



КОЛОНКА РЕДАКТОРА



Прошло чуть более 30-ти лет с момента первой публикации, в которой была описана концепция уровней готовности технологии (в оригинале – TRL, Technology Readiness Level). За прошедшие годы концепция TRL получила широкое распространение и стала общепринятой мировой нормой и практикой как для частных, так и для государственных компаний при разработке новых технологий. Зарубежный опыт применения этой концепции позволяет утверждать, что метрики, основанные на TRL, являются важнейшим инструментом проектного управления при создании новых технологий в различных научно-технологических сферах.

К сожалению, мы не можем сказать, что в России концепция уровней готовности технологии нашла такое же широкое применение, как за рубежом, даже несмотря на то, что в последние годы появились национальные стандарты в этой области, и ее стали использовать в своей деятельности Минобрнауки и Минэкономразвития, ряд государственных корпораций, таких, например, как ОАК, Росатом и другие компании.

Среди многих можно выделить, пожалуй, две основные причины такого положения дел. Во-первых, отсутствуют общепринятые и удобные инструменты для практического применения концепции уровней готовности технологии, и, во-вторых, многих разработчиков «отпугивает» кажущаяся сложность ее самостоятельного внедрения в практику своей работы из-за незнания уже имеющегося у других подобного опыта.

Поэтому мы благодарны редакции журнала «Экономика науки», предоставившей площадку для обмена практическим опытом тех исследователей и разработчиков, кто уже применяет концепцию уровней готовности технологии в своей деятельности. В представленных публикациях показано, что TRL может применяться не просто как метрика, которая позволяет позиционировать технологии на специальной шкале, но и как методология, позволяющая по-новому взглянуть на решение других практических задач за счет использования специальных методик, расширяющих возможности TRL, таких, например, как TPRL (Technology Project Readiness Level) или ПИНГ (Параметры Инновационной Готовности). Перечень таких задач весьма обширен: от задач управления портфелями проектов – до задач стратегического развития научно-технологического комплекса России.

*Ответственный редактор тематического выпуска
А.В. Комаров*



Т. 6 №1-2 2020

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

1

МЕТОДОЛОГИЯ

Гранич В.Ю., Дутов А.В., Мирошкин В.Л.,
Сыпало К.И.

**Об уровнях готовности технологий и применении
Калькулятора УГТ для их оценивания**

6-10

Ильина Е.А., Мотькина Ю.В., Сушков П.В.



**Концепция оценки научно-технических
компетенций проектных команд,
научных организаций и вузов
с использованием уровней готовности**

11-21

Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М.



**Принципы бережливого управления
исследованиями и разработками
на основе методологии уровней готовности
инновационного проекта**

22-34

ПРИОРИТЕТЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Дутов А.В., Клочков В.В.



**Методы оценки влияния технологий
на характеристики перспективной продукции
и достижение целей научно-технологического
развития (на примере гражданского авиастроения)**

35-45

Пудалова Е.И., Поляков А.М., Гусев А.Б.



**О востребованности создаваемого центрами
компетенций научно-технического задела**

46-51

Сухарев А.А., Власенко А.О.



**Применение показателей уровня готовности
технологий при планировании комплексных
научно-технологических проектов
в авиастроении**

52-61



Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия как средство массовой информации.

Товарный знак и название являются исключительной собственностью учредителя.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится данных, не подлежащих открытой публикации. Материалы рецензируются редакционной коллегией.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Перепечатка текстов без разрешения журнала «Экономика науки» запрещена. При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна.

Учредитель — Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

Адрес учредителя:
119571, г. Москва,
проспект Вернадского, 82,
9-й корпус, офис 1902

Адрес редакции:
127254, г. Москва,
ул. Добролюбова, д. 11

Обратная связь:
Телефон: +7 (495) 618-07-92
E-mail: idmz@mednet.ru
Web: <http://ecna.elpub.ru>

Главный редактор:
Н.Г.Купцова, idmz@mednet.ru

Автор дизайн-макета:
Я.Ареев, slavaageev@rambler.ru

Компьютерная верстка и дизайн:
ООО «Допечатные технологии»

Администратор сайта:
НП «НЭИКОН», isupport@neicon.ru

Отпечатано в типографии РАНХиГС
119571, Москва, пр-т Вернадского, 82

Дата выхода в свет 1 апреля 2020 г.
Общий тираж 1000 экз.
Первый завод 50 экз. Цена свободная

© Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

ЭКОНОМИКА НАУКИ

Сартори А.В., Першуков В.А.,
Мосунова Н.А., Манцевич Н.М.

