

УДК 338.262.8

JEL O3

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-4-126-139

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

© А.А. Сухарев, А.О. Власенко 2019

Межотраслевой аналитический центр, г. Москва, Россия

Предложен подход к выбору альтернативных вариантов реализации комплексных научно-технологических проектов на основе применения формализованных критериев времени и относительного риска реализации проекта в рамках методологии дорожных карт. Описан пример адаптации подхода под задачу планирования 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)**

© А.А. Sukharev, А.О. Vlasenko 2019

Intersectoral analytical center, Moscow, Russia

An approach to the selection of alternative complex scientific and technology projects planning based on the use of formalized execution time and relative risk of the project criteria within the methodology of roadmaps is considered. Application of the approach is demonstrated in relation to the evaluation and comparison of the alternative variants of the advanced commuter aircraft technologies development plan.

Key words: S&T planning, technologies, roadmap, innovation management, aircraft construction, scientific and technical background.

Введение

Наблюдаемый в настоящее время переход в стадию «зрелости» технологий, применяемых при производстве большинства типов современной серийной гражданской авиатехники, привел к обострению борьбы за дол-

госрочное лидерство на рынках 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 для создания новых видов авиатехники, обладающих ранее недостижимым сочетанием характеристик (например, таких, как безопасные и малозумные 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 определяется выигрышем по времени вывода инновационной продукции на рынок. Он может быть обеспечен 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 части управления инновациями это достигается за счет: 1) рационализации выбора исследований направлений исследований на ранних стадиях зрелости технологии; 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, а 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; 2) выбора из них такого, который бы обеспечил минимальные сроки разра-

ботки технологий при сохранении технических рисков в диапазоне, приемлемом для бенефициаров НИР.

В статье предлагается 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 область практического применения технологических дорожных карт в практике управления российской авиационной наукой, так как позволяет использовать их не только в качестве средства визуализации прогнозных или форсайтных исследований, но и для научно обоснованного принятия конкретных управленческих решений.

Методика исследования

Предложенный подход основан на методологии «дорожных карт», модифицированной под решение задач планирования КНТП в области развития авиационных технологий.

Отличием подхода от уже применяемых в отечественной (например, [2], [3]) и зарубежной [4] практике заключается в том, что впервые в отечественной практике планирования развития технологий авиационной отрасли 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 – выборе состава технологий, которые необходимо разработать для создания конкурентоспособных пассажирских самолетов местных линий (МВЛ).

Метод подразумевает реализацию 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 они 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 каждому из наборов требований к продукту. Варианты принципиальных решений для новых ЛА МВЛ для целей разработки дорожной карты названы техническими концепциями (ТК_i).

3. Декомпозиция технических концепций на основные системы – технические решения (ТР_j).

4. Выделение в составе каждой системы компонентов технических решений (КТР_n), – составляющих системы, характеристики которых определяют степень технического совершенства системы и, что принципиально важно, – нуждаются в улучшении.

5. Для каждого КТР_n – идентификация проблем достижения целевых характеристик и направлений их улучшения.

6. Нахождение множества новых технологий (НТ_k), которые необходимы для обеспечения целевых характеристик КТР и, соответственно, ТР.

Исходными данными для указанных процедур 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; 4) общесамолетному оборудованию. В свою очередь, {ТР} декомпозируются до {КТР} – множества составляющих их технических компонентов. Каждой из планируемых к разработке технологий множества {НТ_k} ставится в соответствие как минимум один элемент {КТР} и (или) {ТР}.

Примеры указанных объектов приведены в табл. 1.

Результат описанной выше декомпозиции может быть проиллюстрирован схемой, подобной представленной на рис. 1. Однако на практике при значительном количестве элементов множеств {ТК}, {ТР}, {КТР}, {НТ} графическая интерпретация результатов оказывается затруднена в силу большого количества элементов и их связей. 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.

Примеры элементов структурной декомпозиции Таблица 1

Уровень иерархии ДК	Класс элемента	Обозначение	Примеры
1	Технический концепт	TK _i	Демонстратор 2-винтового высокоплана с гибридной силовой установкой, нормальной схемы короткого взлета и посадки
2	Техническое решение	TP _j	Демонстратор гибридной СУ с параллельным приводом 80 кВт
3	Компоненты технического решения	KTP _n	Демонстратор – Электродвигатель ГСУ 80 кВт Демонстратор – Топливный элемент ГСУ 80 кВт Демонстратор – ГТД для ГСУ 80 кВт
4	Технологии, необходимые для разработки TP	HT _k	Новые катализаторы для твердооксидных и твердополимерных ТЭ

Например, при формировании дорожной карты разработки технологий МВЛ для структуризации данных была использована система из отдельных таблиц записи для каждого уровня декомпозиции – ТК, TP, KTP, HT. Маска кода для компонента технического решения имела вид:

TP[размерность]-[класс систем]-[№№]-[Вариант],
 где [размерность] – пассажироместность 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 компонентов одинаковой конструкции, но с разными показателями технических характеристик (например, однотипные электрогенераторы разной мощности).

