

УДК 338.262.8  
JEL O3

**МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ  
РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТА (НА ПРИМЕРЕ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ  
ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ  
САМОЛЕТОВ)**

© 2019 г. А.А. Сухарев, А.О. Власенко

*Межотраслевой аналитический центр*

*Предложен подход к выбору альтернативных вариантов реализации комплексных научно-технологических проектов на основе применения формализованных интегральных критериев времени и риска реализации проекта в рамках методологии дорожных карт. Описан пример адаптации подхода под задачу планирования комплексного научно-технологического проекта разработки технологий создания пассажирских самолетов местных линий.*

*Ключевые слова: научно-исследовательские работы, технологии, дорожная карта, управление, план, авиастроение, научно-технический задел*

**THE APPROACH FOR FORMALIZED SELECTION  
OF THE COMPLEX S&T PROJECTS PLAN ALTERNATIVES  
(CONSIDERED ON THE EXAMPLE OF THE ADVANCED COMMUTER  
AIRCRAFT TECHNOLOGIES DEVELOPMENT PLAN)**

© 2019 A.A. Sukharev, A.O. Vlasenko

*Intersectoral analytical center*

***Annotation:** An approach to the selection of alternative complex scientific and technology projects planning based on the use of formalized integrated criteria of time and risk of the project within the methodology of roadmaps is considered. Use of the approach is demonstrated in relation to the specific task - the evaluation and comparison of the alternative variants of the advanced commuter aircraft technologies development plan*

***Keywords:** S&T planning, technologies, roadmap, innovation management, aviation*

**Введение**

Наблюдаемый в настоящее время переход в стадию «зрелости» технологий, применяемых при производстве большинства типов современной

серийной гражданской авиатехники привел к обострению борьбы за долгосрочное лидерство на рынках гражданской авиатехники между ведущими мировыми центрами авиастроения, а также росту входных барьеров для новых игроков, включая российские компании.

В то же время прогресс в области создания легких и компактных электродвигателей, систем хранения электроэнергии, электроники и систем передачи данных позволил существенно расширить их применение в авиации и создать предпосылки создания новых видов авиатехники, обладающих ранее недостижимым сочетанием характеристик (например таких, как безопасные и малошумные аппараты вертикального взлета, самолеты продолжительного барражирования, ультраэкономичные региональные самолеты) и, как следствие, - привел к изменению существующих и формированию новых быстрорастущих сегментов рынков применения авиатехники, использующих эти новые качества («аэротакси», воздушная доставка «последней мили», мониторинг, связь и др.).

Для авиационно-промышленного комплекса России возможность создавать «более электрические» летательные аппараты (ЛА) предоставляет шанс на проникновение на мировой рынок через указанные сегменты, что делает критически важным создание научно-технического задела в области создания «электролетов».

В часто наблюдаемой ситуации, когда процессы опытно-конструкторских работ весьма высоко оптимизированы, победа в конкурентной борьбе за выигрыш по времени вывода инновационной продукции на рынок может быть обеспечена путем сокращения сроков предшествующей ОКР и значительно менее формализуемой стадии прикладных научных исследований, на которые, как показано в [1], сегодня может приходиться более половины совокупной длительности цикла создания наукоемкой продукции. В современной практике управления инновациями это достигается за счет (1) рационализации выбора исследований направлений исследований на ранних стадиях зрелости технологии и (2) последующего совмещения экспериментальной отработки сразу целого комплекса новых технологий путем создания экспериментальных образцов-демонстраторов в рамках комплексных научно-технологических проектов (КНТП).

Как правило на стадии научных исследований существует большое количество альтернативных вариантов технологий, приводящих к технической реализации требуемых качеств продукта (например, обеспечить перевозку груза в 500 кг на дальность 500 км за 1 час по воздуху можно как легким самолетом, так и скоростным вертолетом, и в рамках каждого из этих классов ЛА может быть найдено множество альтернативных технических концептов). Поэтому для сокращения сроков НИР в условиях ограниченных ресурсов актуальна задача рационального формирования плана НИР путем (1) нахождения альтернативных вариантов развития технологий и (2) выбора из них такого, который бы обеспечил минимальные сроки разработки технологий при сохранении технических рисков в диапазоне, приемлемом для бенефициаров НИР.

В статье предложен подход к решению указанной проблемы на основе методологии «дорожных карт» и дифференциации альтернативных вариантов планов НИР по формализованным критериям.

Практическая значимость работы состоит в том, что возможность обоснованного выбора сценария расширяет степень практического применения дорожных карт, так как позволяет использовать их не только в качестве средства визуализации, но и для принятия конкретных научно обоснованных управленческих решений.

