

## **МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДИВЕРСИФИЦИРОВАННЫМИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЕКТАМИ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ<sup>1</sup>**

**Рахманина В.Е.**

*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского»  
Жуковский, Россия  
ecler4ik@mail.ru*

**Клочков В.В.**

*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского»  
Жуковский, Россия  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия  
vlad\_klochkov@mail.ru*

*Аннотация. Обоснована специфическая структура программ прикладных исследований и задач выбора технологических альтернатив, в рамках которой производится поэтапный отбор альтернатив среди технологий внутри одной функциональной группы или среди обликот изделий, удовлетворяющих требованиям надсистемы. Сформулирована общая постановка задач управления диверсифицированными проектами разработки технологий.*

*Ключевые слова: прикладные исследования и разработки, технологии, альтернативы, облик, надсистема, эффективность, риск, диверсификация, портфель, интервальные оценки, отбор, принятие решений.*

### **Введение**

Прикладные научные исследования и разработки, НИР, направлены на создание новых технологий, которые позволяют улучшить (с точки зрения тех или иных обобщающих критериев) характеристики перспективной техники. Одним из основных процессов, реализуемых в ходе прикладных исследований [1], является анализ характеристик разрабатываемых технологий, их влияния на характеристики будущей продукции и ее эффективность, с точки зрения надсистемы (например, эффективность воздушных судов, ВС, в авиатранспортной системе, АТС). Характеристики и эффективность технологий и будущих продуктов, построенных на их основе, неизвестны заранее (их оценка и составляет задачу НИР). Поэтому неясно, какие из альтернатив (технологий и их сочетаний в составе будущих изделий) окажутся оптимальными или хотя бы приемлемыми (соответствующими требованиям к будущей продукции и системам, в которых она будет применяться), и приходится рассматривать альтернативные технологии и их сочетания в перспективной продукции. В работе [2] обосновано, что основным способом управления инновационными рисками в ходе прикладных исследований является диверсификация направлений поиска. Однако параллельное исследование всех возможных альтернатив может быть невозможным, а последовательное – зачастую слишком длительным.

Повышение сложности, комплексности, а также длительности, ресурсоемкости и стоимости исследований и испытаний происходит поэтапно. То есть вначале рассматривается изолированная технология, затем проводится системная интеграция технологий в рамках определенных технических концепций (ТК). ТК включает в себя структуру будущего изделия и сочетание используемых в его составе технологий. Этапы прикладных НИР, по мере нарастания комплексности исследований и точности получаемых в них оценок, формализованы в виде уровней готовности технологий, УГТ (см. [3, 4]).

Диверсификация направлений поиска должна быть тщательно обоснованной в связи с использованием в процессе прикладных НИР жестко ограниченных ресурсов. Необходимость отбора альтернатив на различных стадиях прикладных исследований продиктована ресурсными ограничениями: финансовыми, временными, а также, что более важно, уникальным кадровым потенциалом науки и ограниченной производительностью экспериментальной базы (нередко уникальной). В то же время не всегда есть однозначные основания для отбора альтернатив: диапазоны оценок их характеристик или эффективности, как правило, перекрываются, и невозможно выделить строго доминирующую. В работе [2] также показано, что если на определенном УГТ диапазоны характеристик попадают в заданный допустимый диапазон, то нет оснований отбрасывать ту или иную альтернативу, т.к. по мере прохождения на следующие УГТ строгое доминирование одной из технологий-кандидатов проявляется лишь при

<sup>1</sup> Исследование выполнено по проекту РНФ № 21-78-20001 «Разработка теории и модельного инструментария оптимизации управления диверсификацией оборонного производства в условиях экономического кризиса и роста угроз национальной безопасности России».

достаточном уточнении их эффективности. Однако на данном УГТ может не быть достаточно ресурсов для рассмотрения всех недоминируемых альтернатив, т.е. придётся делать выбор при недостаточных основаниях. В то же время если сделать неправильный выбор на ранних этапах исследований, работы впоследствии могут пойти в тупик. Поэтому целесообразно производить отбор на основе рационального подхода, с учётом внешних требований и ресурсных возможностей. В данной работе предлагается новый подход к структурированию задач выбора альтернатив в процессе прикладных исследований и, соответственно, к постановке задач управления диверсифицированными проектами разработки новых технологий в наукоёмкой промышленности.