Таким образом, в результате первого шага каждому вектору целевых характеристик требуется сопоставить множество технических концепций, основанных различных сочетаниях технических решений, использующих, в свою очередь, различные сочетания новых технологий. Это количество сочетаний, как правило, довольно велико, что приводит на следующем шаге к необходимости формализации процесса обоснованного выбора в пользу того или иного из вариантов.

Шаг 2. Оценка уровней относительного риска и времени реализации альтернативных вариантов развития технологий

На данном шаге для сформированных вариантов реализации ТК и связанных с ним TP, KTP и HT оцениваются сроки и относительный уровень риска их создания.

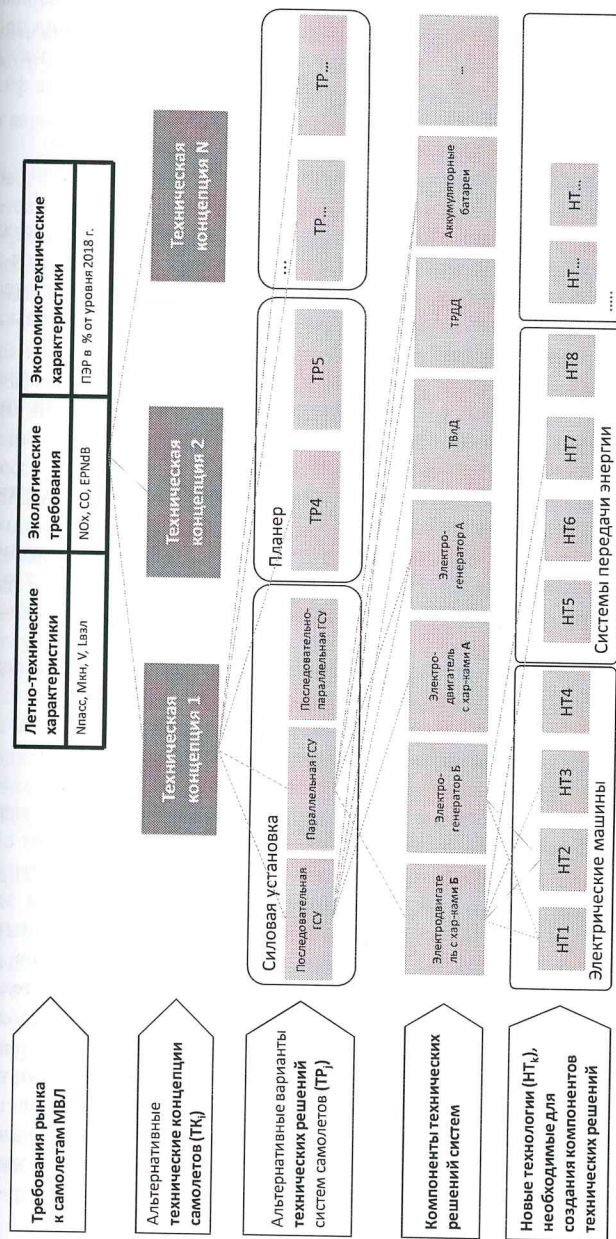


Рис. 1. Принципиальная схема декомпозиции альтернативных вариантов технических концепций, на примере гражданского самолета местных линий

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 технической концепции;
- уровень риска, характеризующий реализацию варианта технической концепции;
- объем потребных инвестиций в разработку технологий для реализации варианта технической 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.

Рассматриваемые технологические концепции должны соответствовать следующим необходимым условиям:

1. Удовлетворять требованиям эксплуатантов к летно-техническим и эксплуатационным характеристикам ВС и требованиям обеспечения конкурентоспособности по сравнению с перспективными ЛА зарубежного производства.

2. Удовлетворять нормативным требованиям, предъявляемым регуляторами 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-технологических 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 готовности высокой степени неопределенности – самой возможности разработки технологии, и тем более – оценок объемов ресурсов, потребных на ее доведение до стадии внедрения. Таким образом, для технологий с $TRL \leq 6$, большинство из перечисленных выше факторов сложно поддаются формализации и оценке вида отдельных критериев. Как правило, дисперсия таких оценок тем больше, чем ниже стадия проработки технологии и, соответственно, – выше неопределенность создания конечных изделий на их основе. С целью снизить вероятность появления искаженных оценок критериев было решено отказаться от использования потенциально недостоверных критериев. В качестве критериев сравнения вариантов предлагается рассмотреть:

– время разработки технического концепта (T) – возможное время достижения технологиями уровня, достаточного для создания того или иного технического концепта самолета МВЛ;

– относительный уровень риска (R), 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 интегратора нет и сформировать его невозможно, и 1 – в противном случае.

