

## НАЧАЛА ТЕОРИИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ПРИЛОЖЕНИЯМИ В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Скворцов Е.Б.<sup>1</sup>, Шелехова А.С.<sup>2</sup>

(«Центральный аэрогидродинамический институт  
имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский)

*Представлены ключевые понятия концептуального проектирования, которые сформулированы в терминах теории множеств, векторного анализа и общей теории систем. Под концепцией понимается сочетание нескольких принципов, образующих информационно-логическую модель искусственного объекта. Принципы – это целенаправленные свертки связанной информации, векторы которых определяются идеями, а содержание – компонентами системы. Выделены понятия экосистемы (модель взаимодействия со средой) и эндосистемы (модель обособленного объекта). Единство моделей создаётся активной функциональной системой, которая в документированном виде образует проект. Разнообразие принципов расширено введением принципа «формы» наряду с принципами «действия» и «устройства» объекта. Его реализуемость обеспечивается технологиями. Процесс концептуального проектирования представлен как последовательная деятельность по устранению неопределённости, вызванных комплексным характером проектной информации с мнимой составляющей. Предложенная теория позволяет управлять концептуальным проектом, опираясь на законы математической логики. Формализованные благодаря этому проектные решения получают строгое обоснование.*

Ключевые слова: концепция, принцип, идея, система, технология, проект, риск.

### 1. Постановка задачи

Концептуальное проектирование – это начальная стадия жизненного цикла создания уникального объекта (рис. 1), например, летательного аппарата в авиации. Существенным является акцент на уникальности, принципиальной новизне, отказе от готовых решений для будущего изделия, отличающегося нетрадиционными качествами. Поэтому для обеспечения

---

<sup>1</sup> Евгений Борисович Скворцов, заместитель начальника отделения, к.т.н. (skvortsov-tsagi@yandex.ru).

<sup>2</sup> Анна Сергеевна Шелехова, начальник сектора (anna.shelekhova@tsagi.ru).

новых потребностей необходимо формирование новой технической концепции и поиск нестандартных научных разработок, которые позволили бы осуществить проект.



Рис. 1. Жизненный цикл создания уникального объекта

Если идейная новизна отсутствует, то создание нового объекта может начаться с разработки прототипа на демонстрационной стадии (рис. 1) или даже на стадии производства изделия, в технологиях изготовления которого нет сомнений. Научный интерес к работе на этих стадиях жизненного цикла может сохраняться (методика летных испытаний, производственные технологии и т.п.), но исследования будут носить подчиненный характер, поскольку инициатива создания изделия в этих случаях находится вне научной среды. На демонстрационной стадии управление эскизным проектом объекта осуществляет, как правило, ОКБ, на дальнейших этапах жизненного цикла проектом управляют предприятия промышленности и затем — эксплуатационные предприятия.

Для данной работы представляет интерес случай, когда на основе достижений фундаментальных и поисковых исследований научным коллективом выполняется разработка концептуального проекта, а логическую основу управления концептуальным проектом составляют научные методы и, в частности, математические модели.

Известно, что сегодня не существует стандартов или регламентов концептуального проектирования. Теория управления

разработкой концепций создания перспективного изделия отсутствует. Парадигма концептуального проектирования еще не сложилась.

Из числа областей знаний, применяемых в области концептуального проектирования летательных аппаратов, можно упомянуть программы подготовки специалистов по проектированию самолетов, вертолетов, ракет, их двигателей и других агрегатов в высших учебных заведениях; военные и гражданские стандарты с описанием требований к содержанию конструкторской документации при выполнении аванпроекта (технического предложения) и эскизного проекта изделия авиационной техники; современные международные и российские стандарты по проектному менеджменту и управлению рисками; научные методы многодисциплинарной оптимизации и системы автоматизированного проектирования летательных аппаратов, в том числе разработанные в ЦАГИ. К этому направлению следует отнести методы теории систем и исследования операций, посвященные «внешнему проектированию» функциональных моделей, описывающих взаимодействие изделия с внешней средой и дающих оценку его эффективности.

Итак, на практике существует ряд образовательных, исследовательских и конструкторских методов, применяемых на концептуальной стадии жизненного цикла изделия. Однако они не связаны общей теорией, основанной на едином комплексе научных понятий. В настоящее время отсутствуют даже единообразные представления о концепции и системе, что позволило бы на основе общепризнанных понятий оперировать их моделями при управлении проектами. Не установлены логические связи с теориями, давно получившими широкое распространение в науке.

Современная организация авиационной науки требует преодоления этой разобщенности в связи с общей задачей формирования отраслевого научно-технического задела, необходимого для удовлетворения предметно-ориентированных потребностей авиационной техники. Выполнение продолжительных и затратных концептуальных проектов требует такого же, как в ОКБ, централизованного управления научным проектом на основе общей для всех научных школ теории концептуального проектирования.

Настоящая работа предлагает элементы такой теории, которые образуют универсальную логико-математическую модель многогранной проектной деятельности с согласованным понятийным аппаратом. Указаны причины, по которым управление концептуальным проектом необходимо проводить поэтапно в определенном порядке.

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

Системный метод получил всеобщее признание как метод решения сложных задач. К их числу, например, относятся организационные и экономические задачи, которым и были изначально адресованы математические методы моделирования систем. При всей обширности научных знаний в этой области они оставляют место для новых исследований.

## **2. Целеполагание**

Управление любым проектом начинается с осознания его цели. Субъект, организующий проектную деятельность (проектант – руководитель проекта с проектным коллективом), заинтересованно воспринимает или сам формирует представления об ожидаемом результате проекта, к которому нужно стремиться. Но в этом случае конечной целью этой работы является, как правило, не новый материальный объект, а его потребительские ценности, т.е. функции, которыми можно будет воспользоваться на практике. При этом объект нужен лишь в качестве средства достижения цели. Собственно, для этого и организуется проект создания изделия с новыми свойствами. Цель инновации состоит в получении функций, соответствующих ожидаемым потребностям. Очевидно, что описание цели должно быть достаточно информативным, чтобы судить о достигнутом соответствии.

К определению цели проекта предъявляется ряд управленческих требований. Она должна быть:

- конкретной по сути, исчерпывающе определённой и ясно осознанной;
- структурированной «деревом цели» с подчинёнными задачами;

- измеримой с возможностью оценки результата;
- имеющей известную связь с ресурсами;
- привязанной ко времени осуществления проекта;
- достижимой в итоге проектной деятельности.

При выполнении этих условий проектное задание будет включать определённые требования к объекту в виде связей и ограничений, наложенных на целевые индикаторы, а сама цель может интерпретироваться как потребная (планируемая) система  $Z$  нормированных показателей объекта (рис. 2).



Рис. 2. Объект проектирования и система требований к нему

Тогда проектная деятельность будет направлена на то, чтобы конвертировать в проектируемый объект систему требований по множествам условий воздействия  $N_p$  среды обитания, используемых ресурсов  $N_r$ , ожидаемых полезных эффектов  $N_e$ :

$$(1) Z \subset N_p \times N_r \times N_e.$$

Возникает вопрос, как это сделать? Именно в этом состоит основная задача разработки теории проектирования, в том числе концептуального.

### 3. Объект и система

Задачи отыскания оптимального управления породили кибернетическое представление о *целенаправленно управляемом объекте*. Такая модель, выделяя из глобальной среды локаль-

ную систему, специализированную на решении одной задачи, включает информацию о внутренних связях объекта  $\dot{x} = f_1(x, u, t)$ , фазовом состоянии параметров  $x \in V$  и процессе выработки управляющих сигналов  $u \in Q$ , изменяющих состояние объекта (рис. 3) в зависимости от времени  $t$ . В этой постановке описания способа функционирования  $Q$  и устройства  $V$ , а значит, и внешние связи объекта предполагаются известными.