## **1. Структура задач отбора альтернатив на примере создания новых технологий авиастроения**

Говоря об управлении диверсифицированными научно-технологическими проектами в высокотехнологичной промышленности, всегда важно ориентироваться на требования, которые предъявляет надсистема к разрабатываемым объектам. Не ограничивая общности рассуждений, рассмотрим взаимосвязь таких требований и процесса планирования научных исследований в авиастроении. Новые продуктовые технологии авиастроения создаются для разработки перспективных воздушных судов, ВС, которые должны быть эффективными в рамках авиатранспортной системы, АТС. К ВС гражданского назначения как к объекту, встраиваемому в АТС, предъявляются требования по определенному перечню параметров, включая:

- массу полезной нагрузки, количество пассажирских мест;
- крейсерскую скорость, дальность полёта;
- стоимость тонно-километра перевозки;
- потребную длину взлётно-посадочной полосы (ВПП), несущую способность покрытия;
- эмиссию вредных веществ, шумовое воздействие;
- показатели безопасности полётов.

Каждый параметр, в свою очередь, определяется множеством других, зачастую взаимозависимых составляющих. Так, например стоимость тонно-километра можно определить на основе оценки прямых эксплуатационных затрат (ПЭР), в состав которых входят затраты на:

- горюче-смазочные материалы (ГСМ);
- техническое обслуживание и ремонт (ТОиР);
- амортизацию ВС;
- оплату труда экипажа;
- аэропортовые сборы и пр.

На уровень ПЭР и возможности их сокращения влияет множество факторов: стоимость и расход горючего, сложность и длительность обслуживания самолёта, а также стоимость содержания потребной ВПП. Как правило, возможен некоторый «размен» между способами достижения целевых показателей характеристик изделий и систем, в которых они должны применяться. Например, сокращение общих затрат в АТС возможно как благодаря сокращению затрат в крейсерском полете ВС, так и благодаря улучшению их взлетно-посадочных характеристик и удешевлению содержания аэродромов. Какой из этих путей – причем, конфликтных – окажется более реалистичным, выяснится только в процессе прикладных НИР. Поэтому приходится рассматривать альтернативные пути достижения целей повышения эффективности будущих изделий на уровне надсистем.

В зависимости от существующих требований авиатранспортной системы (таких как снижение стоимости полётов, повышение качества перевозок, сокращение времени в пути) производится выбор оптимального облика ВС для решения конкретных задач. Формирование структуры авиатранспортной сети и парка ВС является сложным, комплексным процессом, диктующим порой противоречивые решения. Так, для сокращения времени в пути при перевозке пассажиров в малонаселённые и труднодоступные регионы актуальными являются самолёты малой пассажироплощадности, хотя стоимость их производства и эксплуатации по сравнению с крупными ВС при сравнимой серийности выпуска не снижается пропорционально вместимости и грузоподъёмности (доля амортизационных затрат для нового ВС в общей стоимости летного часа эксплуатации изделия для самолетов малой авиации может превышать 50%). Следовательно, сокращение пассажироплощадности (в расчёте на повышение частоты рейсов для сокращения общего времени в пути) может вступить в противоречие с требованиями обеспечения доступности перевозок.

Актуальность прикладных исследований продиктована необходимостью выполнения новых, более жестких требований, предъявляемых к надсистеме. Однако на начальном этапе разработки отдельных

технологий сложно оценить, какая из альтернатив могла бы внести больший вклад в улучшение интегральных показателей ВС, которые, в свою очередь, будут выполнять те или иные функции в АТС.

С целью структуризации процесса отбора альтернатив в рамках прикладных НИР разработан следующий подход. Разделим процесс исследования и отбора альтернатив на две части по значениям уровней готовности технологий (УГТ): на УГТ 1-3 рассматриваются изолированные технологии, входящие в различные функциональные подгруппы (группы А и В на рис. 1), определяемые их техническим назначением (например, технологии накопления энергии, технологии создания тяги и т.п.), а на УГТ 4-6 – уже целостные технические концепции, ТК (УГТ 7-9 уже соответствуют этапам опытно-конструкторских работ, производства и эксплуатации продукции и не рассматриваются в данной работе).

