

УДК 629.7.01

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ В АВИАСТРОЕНИИ

В.М. Коноплева

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская обл., г. Жуковский, Жуковского ул., 1
E-mail: viktoria.konopleva@tsagi.ru

Е.Б. Скворцов

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская обл., г. Жуковский, Жуковского ул., 1
E-mail: skvortsov-tsagi@yandex.ru

А.С. Шелехова

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Московская обл., г. Жуковский, Жуковского ул., 1
E-mail: anna.shelekhova@tsagi.ru

Ключевые слова: методология концептуального проектирования, жизненный цикл, неопределенности научного проекта

Аннотация: Современные условия характеризуются повышением сложности продукции. Однако решения о перспективных образцах авиационной техники все еще принимаются влиятельными разработчиками без научного обоснования. При этом отсутствие стратегического планирования, а также системного подхода могут привести к разработке летательного аппарата (ЛА), который не будет иметь коммерческий или военный успех. Для принятия обоснованных решений о создании перспективных ЛА разработана методология концептуального проектирования, позволяющая последовательно устранять неопределенности новых проектов создания изделий авиационной техники.

Процесс концептуального проектирования в настоящей работе рассматривается как последовательность различных по содержанию этапов (рис. 1), разделяемых точками принятия управленческих решений. Каждому из этапов свойственно наличие тех или иных неопределенностей, которые должны быть устранены при переходе на следующий этап. Рассмотрим данный цикл концептуального проектирования подробнее.

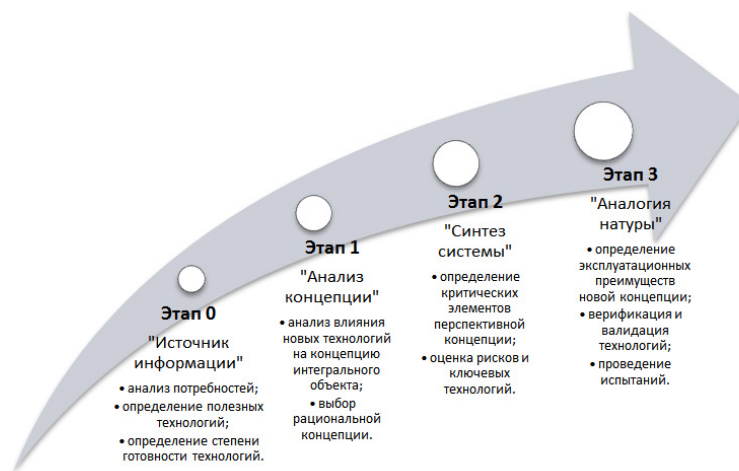


Рис. 1. Этапы концептуального проектирования.

В начальный момент исследования область поиска новой концепции безгранична и неопределенна, а вероятность отыскания правильного решения ничтожно мала. Любой проект, предложенный в этот момент, не может быть поддержан лицами, принимающими решение, если они не будут уверены в его эффективности и технической реализуемости.

Основная цель Этапа 0 – это обоснование целесообразности запуска новой программы и ее инвестиционной привлекательности. Для этого проводится ряд действий:

- получение маркетингового обоснования существования «рыночного окна» для изделия программы;
- идентификация недостатков существующей системы;
- мониторинг новых технологий.

Поскольку разработка системы следующего поколения или даже масштабная модернизация существующей системы, вероятно, окажется технически сложным предприятием и потребует значительного времени, то исследование должно ориентироваться на условия, которые сложатся в будущем. Это означает, что необходимо постоянно прогнозировать условия эксплуатации системы и пересматривать оценку ее будущей эффективности.

Проектное задание должно включать определенные требования к объекту в виде связей и ограничений, наложенных на целевые индикаторы, а сама цель может интерпретироваться как потребная (планируемая) система нормированных показателей объекта [1]. Тогда проектная деятельность будет направлена на то, чтобы конвертировать в проектируемый объект систему требований по множествам условий воздействия среды обитания, используемых ресурсов и ожидаемых полезных эффектов.

На Этапе 0 составляется база знаний, создающая потенциал полезного взаимодействия со средой обитания объекта, и которая является комплексным множеством, включающим реальные факты и правила из прошлого опыта и мнимые гипотезы, вызванные новизной стоящих задач.