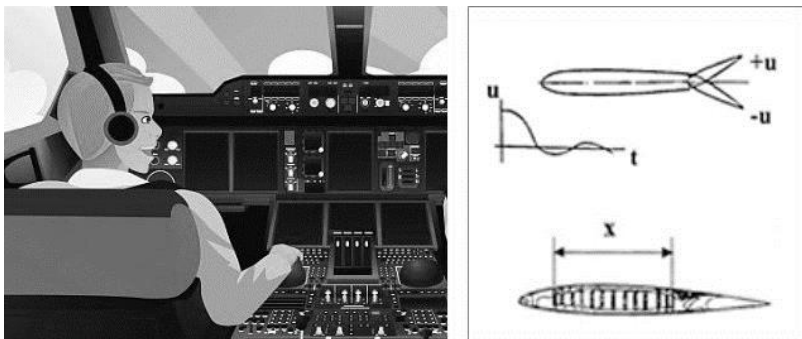


Рис. 3. Оператор и модель объекта управления

Объект находится под воздействием широкого поля внешних реакций  $B_i (i = 1, 2, \dots, m)$ , в том числе ресурсов среды  $R$ , получая из них средства  $r \in R$  для покрытия издержек своего функционирования, и испытывает управляющие воздействия  $N_e$  поля заданий, нормирующих внешний спрос на продукцию  $E$  локальной системы с заданной целевой функцией (1). Её отклики на сигналы среды составляют, соответственно, различные полезные эффекты  $e \in E$  и поле запросов на внешние ресурсы  $N_r$  для осуществления процесса, в котором участвует объект (рис. 4), управляемый оператором или автоматом.

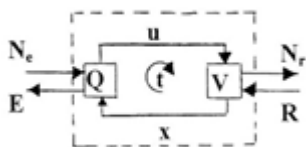


Рис. 4. Система «вход–выход»

Системный метод усматривает в предметах, прежде всего, признаки субъекта, абстрагируясь от его внутреннего содержания и уделяя основное внимание взаимным интересам субъекта и среды. Особый вклад системного метода в решение комплексных проблем обусловлен тем, что благодаря языку теории множеств он позволяет из всего поля реакций  $B_i$ , описывающих взаимодействия объекта и среды, выявить наиболее существенные взаимосвязи, чтобы включить их в исследование иерархических систем большой сложности.

Общая теория [5] под системой понимает отношение вида  $S \subset X_{i=1}^m B_i$  на непустых множествах, образующих декартово произведение. Для рассмотренного выше субъекта управления целевая функция и ресурсы образуют непересекающиеся множества, которые создают систему типа «вход–выход»:  $S \subset R \times E$ . Элементы этого отношения образуют множество упорядоченных пар:  $S \subset \{(r, e) \mid r \in R \wedge e \in E\}$ .

Подобная модель системы получила широкое распространение, в частности, в задачах «исследования операций». Независимо от областей применения [2, 14] методы исследования операций включают выбор критерия эффективности объекта, построение модели его функционирования (развития) в среде обитания и введение исходных данных, применение разнообразных методов математического обеспечения и поиск оптимального управления объектом.

Описанный метод исследования применяют также для «внешнего проектирования», которое позволяет для моделей объектов с известными свойствами определять наилучшие условия применения или из нескольких конкурирующих объектов

рекомендовать наиболее успешный в моделируемых условиях применения, не вдаваясь в особенности его устройства.

Задача проектирования объекта, в том числе концептуального, принципиально отличается от задачи управления объектом. Как правило, *задача проектирования* объекта формулируется следующим образом: создать организацию или конструкцию, в частном случае их элементы, обеспечивающие наилучшее выполнение задачи при некоторых требованиях, накладываемых целеполаганием. Согласно этой задаче оператор-проектант лично не участвует в изменениях состояния объекта во время  $t$  его действия, как на рис. 3. Однако он знает, что возможны определенные программы управления  $u(t) \in Q$  несуществующим объектом, так же как есть выбор из множества различных способов его функционирования, описанных моделями  $Q$ . Проектант знаком с разными моделями  $V$  возможного устройства будущего объекта, особенности которых могут быть описаны параметрами  $x \in V$  (рис. 5) и оценены как потребными для их реализации ресурсами из числа возможных  $r \in R$ , так и локальными эффектами  $e \in E$  из числа полезных. В число проектных данных входит также геометрическая информация, описывающая форму объекта  $g \in F$ .

В связи с этим в задаче проектирования преобразуется смысл обозначений, знакомых по теории управления. Теперь фазовые параметры не столько характеризуют текущее состояние объекта (эти детали нужны другим специалистам), сколько являются признаками особого типа программы действия и агрегатного состояния среди множества сведений о других способах и устройствах из того ассортимента, которым располагает и оперирует проектант во время  $t$  управления проектом.

Однако задача проектирования не может ограничиться только этим рассмотрением, поскольку задание на проект (1) должно содержать также характеристику условий его применения с указанием на различные внешние воздействия (например, рис. 6)



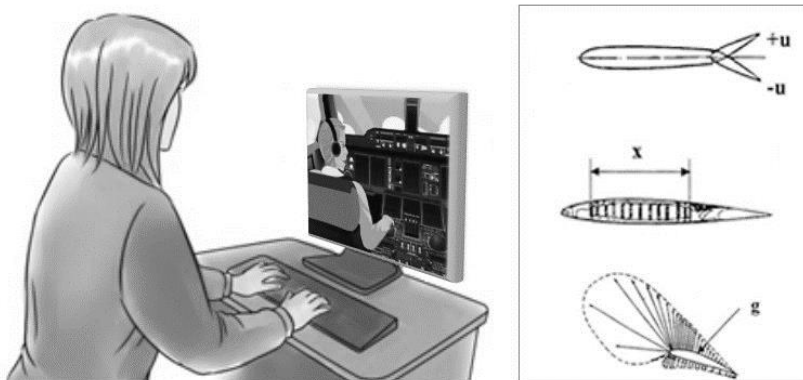


Рис. 5. Проектант и модель объекта проектирования

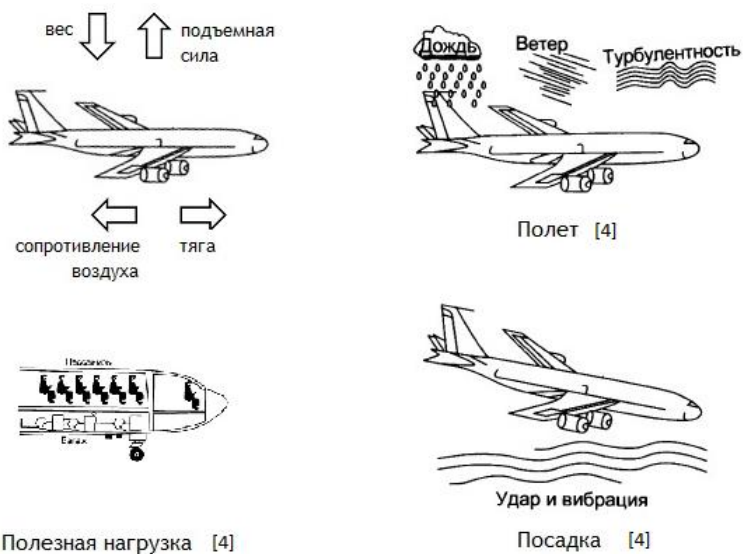


Рис. 6 Элементы внешнего воздействия и другие нагрузки на самолет

Схема системы проектирования может быть представлена в виде треугольной модели (рис. 7). В описание связей локальной и глобальной среды вошли понятия элементарных сил  $p$  взаимодействия, составляющих часть внешних нагрузок  $P$  различной физико-химической природы, в свою очередь включенных в поле допустимых условий эксплуатации  $N_p$ . Последние нормируются и определяют весь спектр воздействий среды. Следует специально отметить, что имеется в виду воздействие не только внешних, например, аэродинамических сил для летательного аппарата, но и внутренних, например, инерционных, в том числе со стороны топлива или груза летательного аппарата.