### **Методика исследования**

Основой для формализации обоснования выбора варианта технологического развития служит методология «дорожных карт», модифицированная под решение задач планирования КНТП в области развития авиационных технологий.

Отличием предлагаемого подхода от уже применяемых в отечественной (например, [2], [3]) и зарубежной [4] практике заключается в том, что впервые в отечественной практике планирования развития технологий авиастроения в рамках методологии дорожных карт предложен инструмент, позволяющий выбрать сценарий технологического развития на основе сравнения альтернативных его вариантов по формализованным критериям.

Описание подхода представлено на примере конкретной задачи – выбору состава технологий, которые необходимо разработать для создания конкурентоспособных пассажирских самолетов местных линий (МВЛ) с гибридной (ГСУ) или электрической (ЭСУ) силовой установкой.

Метод подразумевает реализацию двух последовательных шагов:

1. Формирование альтернативных вариантов развития технологий.
2. Оценка уровня риска и времени реализации альтернативных вариантов развития технологий.
3. Выбор рекомендуемых вариантов технологического развития.

### **Шаг 1. Формирование альтернативных вариантов развития технологий.**

Цель первого шага – идентифицировать множество технологий, с помощью которых могут быть удовлетворены требования потребителей перспективной продукции. Для решения этой проблемы на первом шаге последовательно проводятся:

(1) Экспертно-аналитические исследования по определению требований рынка к основным качествам продукции. В рассматриваемом примере требования рынка представляют собой требования эксплуатантов к основным летно-техническим (ЛТХ) и экономико-техническим (ЭТХ) характеристикам самолетов определенной размерности, формализованных для каждого целевого рынка применения в вектор целевых характеристик перспективных изделий.

(2) Поиск или синтез принципиальных решений, на основе которых можно создать ЛА, удовлетворяющий, удовлетворяющего каждому из

наборов требований к продукту. Варианты принципиальных решений для новых ЛА МВЛ для целей разработки дорожной карты названы техническими концепциями (ТК<sub>i</sub>).

(3) Декомпозиция технических концепций на основные системы - технические решения (ТР<sub>j</sub>).

(4) Выделение в составе каждой системы компонентов технических решений (КТР<sub>n</sub>), - составляющих системы, характеристики которых определяют степень технического совершенства системы.

(5) Для каждого КТР<sub>n</sub> - идентификация проблем достижения целевых характеристик

(6) Нахождение множества новых технологий (НТ<sub>k</sub>), которые необходимы для обеспечения целевых характеристик.

Исходными данными для указанных процедур работ служат результаты научных и экспертно-аналитических исследований, которые должны предшествовать или сопутствовать процессу создания дорожной карты, направленные на всестороннее исследование интересов, с одной стороны, внешних заинтересованных сторон проекта, формирующих запрос на инновации и, с другой стороны, - возможностей участников научно-технологического проекта удовлетворить этот запрос.

В рамках рассматриваемой прикладной задачи каждому техническому концепту ТК, то есть облику летательного аппарата, удовлетворяющему ЛТХ и ограничениям, должны быть поставлены в соответствие один или несколько вариантов новых технических решений {ТР} по основным группам входящих в него систем: (1) планеру, (2) силовой установке, (3) радиоэлектронному и (4) общесамолетному оборудованию. В свою очередь, {ТР} декомпозируются до {КТР} – множества составляющих их технических компонентов. Каждой из планируемых к разработке технологий множества {НТ<sub>k</sub>} ставится в соответствие как минимум 1 элемент {КТР} и (или) {ТР}.

Примеры указанных объектов приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Примеры элементов структурной декомпозиции**

Уровень иерархии ДК	Класс элемента	Обозначение	Примеры
1	Технический концепт	ТК <sub>i</sub>	Демонстратор 2-винтового высокоплана с гибридной силовой установкой, нормальной схемы короткого взлета и посадки
2	Техническое решение	ТР <sub>j</sub>	Демонстратор гибридной СУ с параллельным приводом 80 кВт

3	Компоненты технического решения	КТР <sub>n</sub>	Демонстратор - Электродвигатель ГСУ 80 кВт Демонстратор - Топливный элемент ГСУ 80 кВт Демонстратор - ГТД для ГСУ 80 кВт
4	Технологии, необходимые для разработки ТР	НТ <sub>k</sub>	Новые катализаторы для твёрдооксидных и твёрдополимерных ТЭ

Результат описанной выше декомпозиции может быть проиллюстрирован схемой, подобной представленной на рисунке 1. Однако на практике при значительном количестве элементов множеств {ТК}, {ТР}, {КТР}, {НТ} графическая интерпретация результатов может быть проблематичной. Поэтому результат структурирования связей рекомендуется формировать в виде базы данных.