**Применение методологии уровней готовности
для бережливой разработки цифровых
двойников сложных инженерных систем**

62-74

ЭКСПЕРТИЗА

Комаров А.В., Слепцова М.А., Чечёткин Е.В.,
Комаров К.А.

**Специализированные инструменты
для оценки потенциала команды
научно-технологического проекта**

75-87

Петров А.Н., Комаров А.В.

**Оценка уровня технологической готовности
конкурсных заявок с использованием
методологии TPRL**

88-99

РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Комаров А.В., Шуртаков К.В., Чечёткин Е.В.,
Комаров К.А., Слепцова М.А., Гришина М.С.,
Миронова Я.С.

**Практическое применение методологии
комплексной оценки научно-технологических
проектов на примере оценки проектов
ФЦП «Исследования и разработки
по приоритетным направлениям развития
научно-технологического комплекса России
на 2014–2020 годы»**

100-117

ВОПРОСЫ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Сартори А.В., Гареев А.Р., Ильина Н.А.,
Манцевич Н.М.

**Применение подхода уровней готовности
для различных предметных направлений
в бережливом НИОКР**

118-134



THE ECONOMICS OF SCIENCE

T. 6
№1-2
2020

AUTHOR'S COLUMN

1

METHODOLOGY

Granich V.Yu., Dutov A.V., Miroshkin V.L., Sypalo K.I.



**About the Technology Readiness Level
and the application of the TRL Calculator
for their assessment**

6-10

Ilyina E.A., Motkina Yu.V., Sushkov P.V.



**The concept of assessing the scientific and
technical competencies of project teams, scientific
organizations and universities using readiness levels**

11-21

Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantsevich N.M.



**The principles of lean research and development
management based on the methodology of the
innovation project readiness levels**

22-34

PRIORITIES FOR DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Dutov A.V., Klochkov V.V.



**Methods for assessing the impact
of technologies on the characteristics of promising
products and achieving the goals of scientific
and technological development
(exemplified by the national aircraft industry)**

35-45

Pudalova E.I., Polyakov A.M., Gusev A.B.



**On the demand for the scientific and technical reserve
created by the centers of competence**

46-51

Sukharev A.A., Vlasenko A.O.



**Application of indicators of the level of technology
readiness when planning complex scientific and
technological projects in the aircraft industry**

52-61



62-74

ECONOMICS OF SIENCE

*Sartori A.V., Pershukov V.A.,
Mosunova N.A., Mantsevich N.M.*

**Application of the methodology of readiness levels
for the lean development of digital doubles
of complex engineering systems**

EXPERTISE

*Komarov A.V., Sleptsova M.A.,
Chechetkin E.V., Komarov K.A.*

**Specialized tools for assessing the potential
of a research and technology project team**

Petrov A.N., Komarov A.V.

**Assessment of the technology readiness level
of tender applications using the TPRL methodology**

88-99

EFFICIENCY OF A SCIENTIFIC ACTIVITY

*Komarov A.V., Shurtakov K.V., Chechetkin E.V.,
Komarov K.A., Sleptsova M.A., Grishina M.S.,
Mironova Y.S.*

**Practical application of the methodology
for the comprehensive assessment of scientific
and technological projects using the example
of the evaluation of the federal target programs
«Research and development in priority areas
for the development of the scientific
and technological complex of Russia for 2014–2020»**

100-117

QUESTIONS OF COMMERCIALIZING THE RESULTS OF SCIENTIFIC ACTIVITY

*Sartori A.V., Gareev A.R., Ilyina N.A.,
Mantsevich N.M.*

**Application of the approach of readiness levels
for various subject areas in lean R&D**

118-134

В.Ю. ГРАНИЧ,

к.т.н., заместитель генерального директора Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского, Московская область, Россия, info@tsagi.ru

А.В. ДУТОВ,

д.т.н., к.э.н., генеральный директор Национального исследовательского центра «Институт имени Н.Е. Жуковского», г. Москва, Россия, info@nrczh.ru