Управление проектом – это процесс, состоящий из последовательных действий, организованных проектантом в течение времени  $\tau$  (например, рис. 1) и направленных на достижение цели проекта (1). Характер этой деятельности имеет смысл прямого поиска [15] удовлетворительных проектных решений.

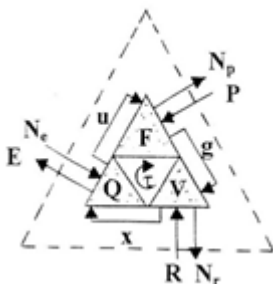


Рис. 7. Система «нагрузка-затраты-эффект»

Таким образом, модель системы проектирования сложнее, чем модель системы управления, для неё характерны тройственные отношения (степень сложности  $n = 3$ ) вместо бинарных (степень сложности  $n = 2$ ). Соответствующие оценки результатов проектирования представляются системой типа

$$(2) \quad S_z \subset R \times P \times E,$$

образованной множеством упорядоченных троек:  $S_z \subset \{(r, p, e) \mid r \in R \wedge p \in P \wedge e \in E\}$ . Из рис. 6 можно видеть, что факторы взаимодействия объекта с внешней средой ( $R, P, E$ )

и нормируемые проектным заданием требования ( $N_r, N_p, N_e$ ) измеряются одинаковыми по своей природе величинами (например, располагаемый и потребный эффект). Так как системы (1) и (2) сопоставимы, это делает возможной верификацию разрабатываемой модели объекта.

В обоих случаях эти системы моделируют внешние связи. При этом (2) является *экзосистемой* (целевой системой) объекта, содержание которого оказывается вне этого понятия, оставаясь «черным ящиком». Очевидно, что задача проектирования не может ограничиваться рассмотренной системой как единственной моделью, поскольку при этом исчезает сам предмет исследования. Напрашивается вывод о целесообразности совместного применения взаимодополняющих моделей субъекта и объекта.

В модели объекта понятие организации  $M_u$  объединяет множество динамических элементов  $u \in Q$ , которые характеризуют модели взаимодействующих в общем технологическом процессе способов функционирования  $Q \subset M_u$ . Последние отличаются такими признаками, как приемы, режимы, последовательность и условия выполнения операций, реализующих различные программы.

Эти понятия соотносятся с интерпретацией структуры  $M_x$  как множества статических элементов  $x \in V$  системы, которые характеризуют модели деталей, узлов, агрегатов, изделий и других орудий  $V \subset M_x$ , предназначенных для выполнения технологических процессов. Устройства как структурные единицы могут отличаться материалом, размерами, архитектурой и другими параметрами состояния.

То, что в задаче проектирования определено как способ и устройство, составляет, как известно, предмет патентно-изобретательской деятельности и входит в число основных инженерных понятий.

Форма – это особый фактор объекта. Достаточно сказать, что сам процесс проектирования сопровождается разработкой наглядной технической документации. При этом наиболее универсальной информацией – геометрической ( $g$ ) – обладают схемы и чертежи, которые характеризуют плотность распределения материала в пространстве и обеспечивают единообразное понимание формы участниками проекта на всех стадиях его реализации. Понятием формы  $F$  в общем случае целесообразно харак-

теризовать любую информацию о границах объекта и его элементов. Множество её проявлений  $M_g$  составляет пограничную область взаимодействия с материальной средой:  $g \in F \subset M_g$ .

Согласование моделей объекта и субъекта проектирования [15] требует использования единого языка для их описания. Иерархически организованные субъекты получили обозначение «система» на языке теории множеств. Пользуясь этим же языком, представим информационно-логическую модель объекта как внутреннюю *эндосистему* (объектовую систему):

$$(3) S_o \subset V \times F \times Q$$

Описание (3) эндосистемы объекта  $S_o$  может быть представлено множеством упорядоченных троек:  $S_o \subset \{(x, g, u) \mid x \in V \wedge g \in F \wedge u \in Q\}$ . В таком виде представлено все возможное разнообразие компонентов эндосистемы, включающей модели устройства, формы и способа действия объекта. Однако действительное число локализованных подсистем определяется сложностью задачи проектирования, показателем которой может быть  $n \geq 3$ . Так, например, если требуется одним устройством произвести три различных действия (многоцелевая система), то сложность такой системы увеличится до  $n = 5$  и она будет включать пять подсистем ( $V, F, Q_1, Q_2, Q_3$ ). Наоборот, если способ функционирования облика задан и не требует проектирования, то сложность задачи ограничена ( $n = 2$ ) поиском решающей системы вида  $(V, F, \emptyset)$ .

Таким образом, объектовая система (3) любой сложности  $n$  может быть представлена в виде:  $S_o \subset X_{i=1}^n A_i$ , где  $A_i$  – локальное множество подсистемы из общего поля взаимодействующих в составе эндосистемы.

Итак, сложилось два различных понятия «системы», которая в переводе с греческого означает «состав – целое, состоящее из соединенных частей». В обоих случаях это упорядоченные множества, в том числе экзосистема  $S_z$  – модель формализованных связей объекта со средой обитания, объединенных целью проекта. Вторая из рассмотренных – эндосистема  $S_o$  – модель обособленного от среды обитания объекта, состоящего из взаимосвязанных компонентов (подсистем), интегрированных в од-

но целое для достижения цели проекта. В данной работе оба понятия составляют единство субъективного и объективного, оба являются формализованными моделями и в этом качестве представляют интерес как предметы исследования проектантом, деятельность которого направлена на достижение цели проекта. Необходимость введения двух разных понятий в настоящей работе возникла впервые. Получив широкое распространение, до сих пор они развивались независимо друг от друга, используя один и тот же термин «система», например [4] и [5]. Для исследования двух разных моделей в рамках одной работы это неприемлемо, поэтому в их определения внесены уточнения.

Идеи, воспринятые в результате умственного напряжения, становятся элементами ментальной личности [14]. Они фиксируются в памяти и участвуют в информационном обмене, в том числе как множество элементов замысла  $D(\tau)$ , произведенных проектантом в стремлении постичь содержание объектовой системы  $S_o \subset X_{i=1}^n A_i$ . В то же творческое время  $\tau$  сознание проектанта связано с множеством  $S_z \subset X_{i=1}^m B_i$  реализующих систем, которые им измерены. Согласно теории множеств [10] подобные отношения называются **функциональной системой**:

$$(4) D: S_o \rightarrow S_z$$

Здесь элементы замысла из множества  $D(\tau)$ , возникающие благодаря интуиции и логике проектанта, в том числе динамические операторы  $S_o(\tau) \in D(\tau)$ , составляют информационную модель объекта как функцию сознания, определенную на множестве  $S_o$  со значениями на множестве  $S_z$ .

Понятие функциональной системы устанавливает адекватную связь моделирующего сознания проектанта с источником информации об объекте  $S_o$ , с одной стороны, и моделью его обитания  $S_z$  – с другой. В документальном виде такие функциональные системы образуют собственно «**проекты**».

#### 4. Концепция и принципы

В соответствии с теорией поля эндосистему можно рассматривать в качестве пространственного скалярного поля вида  $S_o \subset X_{i=1}^n A_i$ , например (3), в каждой точке которого взаимодей-

ствующие множества подсистем  $A_i$  производят функцию вида  $S_z \subset X_{i=1}^n B_i$ , например (2).

Ключевой характеристикой деятельности управляющего проектанта является его целеустремленность. При этом экзосистема  $S_z$  служит для измерения целевых факторов (2) и получения информации для принятия решений. Объектовая эндосистема  $S_o$  отображает результаты (3) целенаправленных усилий проектанта, однако собственно направление процесса проектирования заключено в более содержательной модели «концепции».