При ее создании взаимная связь элементов ТК, ТР, КТР, НТ удобно обеспечить за счет связи по ключевым полям таблиц, в которых каждой записи (то есть элементу структурной декомпозиции) назначен уникальный код по стандартизируемым маскам.

Например, при формировании дорожной карты разработки технологий МВЛ для структуризации данных была использована система из отдельных таблиц записи для каждого уровня декомпозиции - ТК, ТР, КТР, НТ. Маска кода для компонента технического решения имела вид

ТР[размерность]-[класс систем]-[№№№№]-[Вариант],

где:[размерность] – пассажировместимость ЛА

[класс систем] - один из вариантов: «ПЛ» -планер; «РО» - радиоэлектронное оборудование; «СУ» - силовая установка; «ОС» - общесамолетное оборудование.

[№№№] - 2-значный порядковый номер технологического решения

[Вариант] – индекс конструктивно одинаковых вариантов компонентов с разными показателями технических характеристик (например, генераторы переменного тока одной конструкции, но разной мощности).

Таким образом, в результате первого шага каждому вектору целевых характеристик будет поставлено в соответствие множество путей их достижения за счет применения различных сочетаний технических решений, основанных, в свою очередь, на различных сочетаниях новых технологий. Это количество сочетаний, как правило, довольно велико, что приводит к необходимости формализации процесса обоснованного выбора в пользу того или иного из вариантов на следующем шаге.

