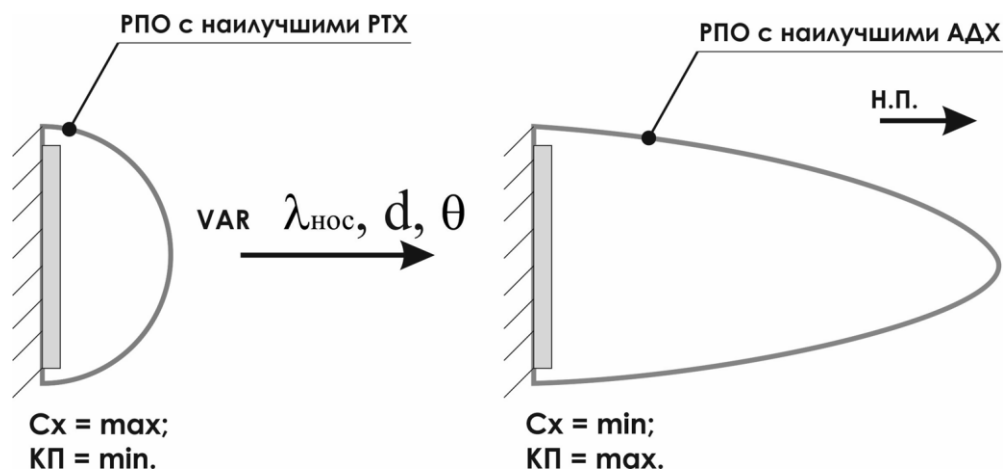


Рис. 4. Сравнение форм носовой части самолета.

Из рисунка 4 можно сделать вывод, что итоговая форма обтекателя будет компромиссным решением, находящимся между двух изображенных на рисунке. При этом неправильно выбранная

форма на данном этапе может привести к необходимости повтора целого цикла летных испытаний в случае ее изменения после постройки опытных натуральных образцов (этапов опытного производства и летных испытаний).

2 ОПТИМИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Выполнения требований заказчика, о которых говорится в разделе «Введение» данной работы можно добиться лишь оптимизацией цикла разработки авиационной техники. Для этого необходимо подробно проанализировать каждый из этапов проектирования и разработать комплексные методики выбора рациональных проектных параметров для конкретных элементов.

Рассмотрим возможность такой оптимизации на примере уже упомянутой носовой части самолета и в частности на примере носового радиопрозрачного обтекателя (РПО). В настоящий момент типовой алгоритм проектирования РПО выглядит следующим образом (Рис. 5):



Рис. 5. Существующий типовой алгоритм проектирования РПО

На основании рисунка 5 можно сделать вывод, что в настоящее время сроки проектирования принципиально нового радиопрозрачного обтекателя для сверхзвукового самолета при использовании данного алгоритма могут достигать 1-3 лет, привлекается несколько смежных конструкторских подразделений (отдел проектов, отдел аэродинамики, отдел антенных устройств, отдел каркаса), каждое из которых имеет свои допущения при выборе тех или иных параметров системы антенна-обтекатель.

Учитывая требования государственного заказчика по сокращению сроков ОКР перспективных образцов авиационной техники данные циклы проектных работ и существующие риски, вызванные высоким числом проектных допущений и гипотез, неприемлемы, а учитывая вероятность получения неудовлетворительных результатов испытаний опытного обтекателя и как следствие повторения всего цикла работ, могут и вовсе привести к срыву сроков проведения государственных испытаний проекта.

Для оптимизации данного алгоритма необходимо:

Во-первых, в соответствии с [1] выбрать комплексный критерий оценки характеристик радиопрозрачного обтекателя БРЛС сверхзвукового самолета, как с точки зрения радиолокации, так и с точки зрения аэродинамики.

Во-вторых, выработать алгоритм проведения исследования, в рамках которого установить взаимосвязь между геометрическими характеристиками РПУ и его аэродинамическими и радиотехническими.