Целенаправленность проекта определяется на векторном поле  $\vec{K} \subset X_{i=1}^n A_i$ , в каждой точке которого взаимодействие векторов  $\vec{A}_i$  производит функцию (2). На этом поле задачей проекта является формирование его **концепции**:

$$(5) \quad \vec{K} \subset \vec{V} \times \vec{F} \times \vec{Q},$$

определяющей весь дальнейший ход проектирования. Как известно, пространственный вектор полностью определяется его проекциями, в том числе принципами устройства, формы и действия соответственно:

$$(6) \quad \vec{V} = V \cdot \vec{\lambda}_x; \quad \vec{F} = F \cdot \vec{\lambda}_g; \quad \vec{Q} = Q \cdot \vec{\lambda}_u,$$

где  $V, F, Q$  – скалярные компоненты эндосистемы;  $\vec{\lambda}_x, \vec{\lambda}_g, \vec{\lambda}_u$ , – векторы единичной длины (орты), задающие направление вектора концепции.

Здесь множества вида  $\vec{A}$  представляют собой направленные свертки логически связанной информации и именуются **принципами** [15]. Элементами вектора  $\vec{A}$  являются скалярные аргументы вида  $A$  (компоненты эндосистемы) и единичные векторы вида  $\vec{\lambda}$ , которые по смыслу являются **идеями**, придающими то или иное содержание модели объекта.

Таким образом, принципы в составе концепции являются векторами (рис. 8). Величина каждого из них определяется информационной сверткой множества компонентов эндосистемы  $S_o$ , а направление задано ортом-идеей, в котором заключена объединяющая логика принципа, выраженная его именем (назованим, формулой).



Рис. 8. Принципы формы, устройства и способа действия [15]

По сути обоснование и выбор концепции играет роль творческого зачатия – замысла, определяющего по какому пути пойдет содержательная работа над проектом. Момент выбора идеи аналогичен прохождению железнодорожной стрелки (рис. 9), движение за которой от начала до конца следует по направлению, отличному от отвергнутой альтернативы. Возможная ошибка в выборе пути может сделать проект ущербным, а затраты на него – бессмысленными. Предотвращение этих рисков – ключевое событие проекта.

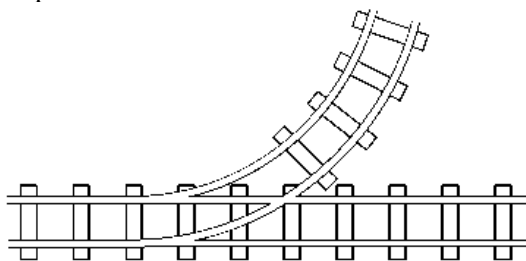


Рис. 9. Схема разветвления железнодорожных путей

## 5. Идея и принципы

Как можно понять из (6), между ортами-идеями и компонентами эндосистемы нет однозначной связи в составе принципов из-за их различной природы. Это обстоятельство вносит неопределенность в описание принципа (даже при наличии идеи), делая его нуменальной, т.е. непосредственно (в состоянии свертки) непознаваемой сущностью.

Например, идея «качения по поверхности» создает выбор из нескольких принципов для органов циклического движения, таких как цилиндр (колесо) с единственной осью вращения (рис. 10), сфера (шар) с неограниченным числом осей вращения и, наконец, шагающие опоры с дискретными контактными поверхностями.

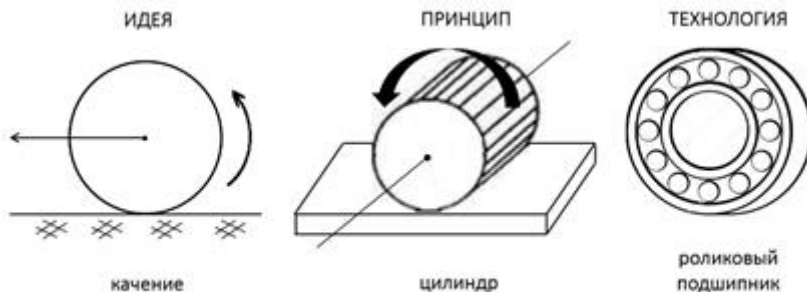


Рис.10 . Идея качения, принцип и технология на ее основе

Понятие идеи за тысячелетия развития гносеологии (от Аристотеля и Платона до Гегеля и современных философов) оставалось по сути неизменным. Все известные авторы сходятся в главном: «идея» – неделимая информационно-логическая единица, независимая от времени. В содержании идей заключена суть предметов и явлений материального мира. Идея представляет собой сущность не отдельного феномена действительности, но является прообразом некоторого типа/вида предметов и явлений (в переводе с греческого «идея» – вид или форма). Оставаясь неизменными, единичные идеи могут группироваться в различных сочетаниях в зависимости от объединяющей концепции. Это можно сравнить с участием атомов в строении различных молекул.

В познавательной деятельности идеи являются источником мыслей для человеческого сознания, отражаясь в нём в качестве представлений о возможном решении поставленной задачи. Таким образом, идеи не принадлежат субъекту мыслительной деятельности, и, кстати, авторское право на идеи (принципы и кон-



цепции) не распространяется (п. 5 ст.1259 ГК РФ). И хотя, как отмечал И. Кант, идеи и лежат в основании предметов и явлений природы, но с помощью органов чувств, восприняты быть не могут. Об их существовании мы узнаём только умозрительно благодаря человеческому сознанию.

Находясь вне сознания, идеи составляют трансцендентное поле (от лат. «transcendents» – запредельный, потусторонний). Это утверждение И. Кант выразил следующим образом: «основоположения, применение которых целиком остаётся в пределах возможного опыта, мы будем называть имманентными, а те основоположения, которые должны выходить за эти пределы, мы будем называть трансцендентными».

Отсюда следует, что сознание мыслящего субъекта включает знания двух видов: имманентное, которое отражает идеи, уже воплощённые в предметах и явлениях действительности, и трансцендентное знание, основанное на восприятии заранее неизвестных идей, возникающих в связи с целеустремлённой интеллектуальной деятельностью субъекта. И те, и другие могут составлять принципы.

Задачи научного исследования предусматривают численную характеристику информации, содержащейся в множествах вида  $A$ . В связи с этим будет уместно установить соответствие понятий «имманентный», т.е. известный из опыта, и «реальный» ( $Re$ ), т.е. измеренный действительным числом. Другая аналогия – «трансцендентный», т.е. принципиально новый, неизвестный из опыта, – и «мнимый» ( $Im$ ), т.е. воображаемый, существующий лишь в мысленном представлении и определённый мнимым числом согласно теории функций комплексного переменного:

$$(7) \quad A = ReA + i \cdot ImA .$$

Из комплексного представления принципов, а значит, и концепций из них построенных, следует, что если цель создания реального объекта содержит только реалистичную информацию, то проектная деятельность должна быть организована так, чтобы в процессе материализации идей преобразовать мнимые знания (мнения, гипотезы, прогнозы) в реальные, подтверждённые опытом и сопоставимые с целью.

Прибегая к комплексным числам для действий с принципами, необходимо понимать, какой смысл придается мнимому числу в отличие от действительного. Математик Валлис еще в 18 веке отметил [6]: «если в алгебре отрицательное число означает количество, меньшее, чем ничто, то в физике оно означает противоположность действия». В нашем случае, если положительное число говорит о приобретении, приросте содержательной информации (вектор положительного направления), то отрицательное – о её утрате или недостатке (вектор отрицательного направления). С этой точки зрения, корень квадратный из отрицательного числа (одномерная характеристика отрицательной величины) тоже является характеристикой дефицита информации, который должен быть покрыт заранее неизвестными идеями. Для теории концептуального проектирования существенной является не только принятая интерпретация мнимого числа. Теория функций комплексного переменного указывает на то, что существуют функции, благодаря которым действия с комплексными числами приводят к реальным результатам, например, в простейшем случае:  $(a + bi)(a - bi) = a^2 + b^2$ . Аналогичную цель преследуют функции проектанта.