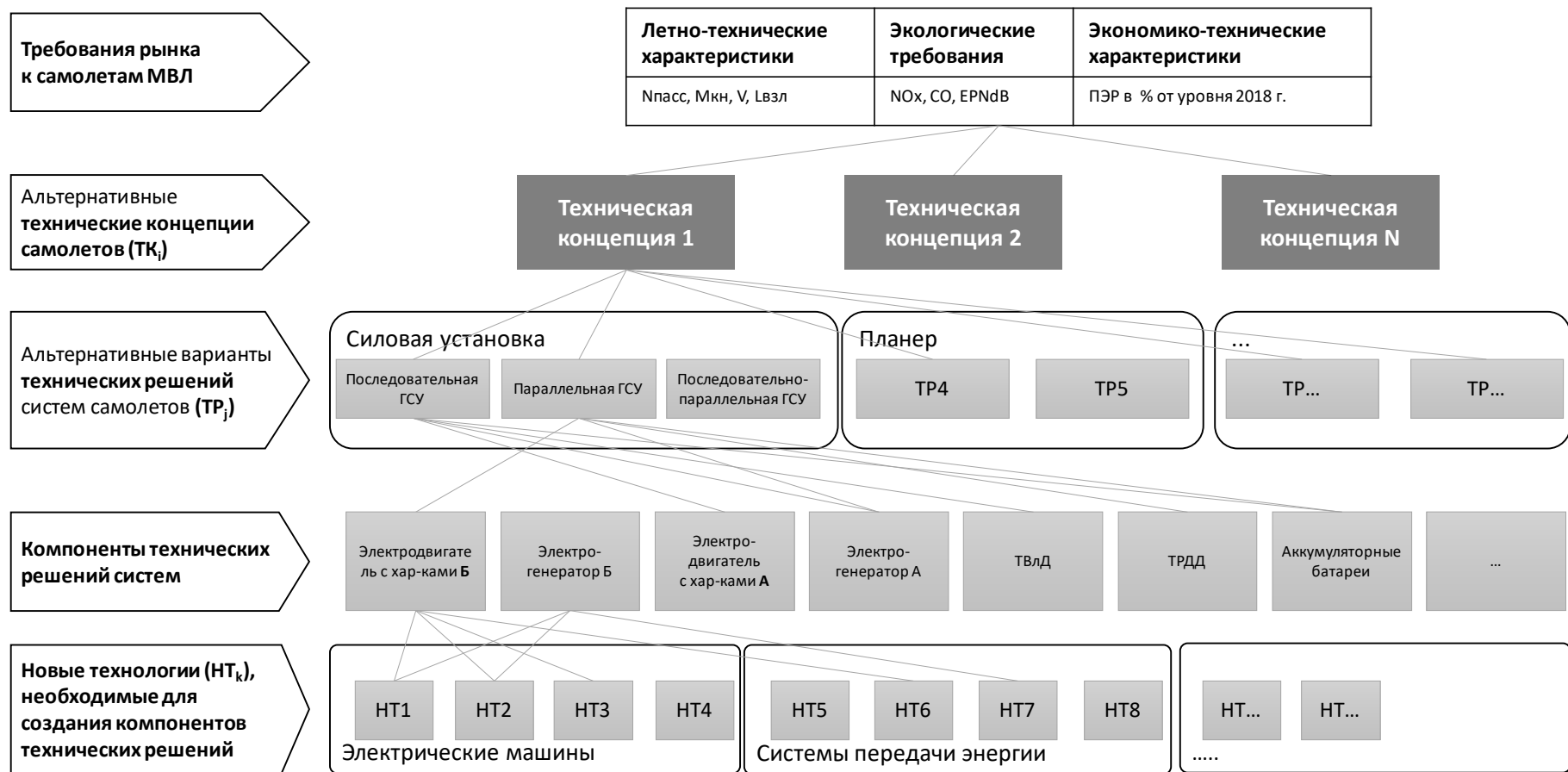


Рисунок 1 – Структурная декомпозиция альтернативных вариантов технических концепций, на примере гражданского самолета местных линий (связи уровень КТР и НТ не показаны)

## **Шаг 2. Оценка уровня риска и времени реализации альтернативных вариантов развития технологий**

Суть предлагаемого подхода к ранжированию заключается в упорядочивании вариантов технических концептов {ТК} и соответствующих им наборов технологий {НТ}, которые обеспечивают создание входящих в него вариантов ТР с приемлемым для лица принимающего решение сочетанием сроков и показателя уровня риска создания того или иного технического концепта.

Необходимо отдельно пояснить выбор критериев сравнения вариантов технологического развития. Как известно из практики управления проектами, (например, [5]) в общем случае при сравнении альтернативных вариантов разработки технологий целесообразно учитывать следующие факторы:

- время, необходимое для реализации технологической концепции;
- уровень риска, характеризующий реализацию варианта технологической концепции;
- объем потребных инвестиций в разработку технологий для реализации варианта технологической концепции, возможность ее уменьшения за счет кооперации организаций авиационной науки и научных комплексов других программ разработки универсальных (применимых в нескольких отраслях экономики) технологий;
- возможность достижения не только требуемых технических характеристик, но и цены, приемлемой для потенциальных потребителей компонентов технических решений;
- возможность масштабирования технологии.

Оптимизируемые технологические концепции должны соответствовать следующим необходимым условиям:

1. Удовлетворять требованиям рынка, формируемым:
  - требованиями российских эксплуатантов к летно-техническим и эксплуатационным характеристикам ВС;
  - требованиями обеспечения конкурентоспособности по сравнению с перспективными ЛА зарубежного производства.
2. Удовлетворять нормативным требованиям, предъявляемым представителями регуляторов в сфере воздушного транспорта к свойствам и характеристикам ЛА, в частности, выражаемых в сертификационных требованиях к ЛА, дополнительных требованиях по уровню экологического совершенства.

Рамки научно-технических проектов ограничены как правило, стадией НИР, то есть доведением технологий до уровня готовности менее TRL=6 по шкале уровней готовности технологий [6]. Это определяет объективно высокую вариативность оценок возможных оценок стоимости создания и цены получаемых компонентов, в силу характерной для этих уровней зрелости высокой степени неопределенности - как возможности разработки технологии, так и оценок объемов ресурсов, потребных на ее доведение до стадии внедрения. Таким образом, большинство из перечисленных выше факторов сложно поддаются формализации и оценке в виде отдельных

критериев. Как правило, дисперсия таких оценок тем больше, чем ниже стадия проработки технологии и, соответственно – выше неопределенность создания конечных изделий на их основе. Отказ авторов от их использования для выбора вариантов технологического развития обусловлен стремлением снизить вероятность появления искаженных оценок.

Таким образом, в качестве критериев сравнения вариантов предлагается рассматривать:

- Время разработки технического концепта - возможное время достижения технологиями уровня, достаточного для создания того или иного технического концепта самолета МВЛ;

- Относительный уровень риска, связанного с разработкой данного варианта комплекса технологий по сравнению с прочими вариантами. Дополнительно к критерию риска, основанному на оценках TRL технологий, образующих КТР, ТР, ТК, предлагается ввести критерий наличия потенциального интегратора системы или возможность формирования интегратора системы к сроку готовности технологий. Данный критерий будет дискретным, принимая значение 0, если такой компании нет и создать ее невозможно, и 1 в противном случае.

В этом случае требования по соответствию требованиям рынка учитывается на этапе определения множества технических концептов, соответствующих требованиям рынка к характеристикам продукта. Требования по возможности масштабирования технологий учитываются на этапе выбора компонентов иерархии «дерева решений». Немасштабируемые технологии исключаются из рассмотрения. Фактор эффективности инвестиций опосредованно учитывается за счет соблюдения принципов:

- предпочтения менее рискованных альтернатив реализации требований к ЭТХ и ЛТХ. Меньший риск реализации технического концепта означает, что для его реализации требуется меньшее количество критических технологий с низким TRL, что, в свою очередь, свидетельствует о более глубокой проработке данных технологий, а значит – более высокой вероятности того, что вложения в их доработку окажутся меньше, чем при начале работ по альтернативным, но менее проработанным тематикам.