ТК – это структура будущих изделий и состав технологий, реализованных в их структурных элементах. Альтернативные ТК объединяются в подгруппы по принципу схожей архитектуры (структурным составляющим) – например, класс самолётов и класс вертолётов, см. рис. 1. Большинство самолетов имеют следующие структурные составляющие: планер, силовая установка, бортовое оборудование. Вертолёты же имеют несколько иную структуру: несущая система (несущие и, возможно, рулевые винты), планер (фюзеляж), силовая установка, бортовое оборудование. В то же время в их структурных элементах могут быть реализованы те или иные альтернативные технологии. Так, например, говоря о различных технологиях самолётного планера, отметим, что самолет может быть выполнен в различных компоновочных схемах: например, классическая компоновка, летающее крыло и пр. – это и есть альтернативные технологии одной функциональной группы.

В свою очередь, в надсистеме выделяются функциональные ниши – платформы, выполняющие определенные функции. Например, в АТС такими нишами могут быть платформы ВС местных воздушных линий, МВЛ, магистральных ВС, и т.д.



Рис. 1. Задача отбора альтернатив на примере платформы местных воздушных линий

Платформа, выполняя в надсистеме определенные функции, определяет и набор требований верхнего уровня к характеристикам техники для определенного рынка услуг, например, требования к ВС МВЛ, к магистральным ВС, и т.п. Требования платформы, её функции в надсистеме могут быть выполнены с помощью разных, альтернативных технических концепций. Так, например, в качестве воздушного судна для местных воздушных линий в качестве альтернатив могли бы выступить самолет L-410 (до 19 пассажиров) или вертолёт Ка-62 (до 15 пассажиров).

Итак, одни и те же требования платформы могут быть реализованы множеством альтернатив, имеющих свои преимущества и недостатки.

Таким образом, задача выбора технологических альтернатив в процессе прикладных НИР возникает дважды: при выборе альтернативных технологий в рамках одной функциональной группы (например, тип

энергоносителя или компоновка планера для ВС) и при выборе технической концепции (облика ВС) для функциональной платформы. Эти процессы подобны по структуре, схожи по своей логической сути, поэтому формальная постановка задачи аналогична для двух случаев.

В рамках разработки и отбора ТК на УГТ 4-6 проводится системная интеграция технологий, их увязка между собой, необходимая в силу взаимовлияния технологий и подсистем будущего изделия. И, на первый взгляд, сами технические концепции должны формироваться уже из технологий, которые прошли оценку характеристик и первичный отбор на УГТ 1-3, пока они рассматривались как изолированные. Однако и оценки эффективности изолированных технологий на самых низких УГТ, на самом деле, неявно подразумевают их применение в составе какой-либо ТК (или каких-либо групп ТК, родственных по структуре). Например, если рассматриваются технологии повышения аэродинамического качества планера – вероятно, предполагается, что эти технологии будут применяться именно в составе самолётов, у которых подъёмная сила создается планером, движущимся в воздухе.

## 2. Подход к оценке эффективности технологических альтернатив в составе надсистем различных уровней

Отдельные технологии внутри одной функциональной группы зачастую имеют диверсифицированную область применения, т.е. могут применяться в разных ТК. Одна и та же технология может находить применение в различных технических концепциях, которые, в свою очередь, могут выполнять разные задачи в разных платформах надсистемы. Например, альтернативные технологии накопления энергии, такие как батареи, аккумуляторы, конденсаторы могут использоваться на ВС различной структуры, разных групп ТК (как на самолётах, так и вертолётах), предназначенных для разных платформ (например, ВС местных авиалиний или ВС для поисково-спасательных работ). Аналогично, технологии интеллектуального управления могут быть применены для бортового оборудования ВС различных видов. Впоследствии эти ВС встраиваются в различные платформы надсистемы – АТС.