Таким образом, математический аппарат ТФКП, с одной стороны, придает научную строгость рассмотренным понятиям гносеологии, а с другой стороны, дает теоретическое обоснование основному направлению проектной деятельности – от комплексной первичной информации о будущем изделии к реальному описанию объекта в завершении проекта.

Понятными становятся и задачи, которые должны быть решены при управлении проектом. Необходимо определить, какая именно функция или алгоритм управления позволяет завершить реальным результатом действия с комплексными концепциями (принципами, идеями) и соответствующими комплексными системами. В данном случае речь идет, конечно, не об алгебраической формуле, а о методологии концептуального проектирования. Очевидно, что ее особенностью должна быть обязательная оценка неопределенностей для целенаправленного сокращения мнимых представлений.

## **6. Принципы и технологии**

Вернемся к обсуждению понятия «идея». Напомним, что идеи представляют собой частные информационно-логические модели не отдельных и конкретных феноменов действительности, а их разновидностей. Последние могут иметь множество конкретных реализаций, имеющих благодаря идее один общий признак.

В рассмотренном выше примере с идеей качения было названо несколько принципов ее осуществления, включая цилиндр с одной осью вращения. В реальности этот принцип нашел применение в огромном числе предметов, известных с древности до наших дней. Это колеса транспортных средств, подшипники качения, оси и валки станочного оборудования и т.п. Такой пример приведен на рис. 9.

Рассмотрим аналогичные по смыслу примеры из авиационной практики. Так, новым направлением создания боевых самолетов современного поколения стало выполнение требований малой заметности в различных диапазонах спектра, из которых важнейшим является радиолокационный с наибольшей дальностью обнаружения цели в зоне действия средств ПВО. В связи с этим при создании самолетов в соответствии с идеей минимальной «эффективной поверхности рассеяния» (ЭПР) появился ряд принципов проектирования основных отражателей в составе планера и силовой установки (например, рис. 11).

В число возможных мер включен принцип согласования углов стреловидности передних и задних кромок крыла, оперения и других элементов планера. В этом случае зондирующее излучение РЛС будет отражаться от всех кромок в одном узком диапазоне углов, и на экране оператора ПВО появится один сигнал отражения в этом ракурсе. Вероятность его обнаружения значительно меньше, чем вероятность обнаружения серии сигналов от разных частей самолета на круговой диаграмме. Далее возникает вопрос, как эту плодотворную идею реализовать в самолете? Оказывается (рис. 12), для этого есть ряд возможностей в связи с применением геометрии шеврона, пины или ромба в конструкции самолета, когда обеспечивается параллельность кромок, сводящая к минимуму число пиков отраженного сигнала

РЛС. Именно эти варианты исполнения крыла и нашли воплощение в различных проектах малозаметных военных самолетов.

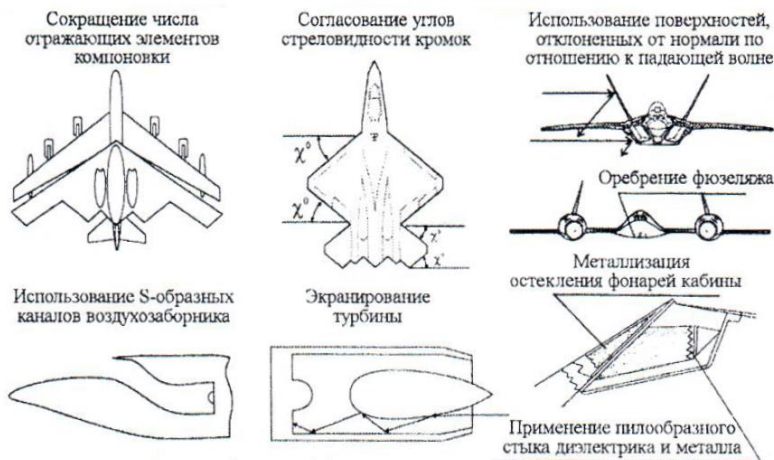


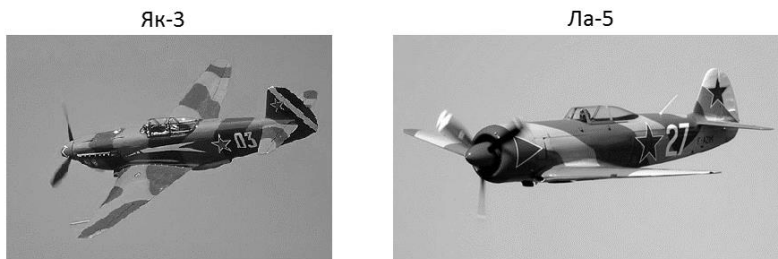
Рис. 11. Принципы уменьшения радиолокационной заметности самолётов [1]



Рис. 12. Формы крыла в плане с параллельными кромками [1]

Другой пример. В годы Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) наиболее известными советскими истребителями стали Як-3 и Ла-5 (рис. 13). Их сравнение показывает, что оба соответствуют одной и той же технической концепции. А именно, самолеты созданы в одинаковой нормальной схеме аэродинамической балансировки, что является определяющим

принципом в динамике полета. Существенным для динамики является также способ создания тяги винтовым двигателем, который ограничивает скорость полета. Принцип формы проявляется в смещенном к носу фюзеляжа положении крыла, что связано с большими инерционными нагрузками от двигателя внутреннего сгорания, определяющими переднее положение центра тяжести самолета. Принцип устройства является типичным для всех самолетов того времени. Крыло, оперение и фюзеляж образуют федеративную конструкцию, каждый элемент которой выполняет отдельную функцию без признаков взаимной интеграции.



*Рис.13. Советские истребители 1940-х годов*

Итак, оба самолета в принципе одинаковы, но имеют очевидные технические особенности. Як-3 оснащен рядным поршневым двигателем жидкостного охлаждения, а Ла-5 имеет звездообразный ПД воздушного охлаждения. Силовые элементы конструкции крыла Як-3 были металлическими, а у Ла-5 даже лонжероны были сделаны из так называемой дельта-древесины.

Из представленных примеров следует очевидный вывод. Для достижения поставленной цели проектант свободен в выборе концепции будущего изделия, включающей различные идеи. Для каждой идеи проектант свободен в поиске адекватных принципов. И этим дело не ограничивается, потому что для материализации идей и принципов нужен выбор так называемых технологий.

При выполнении концептуальных исследований технологиями стали именоваться научные разработки, предназначенные

для практического применения. Такое понимание вошло в обиход проектной деятельности вместе со шкалой «уровней готовности технологии» [12], которая оценивает степень приближения разрабатываемого проекта к поставленной цели. Стоит напомнить, что цель проекта (1) нормирует свойства будущего натурального объекта. В связи с этим его экосистема должна быть показана в естественных условиях применения. Тогда для верификации модели (3) объекта и ее элементов по мере их разработки должны производиться ее материальные аналогии со своими характеристиками вида (2). Аналогии разной полноты могут обеспечить физические модели, функциональные демонстраторы и, наконец, полномасштабные изделия.

Для их создания необходимы производственные технологии [11], каждая из которых является совокупностью взаимодействующих операций, оборудования и условий для передела сырья в готовое изделие. Здесь «технология» – это индуктивная система (лат. «induction» – наведение), объединяющая в своем составе *понимание* (гр. – «логос») особенностей аналогии с моделью объекта (3) и *умение* (гр. – «техно») в располагаемых материальных условиях преобразовать ее в предметы/явления действительности.