- предпочтение из альтернативных вариантов, удовлетворяющих граничным условиям по времени, варианта с более высоким градиентом совершенствования характеристики, а значит, с предположительно большим потенциальным уровнем конкурентоспособности и, следовательно - экономическим эффектом от ее разработки.

На втором шаге проводятся следующие действия:

- (1) Получение оценок времени необходимого для доведения {КТР}, входящих в состав {ТР} каждого из альтернативных ТК, до уровня, достаточного для создания этого ТК, путем разработки соответствующих этому {КТР} набору технологий {НТ}.

- (2) Оценка уровня рисков, необходимых для доведения {КТР}, входящих в состав {ТР} каждого из альтернативных ТК, до уровня, достаточного для создания этого ТК, путем разработки соответствующих



этому {КТР} набора технологий {НТ}. Расчет комплексного критерия риска реализации для каждого элемента каждой из иерархических структур, полученных на первом шаге.

(3) Ранжирование альтернативных вариантов технических концептов критериям. Исключение технических концептов, не удовлетворяющих граничным условиям по срокам и рискам реализации.

Проводятся исследования и экспертные оценки, направленные на формирование исходных данных, необходимых для произведения перечисленных действий.

Время разработки технического концепта может быть оценено как

$$T^{ТК} = \max(T_j^{ТР}),$$

Где  $T_j^{ТР}$  - время, за которое j-ое ТР достигнет требуемого уровня характеристик. Для задачи создания технологий летательного аппарата, при наличии достаточных исходных данных его предлагается определять как:

$$T_j^{ТР} = \max(T_{M_j}^{ТР}, T_{Э_j}^{ТР}),$$

где:

$T_{M_j}^{ТР}$  - время достижения потребного весового совершенства {ТР} для реализации данного ТК;

$T_{Э_j}^{ТР}$  - время на достижения потребного экономического совершенства {ТР} для реализации данного ТК.

Время достижения весового/экономического совершенства  $T_{M_j}^{ТР}$  или  $T_{Э_j}^{ТР}$  системы для авиатехники может быть вычислено из «уравнения существования летательного аппарата»:

$$m_0 = \frac{\sum m}{\sum \bar{m}}, \quad (1)$$

где  $m_0$  - максимальная взлетная масса самолета,  $\sum m$  и  $\sum \bar{m}$  – сумма абсолютных и относительных масс всех составляющих  $m_0$ .

1. В случае, если заданы лимитные массы технических решений, время  $T_{M_j}^{ТР}$  находим из формулы (1), записанной в виде:

$$\sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{M,COBij})^{T_{M_j}^{ТР} - 1}}{q_{Mi,j}^{КТР}} \cdot Q_{целевоеij}^{КТР} = M_{limj}^{ТР},$$

2. При неизвестных значениях лимитных масс для ТР, вместо поиска времени  $T_{M_j}^{КТР}$  для каждого технического решения ТР<sub>j</sub> найдем  $T_M^{КТР}$  (приняв допущение, что  $T_{M_j}^{КТР} = T_M^{КТР}, \forall j$ ) из более общего ограничения на суммарную массу ТК:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{m\_cov,i,j})^{T_{M_j}^{TP} - 1}}{q_{M,i,j}^{KTP}} \cdot Q_{целевое,i,j}^{KTP} = \sum_{j=1}^N M_{lim,j}^{TP} \cong M_0^{TK} \cdot (1 - \overline{m_{к.н.}} - \overline{m_{т.}} - \sum \overline{m_{н.о.с.}})$$

где:

$M_{lim,j}^{TP}$  – лимитная масса j-того (j=1..N) технического решения TP<sub>j</sub> в составе ТК;

$N$  – количество TP<sub>j</sub> в составе ТК;

$n_j, a_{i,j}$  – количество и кратность компонентов {КТР}, входящих в состав TP<sub>j</sub>, соответственно;

$q_{M,i,j}^{KTP}$  – текущее весовое совершенство i-го КТР в составе TP<sub>j</sub>, выраженное в виде удельного характерного показателя системы ([ед.изм]/кг) (например, кВт/кг);

$Q_{целевое,i,j}^{KTP}$  – целевое значение характерного показателя i-го КТР, которое обеспечит возможность создания j-го технического решения TP<sub>j</sub>;

$k_{m\_cov,i,j}$  – оценка ежегодного темпа улучшения  $q_{M,i,j}^{KTP}$  (весового совершенства системы);

$M_0^{TK}$  – максимальная взлетная масса ТК;

$\overline{m_{к.н.}}$  – относительная масса коммерческой нагрузки для ТК;

$\overline{m_{т.}}$  – относительная масса топлива для ТК;

$\sum \overline{m_{н.о.с.}}$  – относительная масса не оптимизируемых систем ТК.