К рискам, характерным для этого этапа, следует отнести неполноту информационного обеспечения, разрозненность фактических данных, возникновение мнимой информации в результате творческих усилий по решению уникальных задач проекта. Методом исключения части рисков и ограничения их влияния на результаты дальнейшего проектирования является разработка и использование правил, обобщающих известные факты, превращая общую для них закономерность в универсальную рекомендацию для разработки других проектных решений с аналогичными полезными свойствами, но в

ином техническом исполнении. Это обеспечивает бóльшую свободу выбора проектных решений и позволяет избежать их противоречивости в составе единой концепции проекта.

В результате устраняется неопределенность в описании возможностей и ожидаемой эксплуатационной эффективности, которыми должна обладать новая система. Однако на следующем этапе необходимо понять, каким способом удовлетворить заданные требования.

Этап 1 предназначен для выбора рациональной концепции из числа возможных. [2] Он включает следующую последовательность действий:

- определение значимых для проекта факторов концепции;
- формирование проектных признаков на основе базы знаний (прототипы);
- планирование полнофакторного эксперимента;
- формирование альтернативных вариантов концепции;
- сравнение расчетных вариантов концепции самолета;
- выбор оптимального варианта по критериям целевой системы.

При этом выбор концепции не эквивалентен выбору системы. В рамках одной концепции реализация ЛА может быть представлена несколькими системами.

На Этапе 1 анализируются различные комбинации из предложенных принципов (технологий), которые позволяют сформировать ряд возможных концепций изделия в целом (рис. 2). Характеристики вариантов оцениваются и сравниваются, из них выбираются наиболее эффективные.

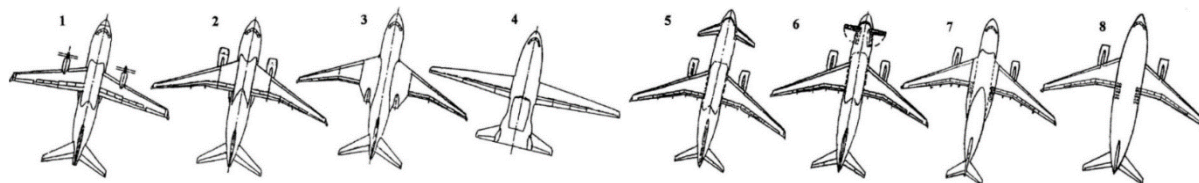


Рис. 2. Планирование эксперимента на Этапе 1.

Основными техническими рисками данного этапа являются формирование недостаточного числа вариантов и выбор неправильной концепции. Поскольку каждая из альтернативных концепций (а это проектные эксперименты) является неповторяющимся соединением состояний в ряду возможных, то указанный выше риск может быть снижен с помощью полнофакторного плана эксперимента 2^n для построения Парето-оптимальной траектории поиска наилучшей концепции, который обеспечивает 100%-ю информированность проектанта. [3]

В результате решения оптимизационной задачи, для которой используется метод прямого поиска, определяется идейная основа концепции – сочетание тех принципов, на которых следует моделировать будущее изделие.

При этом самолет (или другой ЛА) является сложной системой, в которую входят разные технические подсистемы (рис. 3). Специалисты по аэродинамике, системам управления и конструкции оптимизируют технические параметры в рамках своей подсистемы. Однако проблема выбора глобальной оптимальной системы при концептуальном проектировании требует согласованных технических решений.

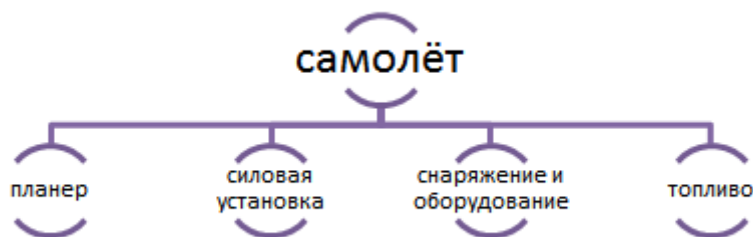


Рис. 3. Подсистемы самолета.

Для решения специализированных задач необходимо выделить из глобальной среды локальную и построить связанную систему из уравнений, описывающих динамику подсистемы. При формировании локальных моделей неизбежно возникает вопрос об их чувствительности к оптимизируемым параметрам. При этом отдельного рассмотрения требует формирование функций отклика, устанавливающих естественную функциональную реакцию модели на возмущения внешнего управляющего сигнала.