Следовательно, технология предусматривает осуществление двух процессов, из которых один обуславливает второй. Первый направлен на подготовку проекта аналогии, сохраняющей особенности модели объекта (3). На практике условия аналогии и ее реализуемости соблюдаются благодаря участию автора-проектанта, конструктора, технолога и пользователя проекта.

Связанный с первым второй процесс направлен на практическое осуществление, например, конструкторского проекта аналога (рис. 14) в действующих условиях производства. С этой целью разрабатываются производственные технологии, в соответствии с которыми из подходящих материалов изготавливается конечный продукт, а на более ранних стадиях разработки – материальные аналогии информационной модели объекта или ее компонентов, которые делают возможной периодическую верификацию цели проекта.

Конечно, когда говорят о производственной технологии, то не обязательно имеют в виду преобразование научного знания и материальных ресурсов исключительно в физический объект (рис. 13). Точно так же реализуются энергетические, информационные и иные технологии, приносящие иные продукты производства, пригодные для практического применения.

Из приведенных рассуждений ясно, что участие многих субъектов и материальных факторов в разработке и осуществлении технологического проекта вносит значительное разнообразие и множество наблюдаемых отличий в практическое исполнение одинаковых идей, принципов, концепций. С этим приходится считаться даже на такой ранней стадии жизненного цикла, как концептуальный проект.

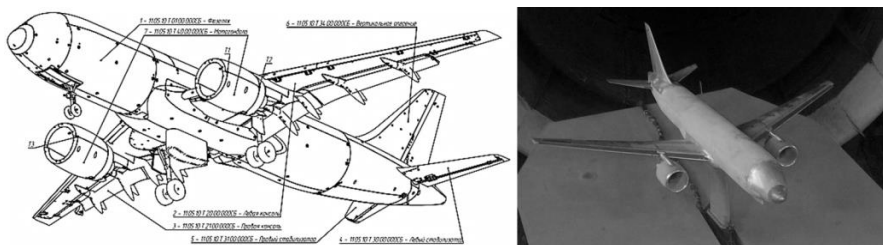


Рис. 14. Проект конструкции и изготовленная модель (аналог) самолёта для аэродинамических испытаний

Технология – сравнительно новое и многоликое понятие, которое используется разными участниками жизненного цикла (рис. 1) со своими представлениями о его смысле и значении. В современных условиях единой и однозначной парадигмы технологии не существует. В данном исследовании остается открытым вопрос о связи технологий, характерных для концептуальной, демонстрационной, производственной и т.д. стадий (рис. 1), о соотношении смыслов, которые вкладываются в этот термин различными специалистами, о необходимости внесения некоторых уточнений в его определение при выполнении обобщающего исследования.

Однако общим для технологий любой стадии разработки является то, что в результате их реализации происходит вопло-

щение ментальных идей в материальной среде. Именно посредством технологий мнимые идеи (принципы, концепции) становятся действительными и создаются практические возможности достижения цели проекта.

Итак, упомянутые выше цилиндрические ролики в подшипнике качения, ромбовидное крыло малозаметного самолета и, наконец, деревянные лонжероны крыла имеют технологические особенности. С одной стороны, они осуществляют породившие их принципы, являясь проводниками идей, а с другой – обеспечивают соответствие принципов тем условиям, которые предусмотрены целью проекта. Различные условия осуществления одной и той же идеи приводят к появлению разных технологий. При этом идея остается их общим прообразом.

## 7. Неопределённости и риски

Идеи и принципы познаются человеческим сознанием как интуитивно (мнения или гипотезы), так и конкретно-логическим путем через изучение явлений природы, выявление, сравнение и упорядочение фактов.

Среди идей, составляющих (6), можно выделить множества двух типов: множество реальных идей – фактов  $Re(\lambda)$  и множество мнимых идей – гипотез  $Im(\lambda)$ . Вместе с названными идеями два типа принципов (реальных и мнимых) могут составлять комплексную модель концепции. Концептуальное проектирование на основе комплексной информации с мнимой составляющей из-за недостатка достоверной информации сопровождается множеством неопределённостей, которые должны быть исключены на пути к созданию реального объекта.

Последовательное устранение неопределенностей в содержании концепции составляет одну из основных проблем концептуального проектирования. Сам метод проектирования должен гарантировать при этом получение достоверного решения.

В начальный момент исследования область поиска новой концепции безгранична и неопределенна, а вероятность отыскания правильного решения ничтожна мала. Для принятия решения о запуске проекта необходима информация о его эффективности и технической реализуемости.



Для того чтобы получить такую информацию, необходимо выполнить несколько объективно необходимых этапов концептуального исследования (рис. 15). При этом каждый следующий этап осуществим при условии, что нужная для него исходная информация получена на предыдущем этапе.



Рис. 15. Процесс концептуального проектирования

В начале (Этап 0) создаётся информационное обеспечение - база данных из множества способов и устройств, которые могут быть полезны для решения новой задачи (рис. 16). Этот поиск сопровождается предварительной оценкой чувствительности системы характеристик будущего объекта к разнообразным технологиям (из числа известных), чтобы отказать от очевидно бесполезных.

Применение апробированной, реалистичной информации способствует успеху концептуального проектирования. С начала проектирования в этом состоит особая роль известных по опыту практических технологий из множества  $Re(\lambda)$ . Их изучение составляет часть Этапа 0 и предвещает Этап 1.

Результатом начальных усилий становится множество вида  $\{(x, g, u) \mid x \in M_x \wedge g \in M_g \wedge u \in M_u\}$ , которое моделирует технологический базис для решения задач проекта, а также множество вида  $\{(r, p, e) \mid r \in M_r \wedge p \in M_p \wedge e \in M_e\}$ , модели-

рующее множество реакций внешней среды на применение технологий. Таким образом, устраняется *неопределённость* источника информации для проектных решений.

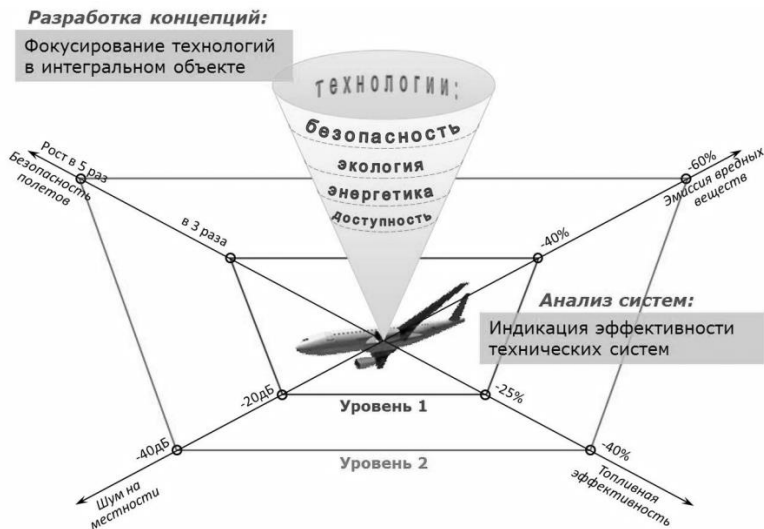


Рис. 16. Связь технологий с задачами развития  
воздушного транспорта

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.