Соответствие характеристик продукта требованиям рынка учитывается на этапе определения множества технических концептов. 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 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.

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} набора 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 относительного 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

$$T^{TK} = \max(T_j^{TP}),$$

где T_j^{TP} – 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:

$$T_j^{TP} = \max(T_{M_j}^{TP}, T_{\mathcal{E}_j}^{TP}),$$

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

$T_{\mathcal{E}_j}^{TP}$ – время на достижения потребного экономического совершенства {ТР} для реализации данного ТК.

Время достижения весового/экономического совершенства $T_{M_j}^{TP}$ или $T_{\mathcal{E}_j}^{TP}$ 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 $T_{M_j}^{TP}$ находим из формулы (1), записанной в виде:

$$\sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{\text{сов},i,j})^{T_{M_j}^{TP} - 1}}{q_{M_{i,j}}^{\text{КТР}}} \cdot Q_{\text{целевое},i,j}^{\text{КТР}} = M_{\text{lim},j}^{TP},$$

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

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{\text{сов},i,j})^{T_M^{KTP} - 1}}{q_{M_{i,j}}^{\text{КТР}}} \cdot Q_{\text{целевое},i,j}^{\text{КТР}} = \sum_{j=1}^N M_{\text{lim},j}^{TP} \cong M_0^{\text{ТК}} \cdot (1 - \bar{m}_{\text{к.н.}} - \bar{m}_{\text{т.}} - \sum \bar{m}_{\text{н.о.с.}}),$$

где $M_{\text{lim},j}^{TP}$ – лимитная масса j -того ($j = 1..N$) технического решения ТР_{*j*} в составе ТК;

N – количество ТР_{*j*} в составе ТК;

$n_j, a_{i,j}$ – количество и кратность компонентов {КТР}, входящих в состав ТР_{*j*}, соответственно;

$q_{M_{i,j}}^{\text{КТР}}$ – текущее весовое совершенство i -го КТР в составе ТР_{*j*}, выраженное в виде удельного характерного показателя системы ([ед.изм]/кг) (например, кВт/кг);

$Q_{\text{целевое},i,j}^{\text{КТР}}$ – целевое значение характерного показателя i -го КТР, которое обеспечит возможность создания j -го технического решения ТР_{*j*};

$k_{\text{сов},i,j}$ – оценка ежегодного темпа улучшения $q_{M_{i,j}}^{\text{КТР}}$ (весового совершенства системы);

$M_0^{\text{ТК}}$ – максимальная взлетная масса ТК;

$\bar{m}_{\text{к.н.}}$ – относительная масса коммерческой нагрузки для ТК;

$\bar{m}_{\text{т.}}$ – относительная масса топлива для ТК;

$\sum \bar{m}_{\text{н.о.с.}}$ – относительная масса не оптимизируемых систем ТК.

Аналогично, время на достижение потребного экономического совершенства $T_{\mathcal{E}_j}^{KTP}$ и $T_{\mathcal{E}}^{KTP}$ определяются из следующих соотношений:

$$\sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{\text{сов},i,j})^{T_{\mathcal{E}_j}^{TP} - 1}}{q_{\mathcal{E}_{i,j}}^{\text{КТР}}} \cdot Q_{\text{целевое},i,j}^{\text{КТР}} = P_{\text{lim},j}^{TP},$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} a_{i,j} \cdot \frac{(1 - k_{\text{сов},i,j})^{T_{\mathcal{E}}^{TP} - 1}}{q_{\mathcal{E}_{i,j}}^{\text{КТР}}} \cdot Q_{\text{целевое},i,j}^{\text{КТР}} = P_0^{\text{ТК}} - \sum P_{\text{н.о.с.}},$$

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

N – количество ТР_{*j*} в составе ТК;

$n_j a_{i,j}$ – количество и кратность компонентов {КТР}, входящих в состав ТР, соответственно;

$q_{\mathcal{E}_{i,j}}^{\text{КТР}}$ – оценка удельной характеристики, отнесенной к стоимостности компонента ([ед.изм]/[долл. США]) (например, кВт/\$) – мера экономического совершенства компонентов {КТР} данного ТР_{*j*};

$Q_{\text{целевое},i,j}^{\text{КТР}}$ – целевое значение характерного показателя i -го КТР, которое обеспечит возможность создания j -го технического решения ТР_{*j*};

$k_{\text{сов},i,j}$, [%] – оценка ежегодного темпа улучшения $q_{\mathcal{E}_{i,j}}^{\text{КТР}}$ (экономического совершенства системы);

$P_0^{\text{ТК}}$ – требуемая максимальная стоимость ТК;

$\sum P_{\text{н.о.с.}}$ – сумма прогнозных рыночных цен неоптимизируемых систем.