При постановке задачи проектирования глобальная модель системы не считается заранее известной. Однако сформулирована общая цель, а также концепция объекта. Тогда глобальной моделью суперсистемы, адекватной ее цели, будет совокупность взаимодействующих субмоделей, включая центральную модель высшего уровня и решающего – нижнего.

Для того чтобы комплекс моделей был интерпретирован как единое целое, необходимо исследовать условия согласования локальных решений на различных уровнях управления, а также изучить проблемы взаимосвязи между специализированными моделями.

Задача согласования решающих элементов нижнего уровня заключается в отыскании оптимального согласующего управления. Для гармоничного объединения субсистем в единое целое необходима детальная информация об эффективности всех элементов концепции.

Управление проектом на следующих этапах требует иметь оценку достоверности данных об этих технологиях. Часть информации, не имеющая подтверждения в действительности, порождает на данном этапе неопределенность в оценке концептуальных элементов и характеристик. Необходимо знать степень этой неопределенности, чтобы сделать возможной верификацию проекта.

Таким образом, на Этапе 2 необходимо выявить факторы (критические технологии), положенные в основу выбранной концепции (рис. 4) и при этом оказывающие определяющее влияние или недостаточно изученные, и сформировать направления специальных исследований, от которых зависит доказательство технической реализуемости изделия в целом. [1]



Рис. 4. Ключевые элементы в расчетной концепции самолета.

При этом данные факторы можно считать случайными величинами с заданными законами распределения (определяются экспертно), поэтому оценка степени влияния сводится к определению вероятностных характеристик выходных величин согласующего параметра. Для решения этой задачи используется, в частности, метод Монте-Карло.

В результате Этапа 2 устраняется неопределенность в конфигурации системы, однако сохраняется вопрос о влиянии среды на разработанный объект и его технической реализуемости. Устранить этот риск расчетными исследованиями в большинстве случаев невозможно, поскольку они не избавляют от мнимого характера экспертных оценок. Необходима валидация критических характеристик. Таким образом, дальнейшие исследования должны быть направлены на уменьшение рисков обеспечения технической реализуемости и эффективности разрабатываемой концепции и ее технологий.

В связи с этим Этап 3 посвящается экспериментальным исследованиям (рис. 5) ключевых элементов (физическим, стендовым, имитационным), которые в лабораторных условиях дают первые доказательства их технической реализуемости, наличия эксплуатационных преимуществ и позволяют предварительно установить соответствие характеристик требованиям к изделию. Существует множество лабораторных средств, которые позволяют оценить особенности концепции объекта (способы, формы, устройства) при его взаимодействии с физической, химической или иной средой. В результате можно получить представление о квазидействительных характеристиках и сравнить их с требованиями к объекту.



Рис. 5. Валидация технологий. Экспериментальные исследования модели самолета в аэродинамической трубе.

Дальнейшие этапы разработки ЛА требуют конструирования, изготовления и эксплуатации реальных образцов авиатехники, что составляет компетенцию промышленных предприятий.

Заключение

Представленные материалы посвящены краткому изложению методологии концептуального проектирования, каждому этапу которого присущи свои неопределенности и риски, связанные с уникальностью объекта. Для успешной разработки концептуального проекта необходимо их выявить, оценить и устранить. Практическое решение этой задачи требует методического обеспечения управления научно-технологическим проектом на всех этапах жизненного цикла, каждый из которых осуществим при условии, что нужная для его начала информация получена на предыдущем этапе.

Научный подход к теории концептуального проектирования сформирован, прежде всего, в связи с логикой известных теорий – теории систем и теории множеств.

Результаты исследования используются для практического управления концептуальными проектами и развития научно-технического задела в авиастроении.

Список литературы

1. Скворцов Е.Б., Шелехова А.С. Начала теории концептуального проектирования с приложениями в области авиационной науки и технологий // Управление большими системами. 2018. № 75. С. 170-206.
2. Скворцов Е.Б., Шелехова А.С. Концептуальное проектирование и системная интеграция технологий // Ученые записки ЦАГИ. 2017. Т. XLVIII, № 5. С. 54-62.
3. Skvortsov E.B. Direct Search in Conceptual Design // Acta Politechnica. Journal of Advanced Engineering. Prague: Czech Technical University (CTU), 2000. Vol. 40, No. 1. P. 24-29.