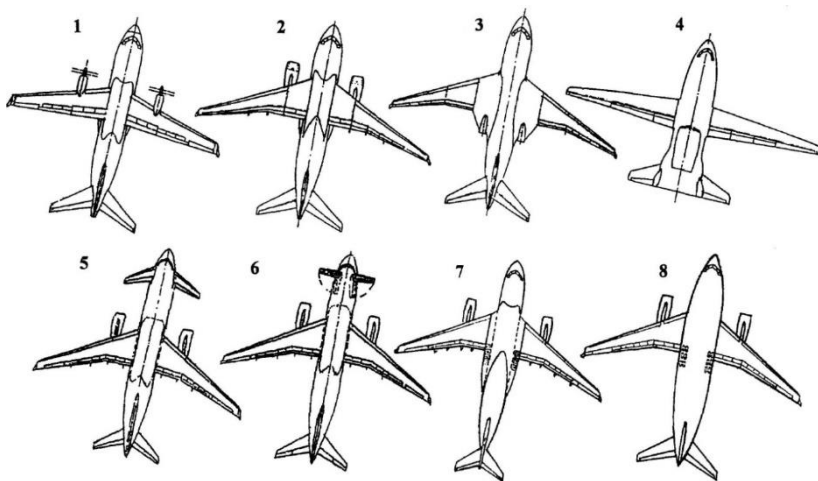
На рис. 17 в систематизированном виде для примера представлены правила проектирования энергетических средств, которые включают несколько апробированных способов увеличения подъемной силы, в том числе увеличение эффективности аэродинамической механизации крыла при ее обдуве, создание дополнительной аэродинамической суперциркуляции крыла, отклонение вектора тяги с созданием ее вертикальной проекции. Точно также рекомендации, представленные на рис.11, следует понимать как правила проектирования малозаметных самолетов. Таким образом, правило – это апробированная идея  $Re(\lambda)$ .

Правила проектирования энергетических средств	Форма объекта	Способ увеличения подъемной силы	Устройство реактивной струи
обдув крыла с механизацией		реакция закрылка	винт
обдув крыла снизу		реакция закрылка	ТРДД
обдув крыла сверху		эффект Коанда	ТРДД
выдув на закрылки		суперциркуляция	ВСУ
эжекторный закрылок		суперциркуляция	эжектор
выдув на круглую кромку		суперциркуляция	ВСУ
реактивный закрылок		прямая реакция	ВСУ
отклонение вектора тяги		прямая реакция	ТРДД

Рис. 17. Опыт разработки энергетических технологий увеличения подъемной силы самолета

«Правило» рассматривается как устоявшаяся норма, предписание или частная рекомендация для проектирования объектов и их элементов. Разработка и освоение правил является началом самообучения проектанта на разрозненных фактах. Обычно этой цели в прикладных исследованиях служат учебные пособия, совместная работа со специалистами, а также специальные «Руководства для конструкторов».

На Этапе 1 анализируются различные комбинации из предложенных принципов (технологий), которые позволяют сформировать ряд возможных концепций изделия в целом (рис. 18). Характеристики вариантов (в данном случае самолётов) оцениваются и сравниваются, из них выбираются наиболее эффективные.



*Рис. 18 Альтернативные варианты транспортного самолёта*

Основным техническим риском данного этапа является выбор неправильной концепции. Ключевой причиной данного риска является построение недостаточного числа вариантов изделия и неправильный метод их формирования. Поскольку каждый из вариантов концепции (а это проектные эксперименты) является неповторяющимся соединением состояний в ряду возможных, то указанный выше риск может быть снижен с помощью полно-

факторного плана эксперимента  $2^n$  для построения Парето-оптимальной траектории поиска наилучшей концепции, который обеспечивает 100%-ю информированность проектанта [15].

В результате Этапа 1 преодолевается принципиальная неопределённость расчетной концепции (5), которая в дальнейшем становится предметом глубокого изучения. При этом, хотя состав концепции и определён, остаются другие риски.

Так, возможное наличие нескольких принципов (технологий) в области определения одной идеи (например, цилиндра, сферы или шагающих опор для идеи качения) порождает некоторые неопределенности при формировании технической концепции, а также в системных оценках. Для их устранения существуют специальные методы. Однако по завершении этапа еще остается риск внутренней несогласованности между элементами концепции объекта (6), перечень которых был определен как относительно лучшее сочетание принципов в сравнении с другими вариантами. Но для совершенства концепции требуется еще и оптимальный баланс между ее разнородными элементами, тогда образуется и однозначная система характеристик объекта (2).

На Этапе 2 элементы концепции (принципы, идеи) согласуются между собой так, чтобы максимизировать эффективность в составе экзосистемы  $S_z$ . Основные технические риски данного этапа связаны с неопределенностью в отдельных характеристиках, что исключает возможность достоверной верификации концептуального проекта. Отдельные элементы концепции оказывают различное влияние на ее эффективность. Те из них, которые являются наименее изученными, а также те, к изменениям которых целевая функция особенно чувствительна, составляют перечень ключевых элементов выбранной концепции (рис. 19).

Характеристики элементов системы можно считать случайными величинами с заданными законами распределения (определяются экспертно), поэтому оценка степени влияния на интегральные критерии сводится к определению вероятностных характеристик выходных величин, характеризующих систему. Для решения этой задачи часто используются статистические методы [3].



Рис. 19. Ключевые элементы в расчётной концепции самолета

Примером может служить статистическая оценка дальности полета с помощью метода Монте-Карло. В рассматриваемом примере определяется функция нескольких случайных величин, среди которых:  $c_{x0}$  – коэффициент аэродинамического сопротивления при нулевой подъемной силе;  $A$  – коэффициент отвала крейсерской поляры;  $G_K$  – вес конструкции;  $G_{об}$  – вес оборудования;  $G_{с.у.}$  – вес силовой установки. Пример численной реализации заданных законов « $\alpha \times \beta$ » распределения входных параметров приведен на рис. 20.

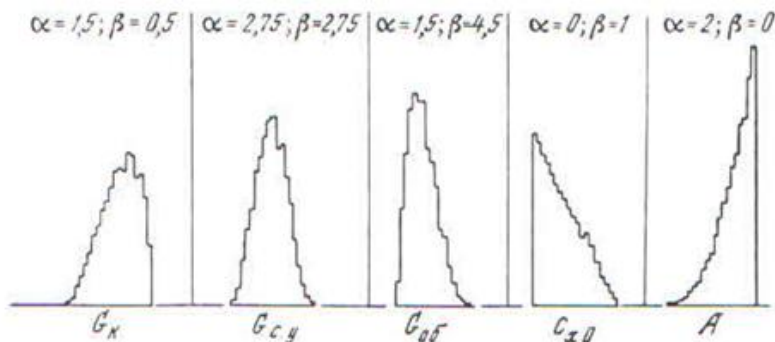


Рис. 20. Численная реализация законов распределения  
входных параметров

На рис. 21 приведена гистограмма распределения дальности полета для числа испытаний  $N = 9000$  с указанием математического ожидания ( $M$ ) и среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ).

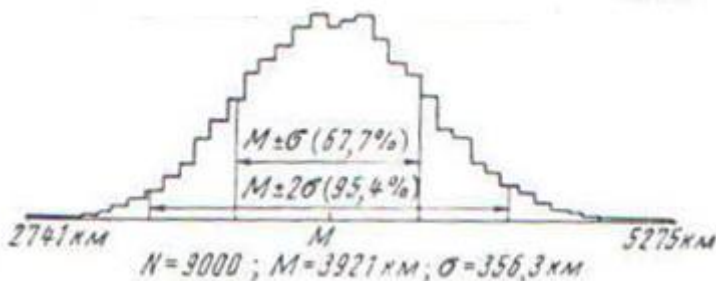


Рис. 21. Гистограмма распределения дальности полета

Экспертная неопределённость в отдельных характеристиках объекта создаёт для проектанта неопределённость его целевой функции и исключает возможность достоверной верификации концептуального проекта. Устранить этот риск расчётными 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. 22) ключевых элементов (физическим, стендовым, имитационным), которые в лабораторных условиях дают первые доказательства их технической реализуемости, наличия эксплуатационных преимуществ [8] и позволяют предварительно установить соответствие характеристик требованиям к изделию. Техническими рисками данного этапа является риск несоответствия разработанной концепции критериям задания (1) и риски неполной аналогии расчетной концепции натуре. Создаются условия для перехода к демонстрационной стадии проекта, чтобы снизить указанные риски.