Пусть  $U_i$  – полезность технологии (т.е. скалярная свертка вектора параметров частных показателей эффективности изделий, в которых будут применяться разрабатываемая технология). Будем считать для упрощения иллюстрации подхода, что именно по этому скалярному критерию и делается в ходе программы НИР выбор оптимального набора технологий, которые будут применяться при создании наукоемкой продукции. В то же время к ВС различных ТК могут предъявляться различные требования (по весовому совершенству, аэродинамическому качеству и т.п.). Поэтому влияние рассматриваемой технологии на характеристики различных ТК может быть различным. И говоря об эффективности технологии, следует учитывать, в каких именно ТК она применяется, на какие их характеристики влияет и в какой степени. Пусть рассматриваемая  $i$ -тая технология имеет полезность  $U_i^{(k)}$  в составе  $k$ -той технической концепции ( $k = 1, 2 \dots N_i$ ). Для каждой  $i$ -ой технологии, в таком случае, следует рассматривать отражение её «глобальной полезности» в рамках всей АТС  $U_i^{(АТС)}$ . При оценке  $U_i^{(АТС)}$  необходимо учитывать широту применения данной технологии в различных ТК. Общую полезность технологии можно будет оценить как ее вклад в интегральную полезность на уровне надсистемы  $U_{\Sigma}^{(АТС)}$  в составе тех ТК, в которые она может быть внедрена.

Решение о включении  $i$ -й альтернативной технологии в программу очередного этапа НИР для прохождения очередного УГТ можно обозначить индикатором  $\delta_i$ , принимающим значения 1 в случае положительного решения, или 0, если данная альтернатива не будет исследоваться на очередном УГТ. Также на каждом УГТ (даже на самых низких, при анализе изолированных технологий) принимаются решения о рассмотрении определенного набора ТК, об их включении или исключении из программы прикладных НИР. Т.е. одновременно происходит отбор среди альтернативных технических концепций, решения о дальнейшем исследовании которых будут описываться функцией-индикатором  $\Delta_k$ , также принимающим значение 1 в случае принятия решения о рассмотрении  $k$ -й ТК и внедрении в одну из платформ надсистемы, или значения 0, если  $k$ -я ТК не рассматривается (и, соответственно, не учитывается влияние технологий на ее характеристики и, далее, на интегральные показатели эффективности надсистемы). Задача выбора альтернатив сводится к задаче максимизации глобальной функции полезности путем выбора исследуемых на очередном УГТ технологий и технических концепций (1):

$$U_{\Sigma}^{(АТС)} \rightarrow \max_{\{\delta_i, \Delta_k\}} \quad (1)$$

Наглядно примеры взаимосвязи отдельных технологий, перечня рассматриваемых ТК и интегральной эффективности АТС показаны на рис. 2.

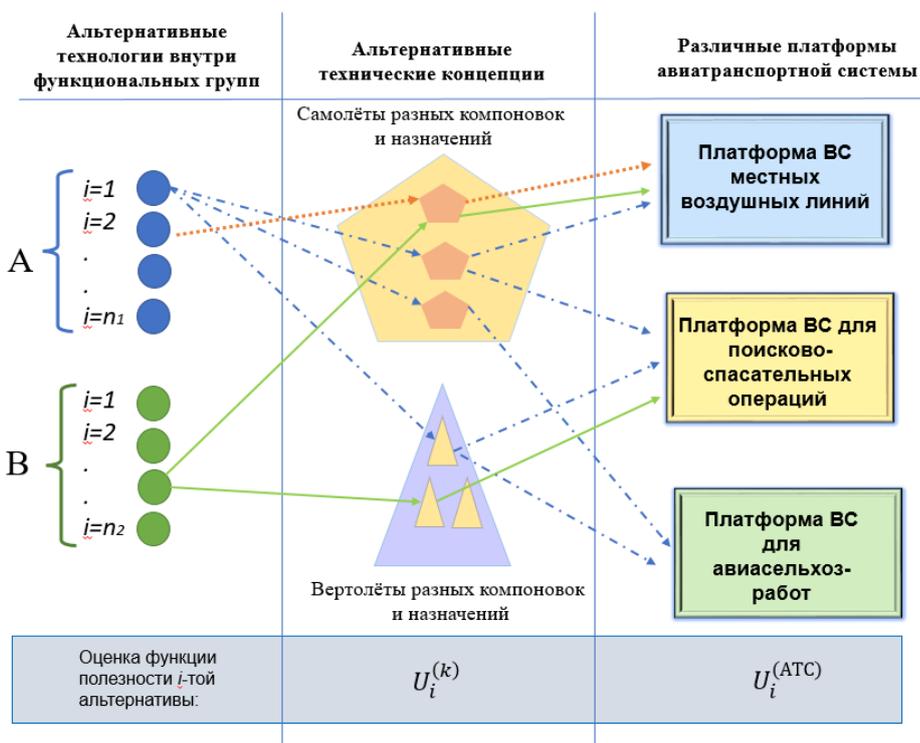


Рис. 2. Влияние альтернативных технологий на показатели эффективности надсистемы в рамках набора рассматриваемых технических концепций (пример)