В.Л. МИРОШКИН,

к.ф.-м.н., начальник отдела Национального исследовательского центра «Институт имени Н.Е. Жуковского», г. Москва, Россия, info@nrczh.ru

К.И. СЫПАЛО,

д.т.н., член-корреспондент РАН, генеральный директор Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского, Московская область, Россия, info@tsagi.ru

ОБ УРОВНЯХ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИМЕНЕНИИ КАЛЬКУЛЯТОРА УГТ ДЛЯ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

УДК 658: 004.4

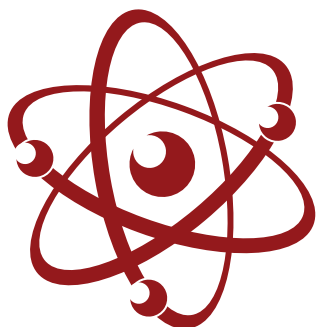
Гранич В.Ю., Дутов А.В., Мирошкин В.Л., Сыпало К.И. *Об уровнях готовности технологий и применении Калькулятора УГТ для их оценивания* (Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского, ул. Жуковского, д. 1, Московская область, Россия, 140180; Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, г. Москва, Россия, 125319)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы качественной и количественной оценки готовности технологий в контексте управления процессом исследований и разработок в области авиации с использованием метода системной интеграции технологий.

Ключевые слова: уровень готовности технологий, системная интеграция, проектное управление.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-6-10

Цитирование публикации: Гранич В.Ю., Дутов А.В., Мирошкин В.Л., Сыпало К.И. (2020) Об уровнях готовности технологий и применении Калькулятора УГТ для их оценивания // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 6–10.



ВВЕДЕНИЕ

Развитие идей проектного управления в области организации и выполнения научно-исследовательских работ привело к созданию семейства стандартов т.н. системного инжиниринга (или системной интеграции технологий), ключевым элементом которых является понятие уровня готовности технологий. В статье приводится краткий обзор понятийного аппарата с указанием его особенностей и дается практическая методика расчета уровней готовности технологии на основе калькулятора уровня готовности. Также в статье приводятся рекомендации по применению описываемого подхода к процессу создания авиационных технологий, апробированного в методическом плане в рамках выполнения целого ряда научно-исследовательских проектов в ведущих организациях авиационной науки.

ШКАЛЫ ГОТОВНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Метрики уровней готовности являются в настоящее время важнейшим инструментом проектного управления при создании новых

технологий [1]. Применение метрик уровней готовности при проектном управлении предполагает, что продвижение проекта невозможно, пока не будет успешно пройден предыдущий уровень готовности. Метрики уровней готовности позволяют оценить состояние работ по развитию и интеграции технологии, а также помочь в выборе технологии из нескольких технологий того же назначения для использования в разрабатываемой системе. Основной метрикой готовности является шкала уровней готовности технологии – УГТ (Technology Readiness Level, TRL). Как известно, первоначально шкала УГТ была разработана в NASA и включала уровни готовности технологии с 1-го по 7-й (УГТ1-УГТ9), затем Mankins [2] в 1995 г. внес изменения в шкалу УГТ и расширил ее до 9 уровней – УГТ1-УГТ9. Девятиуровневая шкала готовности технологии (УГТ1-УГТ9) является основной применяемой в настоящее время. Хотя, например, в US Oil&Gas Industry используется 8-уровневая шкала УГТ0-УГТ7, причем прототип появляется после достижения УГТ3, а УГТ4 соответствует готовности технологии (hardware – оборудование) к первому практическому применению в тестовом режиме; в UK NDA (Nuclear Decommissioning Authority) используется 9-уровневая шкала УГТ1-УГТ9, но с существенно другими названиями и описаниями УГТ, а в UK NNL (National Nuclear Laboratory, топливные сборки для АС) добавлен к шкале UK NDA УГТ10. Несмотря на то, что в большинстве публикаций, посвященных уровням готовности, утверждается, что шкала УГТ NASA состоит из 9 уровней, в [3], например, упоминается для шкалы NASA TRL10 – «Находится в эксплуатации» («Is in board operational use»).