*Рис. 22. Валидация технологий. Экспериментальные исследования модели самолета в аэродинамической трубе*

Дело в том, что лабораторные условия для испытания множества моделей накладывают ограничения на их размеры, следуют различным критериям подобия [7] и выполняются на различных экспериментальных установках. Их единство в проекте обеспечивается универсальной моделью объекта, как правило, геометрической. Продемонстрировать физическое единство и согласованную эффективность может модель прототипа, действующая в натуральных условиях. При создании сложных технических объектов, таких как пилотируемый летательный аппарат, задача создания и испытаний демонстратора технологий выходит за пределы компетенций научных организаций и требует привлечения в проект конструкторской организации (ОКБ промышленности). В условиях демонстрационной стадии представляется возможность решить проблему трансфера научных разработок (технологий) по завершении концептуального проекта.



Таким образом, в процессе концептуального проектирования каждому этапу проектирования (рис. 15) присущи свои неопределённости и риски, связанные с уникальностью объекта. Для успешной разработки концептуального проекта необходимо их выявить, оценить и устранить. В настоящее время существуют универсальные методики качественного анализа и оценки рисков. Методы количественной оценки рисков предстоит создать для каждого этапа концептуального проектирования.

Анализ рисков предназначен не только для выбора концепции и разработки надёжных технологий, но и для выработки других мер по управлению проектом (финансовых, организационных, временных), которые позволят снизить вероятность возникновения негативной ситуации или минимизировать её последствия.

Управление рисками в целом является неотъемлемым атрибутом концептуального проектирования.

## **Заключение**

В работе представлены основные аспекты методологии концептуального проектирования. Сформулировано понятие концепции в терминах теории множеств, теории поля и общей теории систем. В общем понятии системы выделено два частных: эндосистема (модель объекта) и экзосистема (модель связей объекта со средой обитания). Соответствующее понятие экзосистемы расширено включением фактора «нагрузка» от внешней среды, который дополняет известные факторы «эффект-затраты». Концепция определена как сочетание нескольких принципов. Принцип определен как свертка информации о компонентах эндосистемы, направление которой задано единичным вектором-идеей. В понятия концепции и эндосистемы введён принцип «формы», который вместе с принципами «действия» и «устройства» объекта, образует его трёхмерную модель.

Процесс концептуального проектирования представлен как последовательность объективно необходимых этапов, направленных на устранение неопределённостей, выявленных проектантом. Происхождение неопределённостей связано с ком-

плексным характером информации, насыщающей проект не только реальными, но и мнимыми данными, исходящими от проектанта. Это следствие уникальности проекта, требующей творческого воображения для решения новой задачи. С иллюстрациями из области авиации дан краткий обзор особенностей каждого этапа концептуального проектирования. Отмечено, что управление рисками неотделимо от управления проектом.

Предложенная теория позволяет оперировать элементами концепции создаваемого изделия, опираясь на законы математической логики. Формализованные проектные решения получают строгое обоснование благодаря интерфейсам (рис. 23), установленным между известными понятиями и различными теориями.



*Рис. 23. Основные модели этапов концептуального проектирования (отмечены в скобках своими номерами)*

Естественно, представленные материалы не исчерпывают всех знаний, которые нужны для решения задач концептуального проектирования во всей их сложности. В частности, предстоит показать идентичность предложенного описания этапов с описанием известных требований стандартов к другим этапам жизненного цикла и принятой системы оценки уровней готовности технологий [12], составить математические модели для описания этих этапов.

В данной работе смысл комплексного представления концепции и системы с мнимыми составляющими в их содержании

состоит в том, чтобы объяснить причины неопределенностей и рисков, которые сопровождают проект. Возможно, в дальнейшем будет построена общая математическая модель процесса концептуального проектирования, которая позволит управлять проектом с использованием практических методов теории функций комплексного переменного.

### Литература

1. ВОЖДАЕВ В.В., ЛАЗАРЕВ В.В. *Конструктивно-компоновочные способы снижения радиолокационной заметности самолетов* // *Техника воздушного флота*. – 2011. – Т. LXXXV, №2(703). – С. 41–50.
2. ГОЛУБЕВ И.С., САКАЧ Р.В., ЛОГИНОВ Е.Л., ПИНАЕВ Е.Г. *Исследование операций в гражданской авиации*. – М: Транспорт, – 1980.
3. ДЕНИСОВ В.Е., ИСАЕВ В.К., РЯБОВ А.М., ШКАДОВ Л.И. *Статистическая оценка характеристик проектируемого самолета с помощью метода Монте-Карло* // *Ученые записки ЦАГИ*. – 1973. – Т. IV, №2. – С. 14–19.
4. КОСЯКОВ А., СВИТ У.Н., СЕЙМУР С.ДЖ., БИМЕР С.М. *Системная инженерия. Принципы и практика*. – М: ДМК, – 2014.
5. МЕСАРОВИЧ М., МАКО Д., ТАКАХАРА И. *Теория иерархических многоуровневых систем*. – М: Мир, – 1973.
6. МОЛОДШИЙ В.Н. *Основы учения о числе в XVIII веке*. – М.: Учпедгиз, – 1953.
7. СЕДОВ Л.И., *Методы подобия и размерности в механике*. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», – 1977.
8. СКВОРЦОВ Е.Б., ШЕЛЕХОВА А.С. *Верификация и валидация технологий в концептуальном проектировании авиационной техники* // XII Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития науки и образования», Москва, 2016 – С. 143–149.

9. СКВОРЦОВ Е.Б., ШЕЛЕХОВА А.С. *Концептуальное проектирование и системная интеграция технологий* // XII Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития науки и образования», Москва, 2016 – С. 150–158.
10. СТЕЛЛ Р.Р. *Множества. Логика. Аксиоматические теории*. – М: Просвещение, 1968.
11. *Технология самолетостроения* / Под. ред. А.Л. Абибова. – М.: Машиностроение, 1970.
12. *Трансфер технологий. Общие положения*. ГОСТ Р 57194.1-2016.
13. ХИЛЛСОН Д. *Управление рисками, пирамида Маслоу и меметика* // Управление проектами. – 2017, – №1(40). – С. 5–19.
14. ЧУЕВ Ю.В. *Исследование операций в военном деле*. – М: Воениздат, 1970.
15. 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.

## **BEGINNING OF THEORY OF CONCEPTUAL DESIGN WITH APPLICATIONS IN AERONAUTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**Eugenii Skvortsov**, Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky, Deputy Head of Department.

**Anna Shelekhova**, Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky, Head of Sector.

*Abstract: The work presents key concepts of conceptual design, that are formulated in terms of set theory, vector analysis and general systems theory. The conception is understood as the combination of several principles that form the information-logical model of an artificial object. The principles are intentional convolutions of related information, the vectors of which are defined by ideas, and the content is defined by the components of the system. The concepts of the exosystem (the model of interaction with the environment) and the endosystem (the model of an separate object) are highlighted. Unity of the model is created by an active functional system, which in a documented form creates a project. The diversity of principles is expanded by the introduction of the principle of "form" along with the principles of «ac-*

*tion» and «structure» of the object. The realizability of the object is provided by the technologies. The process of conceptual design is presented as a sequential activity aimed at eliminating uncertainties, which are caused by the complex nature of project information with an imaginary component. The proposed theory allows to manage the conceptual project, relying on the laws of mathematical logic. Formalized through this design decisions are strictly justified.*

Keywords: conception, principle, idea, system, technology, project, risk.

УДК 167/168

ББК 30.2

*Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии В.В. Клочковым.*

*Поступила в редакцию 26.09.2017.*

*Опубликована 30.09.2018.*