В приведенном выше примере для альтернативы  $i=1$  из функциональной группы «А» (штрихпунктирные линии) иллюстрируется широкая диверсификация её внедрения в различных ТК, которые, в свою очередь, находят применение в нескольких сегментах АТС. Если, например, внедрение технологии мониторинга состояния авиационной техники поможет повысить безопасность полётов (одно из целевых требований к надсистеме) на всех классах и типах ВС, то «глобальная полезность» данной технологии будет неоспорима. Такие многоцелевые технологии с широкой диверсификацией области применения оправданно выделять среди прочих альтернатив и тратить на их разработку повышенное количество ресурсов.

Для сравнения, технология  $i=2$  из функциональной группы «А» (точечная линия) имеет узконаправленное применение в единственной концепции ВС МВЛ. Если оценка показателя «глобальной полезности» данной альтернативы (на данном УГТ с соответствующей ему точностью и достоверностью) не будет существенно выше первой:  $U_2^{(ATC)} \gg U_1^{(ATC)}$ , а также альтернатива не будет уникальной и незаменимой, то актуальность её разработки будет неприоритетной.

Показано, что параллельное внедрение технологий функциональной группы «В» (сплошная линия) будет влиять на совокупные показатели рассматриваемой ТК при внедрении в АТС. В рамках ТК возможна положительная или отрицательная синергия в различных сочетаниях альтернатив двух или более функциональных групп, что также следует учитывать при выборе состава альтернатив для определённой ТК.

Если технологии не являются многоцелевыми, т.е. не имеют широкой диверсификации применения, возможны следующие случаи:

Технология дает существенный выигрыш при внедрении в определенную ТК, которая, в свою очередь показывает высокую эффективность при внедрении в АТС.

Технология является эффективной при использовании в рамках конкретной ТК (например, технология снижения расхода топлива скоростных винтокрылых летательных аппаратов, ВКЛА), но при этом в рамках АТС внедрение самой по себе ТК (например, такие ВКЛА не займут значительного места в АТС), или ТК с такой технологией не дает существенного вклада в удовлетворение требований, предъявляемыми к надсистеме (например, не происходит ожидаемого увеличения доступности авиаперевозок в связи с высокой себестоимостью новой технологии).

Таким образом, при отборе альтернатив в рамках одной функциональной группы следует отдавать предпочтение тем технологиям, которые:

- а) имеют высокий уровень полезности как в составе ТК, так и при внедрении этих ТК в АТС;
- б) имеют наиболее широкое применение в рамках различных ТК.

Исключение составляют уникальные, «прорывные» технологии со сверхвысокой ожидаемой полезностью, пусть даже в рамках единственной технической концепции – причём, она в этом случае также будет играть существенную роль в надсистеме, а также технологии, дающие высокий синергетический эффект в сочетании с другими.

### 3. Заключение

В работе предложен подход к структурированию альтернатив – технологий и технических концепций – и задач их выбора в ходе прикладных научных исследований и разработок. Предложена общая постановка задачи определения рационального уровня диверсификации альтернативных технологий и технических концепций при переходе на следующий уровень готовности технологий, т.е. очередной этап прикладных НИР. Предложенный подход направлен на повышение уровня обоснованности принятия решений в ходе разработки и отбора технологий, а также при выборе технических концепций, в рамках которых оценивается их эффективность.

### Литература

1. *Рождественская С.М., Клочков В.В.* Формализация и тактическое управление процессом прикладных научных исследований и разработок (на примере авиастроения) / Труды 5-й научно-практической конференции «Управление научными исследованиями и разработками: роль науки в достижении национальных целей» (Москва, 2019). М.: ИПУ РАН: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2020. С. 56-74.
2. *Дутов А.В., Клочков В.В.* Диверсификация разработки технологий и управление научно-технологическими проектами в высокотехнологичной промышленности/Россия: тенденции и перспективы развития. 2022. №17-1.
3. *Clausing D., Holmes M.* Technology Readiness. Research Technology Management, Industrial Research Institute, — 2010. — 243 p.
4. Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance / US Department of Defense, 2011.