Оценка относительного уровня риска, связанного с созданием технического концепта последовательно проводится для НТ, КТР, ТР и ТК, то есть в направлении от нижнего к верхнему уровню иерархических структур, состоящих из указанных элементов и сформированных на шаге 1.

Риски реализации для КТР_{*i*} оцениваются через риски, соответствующие используемым при их создании новым технологиям (НТ_{*k*}); для ТР_{*j*} – через риски образующих их КТР_{*i*}, а для ТК – через риски образующих их ТР_{*j*}. 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_{*k*} 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_i 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 равными степень влияния неудачи в разработке каждой из 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 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 в зависимости от ее текущего уровня готовности – показателя TRL, оценка которого для каждой технологии используется в качестве исходных данных¹. Обозначив событие достижения в будущем новой технологией k (НТ_k) высокого уровня готовности через A_k (например, $A_k = "TRL_{НТk} = 6"$), получим:

$$R(НТ_k) = 1 - P(A_k | TRL_{НТk}),$$

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

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

$$R_{crit} = 1 - P(A_1 | TRL_{НТ1}) \cdot P(A_2 | TRL_{НТ2} A_1) \cdot \dots \cdot P(A_k | TRL_{НТk} A_1 \dots A_{k-1}).$$

С учетом степеней критичности показатель риска недостижения требуемых характеристик КТР_i предлагается определять как

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

¹ Проблематика оценки TRL и иных подобных факторов на его основе остается за рамками данной статьи, в связи с широким освещением проблематики в научных работах других авторов, например [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 ТР_j из значений риска КТР_i, образующих ТР_j:

$$R_{КТР}^{ТРj} = \left(1 - \frac{n_j}{\sum_{i=1}^{n_j} \frac{1}{(1 - R_{НТ}^{КТРi})}} \right), \quad (3)$$

где $R_{НТ}^{КТРi}$ – риск несоздания i -го КТР, образующего j -ое ТР;

n_j – количество компонентов {КТР}, входящих в состав j -ого ТР.

Наконец, показателей риска для ТК определяется из значений показателей риска ТР_j, образующих ТК, аналогично выражению (3).

$$R_{ТК}^{ТКk} = \left(1 - \frac{N_k}{\sum_{j=1}^{N_k} \frac{1}{(1 - R_{КТР}^{ТРj})}} \right), \quad (4)$$

где $R_{КТР}^{ТРj}$ – показатель риска несоздания j -го ТР, образующего k -ый ТК;

N_k – количество ТР в составе k -го ТК.

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

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

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

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

$R_{технол}$ – 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. Так, для задачи получе-

ния конкурентного преимущества за счет раннего вывода на рынок инновационной продукции актуальна установка на достижение результата в минимально допустимые сроки с приемлемым риском. В этом случае приоритет предлагается отдавать вариантам ТК, с минимальным временем разработки $T_{\text{опт}} = \min\{T_i^{\text{ТК}}\}$, обладающих приемлемым для оператора проекта уровнем риска и последствий его наступления. 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 задания 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 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. Модель комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов // Экономика науки. – 2018. – 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 НИУВШЭ, 2013. – 135 с.
4. Brown R., Pahaal R. The use of technology roadmaps as a tool to manage technology developments and maximize the value of research activity. IMech Email 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. – 990 с.
6. Markins J.C. Technology Readiness Levels: A White Paper / Advanced Concepts Office of Space and Technology NASA. – 1995 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://snebulos.mit.edu/projects/reference/NASA-Generic/Technology_Readiness_Levels.pdf. (Дата обращения 01.07.2019)
7. Technology Readiness Level Definitions / National Aeronautics and Space Administration [Электронный ресурс] – Режим доступа: 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] – Режим доступа: <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf>. (Дата обращения 01.07.2019).
9. Evaluating Technology Readiness – A Formal Equation / Wellspring [Электронный ресурс] – Режим доступа: <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]. – Режим доступа: <https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2010/107595.pdf>.

Поступила в редакцию

15.08.2019

Сухарев Алексей Александрович – руководитель направления ООО «Межотраслевой аналитический центр», г. Москва, Россия.

Sukharev Aleksey A. – head of direction LLC «Interdisciplinary analytical center», Moscow, Russia.

Власенко Андрей Олегович – старший научный сотрудник ООО «Межотраслевой аналитический центр», г. Москва, Россия.

Vlasenko Andrey O. – research fellow of «Interdisciplinary analytical center», Moscow, Russia.

Россия, 119019, г. Москва, Б. Афанасьевский пер.,
д. 61 стр. 1, оф. 6, а/я 87
а/я 87, of. 6, house 61, B. Afanasiyevskiy per.,
Moscow, 119019, Russia
e-mail: alx.sukharev@gmail.com
e-mail: andrey.vlasenko84@gmail.com