В-третьих, проанализировав результаты исследований сформировать технические рекомендации по выбору рациональных геометрических параметров в зависимости от технического задания на проектирование самолета.

В качестве комплексного критерия верхнего уровня (1), проанализировав научно-технический задел в области исследования радиотехнических характеристик (РТХ) [2] и аэродинамических характеристик (АДХ) [3], [4], [5], можно принять отношение критерия первого уровня аэродинамических характеристик к критерию первого уровня радиотехнических характеристик:

$$X^* = \text{ArgMax} \left(\frac{\text{ArgMax}(PTX)}{\text{ArgMin}(ADX)} \right)$$

При этом выберем в качестве критерия первого уровня для РТХ обтекателя его коэффициент пропускания (КП) – безразмерную величину, равную отношению потока излучения, прошедшего через среду (обтекатель) к потоку излучения, упавшему на ее поверхность. В качестве критерия первого уровня для АДХ выберем его коэффициент лобового сопротивления (C_x) – безразмерную величину, отражающую то, как тело (обтекатель) реагирует со средой (воздухом). Данный критерий не только отражает величину лобового сопротивления элемента самолета, но и оказывает существенное влияние на его аэродинамическое качество. Выбранный критерий верхнего уровня назовем аэродинамическим коэффициентом пропускания радиопрозрачного обтекателя.

Используя данный критерий необходимо провести исследование возможных геометрических параметров (удлинения, угла наклона касательной к образующей, дискриминанта кривой образующей) носового обтекателя и определить их рациональные значения для выполнения требований текущего ТТЗ в части дальности обнаружения целей БРЛС и максимальной скорости полета самолета.

Для проведения исследования воспользуемся следующим алгоритмом (Рис. 6):



Рис. 6. Алгоритм выбора рациональных геометрических параметров РПУ

Методика выбора рациональных геометрических параметров РПО, разработанная на основе вышеуказанного алгоритма позволит исключить ряд этапов проектирования РПО, указанных в схеме на рис. 5. Учитывая это, скорректируем алгоритм проектирования РПО (рис. 7):