Аналогично, время на достижение потребного экономического совершенства  $T_{эj}^{KTP}$  и  $T_{э}^{KTP}$  определяются из следующих соотношений:

$$\sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{э\_cov,i,j})^{T_{эj}^{TP} - 1}}{q_{э,i,j}^{KTP}} \cdot Q_{целевое,i,j}^{KTP} = P_{lim,j}^{TP},$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{э\_cov,i,j})^{T_{эj}^{TP} - 1}}{q_{э,i,j}^{KTP}} \cdot Q_{целевое,i,j}^{KTP} = P_0^{TK} - \sum P_{н.о.с.},$$

где:

$P_{lim,j}^{TP}$  – лимитная стоимость j-того технического решения TP в составе ТК;

$N$  – количество TP<sub>j</sub> в составе ТК;

$n_j, a_{i,j}$  – количество и кратность компонентов {КТР}, входящих в состав TP<sub>j</sub>, соответственно;

$q_{э,i,j}^{KTP}$  – оценка удельной характеристики, отнесенной к стоимости стоимости компонента ([ед.изм]/[долл. США]) (например, кВт/\$) – мера экономического совершенства компонентов {КТР} данного TP<sub>j</sub>;

$Q_{целевое,i,j}^{KTP}$  – целевое значение характерного показателя i-го КТР, которое обеспечит возможность создания j-го технического решения TP<sub>j</sub>;

$k_{э\_cov,i,j}$ ; [%] – оценка ежегодного темпа улучшения  $q_{э,i,j}^{KTP}$  (экономического совершенства системы);

$P_0^{TK}$  – требуемая максимальная стоимость ТК;

$\Sigma P_{н.о.с.}$  – сумма прогнозных рыночных цен не оптимизируемых систем.

Оценка уровня риска, связанного с созданием технического концепта последовательно проводится для НТ, КТР, ТР и ТК, то есть в направлении от нижнего в верхнему уровню иерархической структуры, связывающей указанные элементы.

Риски реализации для КТР<sub>i</sub> оцениваются через риски, соответствующие используемым при их создании новым технологиям (НТ<sub>k</sub>); для ТР<sub>j</sub> – через риски образующих их КТР<sub>i</sub>, а для ТК – через риски образующих их ТР<sub>j</sub>. Связи определенные на шаге 1 выступают при этом как бы ветвями классической причинно-следственной «диаграммы Исикавы», в узлах которой находятся указанные элементы структурной декомпозиции.

Для каждой новой технологии НТ<sub>k</sub> определяется:

(1) показатель риска, характеризующий вероятность неудачи в ее создании - то есть недостижения уровня совершенства, позволяющего сообщить требуемые качества техническому решению, использующему эту технологию.

(2) степень критичности технологии для КТР<sub>i</sub> в баллах по дискретной шкале:

Вычисление последней актуально, если перечень технологий, ассоциированный с каким либо техническим решением (или его компонентом) включает в себя элементы с неравнозначной степенью влияния отказа от применения технологии на конкурентоспособность создаваемого продукта. В противном случае рекомендуется признать равным влияние неудачи в разработке каждой НТ, ассоциированных с КТР.

Для решения задачи, представленной в качестве примера, степень критичности оценивалась для технологий экспертно по дискретной шкале:

«1» - снижение характеристик КТР. Возможность создания ТР сохраняется. Снижение характеристик ТР в может быть компенсировано за счет других КТР и/или модификации конструкции;

«2» - снижение характеристик КТР. Возможность создания ТР сохраняется. Снижение характеристик ТР не может быть компенсировано за счет других КТР и/или модификации конструкции;

«3» - технология витальна. Отказ от использования приведет к невозможности создания ТР, в состав которого входит компонент, ассоциированный с технологией.

Риск неудачи создания новой технологии найдем зависящим от ее текущего уровня готовности – показателя TRL, оценка которого для каждой технологии используется в качестве входных данных. Обозначив событие достижения в будущем новой технологией k (НТ<sub>k</sub>) высокого уровня готовности через  $A_k$  (например,  $A_k = "TRL'_{НТ_k} = 6"$ ), получим:

$$R(НТ_k) = 1 - P(A_k | TRL_{НТ_k}),$$

где  $P(A_k | TRL_{HT_k})$  – условная вероятность выхода НТ на шестой уровень готовности при заданном текущем уровне готовности  $TRL_{HT_k}$ .