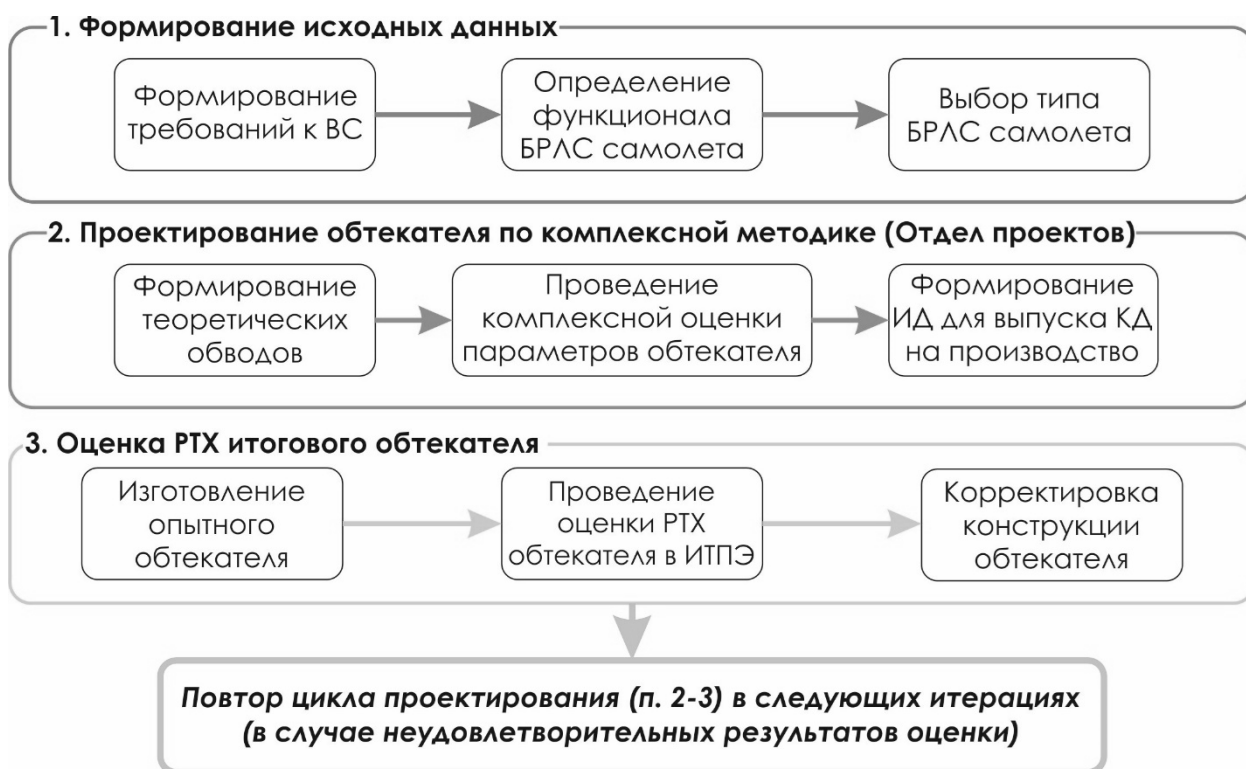


Рис. 7. Скорректированный за счет комплексной методике алгоритм разработки РПО

Таким образом, разработка комплексной методике проектирования радиопрозрачных обтекателей, учитывающей требования к АДХ и РТХ обтекателей, позволит локализовать процесс проектирования обтекателя на ранних этапах увязки самолета в проектных подразделениях организации. Применение разрабатываемой методике позволит сократить цикл проектирования обтекателей для БРЛС перспективных самолетов, своевременная валидация данной методике позволит также сократить общее потребное число натурных образцов обтекателей, что существенно сократит сроки и стоимость разработки РПО.

ВЫВОД

На основании материалов, представленных в данной работе можно сделать основной вывод, что оптимизация жизненного цикла образца авиационной техники возможна за счет оптимизации жизненного цикла его отдельных элементов. Рассмотренный пример оптимизации жизненного цикла радиопрозрачного обтекателя наглядно иллюстрирует, что формирование комплексных методик для проектирования каждой из составных частей самолета приводит не только к сокращению сроков разработки новейших образцов авиационной техники, но и минимизирует технические риски при принятии комплексных решений на ранних этапах жизненного цикла изделия.

В свою очередь сокращение цикла разработки и минимизация рисков существенно сокращает жизненный цикл изделия в целом и как следствие, не только минимизирует затраты на процесс проектирования, но и снижает возможные затраты из бюджета проектов, направленные на исправление ошибок разработчика, которые были допущены на ранних стадиях жизненного цикла изделия и привели к невыполнению требований ТЗ.

Проведение подобной многокритериальной оптимизации во всех отраслях промышленности для всех типов изделий позволит в минимальные сроки совершить новый скачок в области машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С., «Исследование операций», 2-е изд., М.: Наука, 1988 г.

2. *Карлун В.А.*, Обтекатели антенн СВЧ (Радиотехнический расчет и проектирование). М., «Сов. Радио», 1974 [V.A. Karlun, «Radar domes» (in Russian), Moscow: Sov. Radio, 1974];
3. *Артамонова Л.Г., Кузнецов А.В., Песецкая Н.Н.*, «Поверочный расчет аэродинамических характеристик самолета», МАИ, 2010 г.
4. *Бюшгенс Г.С.*, «Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов», изд. ЦАГИ, 1995 г. [G.S. Byushgens, «Aerodynamics and flight dynamics of trunk aircraft» (in Russian), TSAGI, 1995];
5. *Бюшгенс Г.С.*, «Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов», Физматлит, 1998 г. [G.S. Byushgens, «Aerodynamics, stability and control of supersonic aircraft» (in Russian), Phismatlit, 1998].