Тогда для группы технологий с одинаковым уровнем критичности (в нашем примере - три таких группы) совокупный риск определяется с использованием вероятностного подхода:

$$R_{crit} = 1 - P(A_1 | TRL_{HT_1}) \cdot P(A_2 | TRL_{HT_2} A_1) \cdot \dots \cdot P(A_k | TRL_{HT_k} A_1 \dots A_{k-1})$$

С учетом степеней критичности показатель риска несоздания (недостижения требуемых характеристик)  $KTP_i$  предлагается определять как

$$R_{HT}^{KTP_i} = \frac{R_{crit=1} \cdot 1 \cdot N_1 + R_{crit=2} \cdot 2 \cdot N_2 + R_{crit=3} \cdot 3 \cdot N_3}{1 \cdot N_1 + 2 \cdot N_2 + 3 \cdot N_3}, (2)$$

где:

$R_{crit=1}$ ,  $R_{crit=2}$ ,  $R_{crit=3}$  – показатель риска несоздания технологий для групп технологий с разной степенью критичности;

$N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  – количество технологий, входящих в группы критичности с первой по третью соответственно.

Аналогично определяется показатель риска для  $TP_j$  из значений риска  $KTP_i$ , образующих  $TP_j$ :

$$R_{KTP}^{TP_j} = \left( 1 - \frac{n_j}{\sum_{i=1}^{n_j} \frac{1}{(1 - R_{HT}^{KTP_i})}} \right), (3)$$

где:

$R_{HT}^{KTP_i}$  – риск несоздания  $i$ -го  $KTP$ , образующего  $j$ -ое  $TP$ ;

$n_j$  – количество компонентов  $\{KTP\}$ , входящих в состав  $j$ -ого  $TP$ .

Наконец, показателей риска для  $TK$  определяется из значений показателей риска  $TP_j$ , образующих  $TK$ , аналогично выражению (3).

$$R_{TP}^{TK_k} = \left( 1 - \frac{N_k}{\sum_{j=1}^{N_k} \frac{1}{(1 - R_{KTP}^{TP_j})}} \right), (4)$$

где:

$R_{KTP}^{TP_j}$  – показатель риска несоздания  $j$ -го  $TP$ , образующего  $k$ -ый  $TK$ ;

$N_k$  – количество  $TP$  в составе  $k$ -го  $TK$ ;

Итоговые значения показателя риска с учетом фактора наличия или отсутствия компаний-интеграторов систем будет определяться по формуле:

$$R_{\text{итог}} = \begin{cases} 1 & , \text{ при } E_{\text{произв}} = 0 \\ R_{\text{технол}} & , \text{ при } E_{\text{произв}} = 1 \end{cases} ,$$

где:

$R_{\text{итог}}$  – итоговое значение показателя риска несоздания для КТР, ТР или ТК;

$E_{\text{произв}}$  – критерий наличия потенциального интегратора системы или возможность формирования интегратора системы к сроку готовности технологий (1 если истина и 0 в противном случае);

$R_{\text{технол}}$  – показатель уровня риска несоздания для КТР, ТР или ТК, вычисляемый по формулам (2)-(4)).

### **Шаг 3. Выбор рекомендуемых вариантов технологического развития**

На заключительном шаге из множества технических концептов выбираются ограниченное количество предпочтительных, основываясь на оценках критериев R и T.

Необходимо отметить, что выбор оптимального варианта зависит от конкретных целей и стратегических установок управленцев, принимающих решение о выборе варианта развития технологий. Для развития авиационной науки как правило характерна установка на достижение результата в допустимые сроки с наименьшим риском. В этом случае:

(1). Исключаются варианты, не удовлетворяющие требованию по максимально допустимому времени разработки:

$$T_i^{\text{ТК}} \leq T_{\text{потр}}, \text{ где}$$

$T_{\text{потр}}$  – потребное время разработки исходя из требований эксплуатантов и (или) требований конкурентоспособности.

(2) Из оставшихся вариантов предлагается альтернативные ТК, обладающие наименьшим интегральным риском реализации. Близкие по значениям критериев R и T варианты можно считать равнозначными.

Однако допустимы и иные варианты трактовки, соответствующие более агрессивным стратегиям технологического развития. Например, для ликвидации технологического отставания вместо наименее рискованных вариантов развития целесообразно выбирать те, в которых будут использованы КТР с высокими прогнозными динамиками улучшения удельных характеристик изделий. Указанная тема выходит за рамки настоящей статьи и будет рассмотрена авторами в рамках отдельной публикации.

## Заключение

Предложен и описан методический подход к выбору вариантов реализации комплексных проектов формирования научно-технического задела как инструмента для формализации выбора перечня новых технологий, разработка которых необходима для создания технических объектов с заданным уровнем характеристик. Определен перечень исходных данных, необходимых для реализации методики.

Представленный в статье методический подход имеет целью упростить практическое прикладное применение результатов разработки «дорожных карт» развития технологий. Его применение позволяет существенно снизить риски ошибок при выборе долгосрочной стратегии технологического развития за счет (1) сокращения с нескольких десятков или сотен до единиц рассматриваемых альтернативных вариантов, технологического развития, (2) использования научно обоснованных исходных данных при формировании критериев времени и риска реализации сценариев.

Применение подхода продемонстрировано на примере выбора варианта развития технологий для создания самолетов местных воздушных линий, однако предлагаемые принципы могут быть или адаптированы для применения при планировании широкого класса инновационных технологических проектов.

## Литература

1. Ключков В.В., Рождественская С.М. Современные принципы управления прикладными исследованиями в авиационной науке // Интеллект и технологии. 2016. № 1 (13). С. 58-63.
2. Комаров А. В., Петров А. Н., Сартори А. В. (2018) Модель комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов // Экономика науки. Т. 4. № 1. С. 47–57
3. Карасев О. И., Соколов А. В., Афанасьев А. А. и др. Композиционные материалы: производство углеродных волокон и продуктов на их основе. Дорожная карта // М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2013.
4. Brown R., Phaal R. The use of technology roadmaps as a tool to manage technology developments and maximize the value of research activity / Brown R., Phaal R. // IMechE Mail Technology Conference, Brighton 2001.
5. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®). Пятое издание. ISBN 978-1-62825-008-4 / Project Management Institute, Inc. М.: Олимп-бизнес, 2018.
6. Markins J.C. Technology Readiness Levels: A White Paper / Advanced Concepts Office of Space and Technology NASA. – 1995 [Электронный ресурс]: <https://snebulos.mit.edu/projects/reference/NASA-Generic/TechnologyReadinessLevels.pdf> [дата обращения 01.07.2019]

7. Technology Readiness Level Definitions / National Aeronautics and Space Administration [Электронный ресурс]: [https://www.nasa.gov/pdf/458490main\\_TRL\\_Definitions.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf) [дата обращения 01.07.2019]
8. Technology Readiness Assessment Guide / U.S. Government Accountability Office (GAO) [Электронный ресурс]: <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf> [дата обращения 01.07.2019]
9. Evaluating Technology Readiness – A Formal Equation / Wellspring [Электронный ресурс]: <https://www.wellspring.com/blog/2016/08/01/evaluating-technology-readiness-a-formal-equation> [дата обращения 01.07.2019]
10. Contextual Role of TRLs and MRLs in Technology Management / Sandia National Laboratories (SNL) [Электронный ресурс]: <https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2010/107595.pdf> [дата обращения 01.07.2019]

## References

1. Klochkov V.V., Rozhdestvensky S.M. Modern principles of management of applied research in aviation science // *Intellect and technology*. 2016. № 1 (13). P. 58-63.
2. Komarov A.V., Petrov A.N., Sartori A.V. (2018) Model of a comprehensive assessment of the technological readiness of innovative scientific and technological projects // *Economics of Science*. Vol. 4. No. 1. P. 47-57
3. Karasev OI, Sokolov A.V., Afanasyev A.A. and others. Composite materials: the production of carbon fibers and products based on them. Roadmap // M.: HSE Publishing House, 2013.
4. Brown R., Phaal R. The use of technology roadmaps as a tool to manage technology developments and maximize the value of research activity / Brown R., Phaal R. // *IMEchE Mail Technology Conference*, Brighton, 2001.
5. Guide to the Body of Knowledge in Project Management (PMBOK® Guide). Fifth edition. ISBN 978-1-62825-008-4 / Project Management Institute, Inc. M.: Olympus business, 2018.
6. Markins J.C. Technology Readiness Levels: A White Paper / Advanced Concepts Office of Space and Technology NASA. – 1995  
URL: <https://snebulos.mit.edu/projects/reference/NASA-Generic/TechnologyReadinessLevels.pdf> [01.07.2019]
7. Technology Readiness Level Definitions / National Aeronautics and Space Administration URL: [https://www.nasa.gov/pdf/458490main\\_TRL\\_Definitions.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf) [01.07.2019]
8. Technology Readiness Assessment Guide / U.S. Government Accountability Office (GAO) URL: <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf> [01.07.2019]
9. Evaluating Technology Readiness – A Formal Equation / Wellspring URL: <https://www.wellspring.com/blog/2016/08/01/evaluating-technology-readiness-a-formal-equation> [01.07.2019]
10. Contextual Role of TRLs and MRLs in Technology Management / Sandia National Laboratories (SNL) URL: <https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2010/107595.pdf> [01.07.2019]