Шкала уровней готовности технологии является, по сути, порядковой шкалой измерений. Допустимыми преобразованиями для данного типа шкал являются все монотонные преобразования, то есть такие, которые не нарушают порядок следования значений измеренных величин. Шкала УГТ, как порядковая шкала измерений, не содержит информации, на сколько отличается один уровень готовности от другого. Метрика (шкала) УГТ формализует понятие зрелости (maturity) технологии. Понятие зрелости технологии характеризует

субъективно воспринимаемый уровень развития (проработанности) технологии без ее привязки к решению какой-либо практической задачи. Уровень готовности технологии отражает степень зрелости технологии для решения некоторой практической задачи. Для разных практических задач технология может иметь разные уровни готовности. Например, это может быть обусловлено разными эксплуатационными условиями применения технологии в разных практических задачах.

КАЛЬКУЛЯТОР УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

Калькулятор уровней готовности технологий (Калькулятор УГТ) – формализованный инструмент количественной оценки зрелости технологий. Калькулятор УГТ относится к категории количественных экспертных методов определения УГТ. С его помощью на рубежах принятия решения по входным вещественным (изделия, оборудование, техника и т.д.) и программным (организационным) критериям определяют степень зрелости технологии. Калькулятор УГТ позволяет в полуавтоматическом режиме оценить уровень готовности разрабатываемой технологии. Он выполнен в формате анкеты Microsoft Excel, которую пользователь заполняет, отвечая на вопросы о технологическом проекте, что в результате позволяет оценить уровень готовности технологии (УГТ), уровень готовности программы, показывающий степень зрелости организации управления разработкой (УГТ), и уровень готовности производства (УГТ). Калькулятор УГТ производит расчет значений количественных метрик по данным, введенным Разработчиком технологии (далее – Разработчик) и Экспертом. Разработчик заполняет в Калькуляторе УГТ поля обоснования Разработчика (Листа-опросника калькулятора УГТ), в которых указывает обоснование положительного ответа на заданный вопрос. В качестве обоснования могут выступать, например, нормативные документы, оформляемые по факту выполнения того или иного этапа работ, полные ссылки на статьи, патенты.

При этом исходными данными для проведения комплексной оценки уровней готовности существующих и новых технологий в аэрокосмической области являются:

- проекты технических заданий на разработку технологии;
- документы, подтверждающие наличие научно-технического задела (патенты, результаты научно-исследовательских работ, протоколы испытаний макетных и экспериментальных образцов авиационной техники, составных частей, узлов и агрегатов), созданные в ходе выполнения научно-исследовательских и технологических работ;
- технические условия на материалы;
- рабочая конструкторская документация на подсистемы и элементы, являющиеся составными частями перспективных образцов авиационной техники и др.

Эксперт, по заполненным данным Разработчика, указывает степень соответствия (от 0 до 100) результата Разработчика поставленному вопросу. Например, на вопрос «Опубликованы базовые научные принципы технологии» Эксперт выставляет значение показателя в зависимости от рейтинга издания публикаций, индексации издания публикации в различных базах цитирования, ... и пишет об этом в поле обоснования Эксперта. Далее по принятым расчетным формулам Калькулятор УГТ рассчитывает значения количественных метрик зрелости технологии, а затем производится агрегирование результатов по всем Экспертам для данной технологии.

Однако необходимо отметить, что УГТ в чистом виде не позволяет судить о рисках и ничего не говорит о вероятности достижения более высокого уровня. В [4] авторами определение риска (Risk Levels) предлагается путем непосредственного присвоения уровней доверия (Confidence) проектам/технологиям в зависимости от их готовности (Readiness Level) или риска. Для каждого уровня готовности уровень доверия задается умноженной на 100% условной вероятностью достижения УГТ9. Авторы утверждают, что приведенные значения достоверности являются типичными, но ни в коем случае не уникальными. Фактически, они будут разными в разных организациях и зависят от таких вещей, как дата начала программы, бюджетные ограничения и т.д. (таблица 1).

УРОВНИ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ

Оценка зрелости технологии с помощью метрики (шкалы) и калькулятора УГТ является первым шагом в использовании метрик уровней готовности в проектном управлении. Следующим шагом является определение мероприятий по повышению уровня готовности технологии с текущего до следующего уровня.

Таблица 1

Уровни готовности технологии и уровень доверия достижения УГТ 9

Уровень риска	Уровень готовности	Описание готовности	Уровень доверия
0	9	Продemonстрирована работа реальной системы в условиях реальной эксплуатации	100%
1	8	Создана штатная система и освидетельствована (квалифицирована) в летных условиях посредством испытаний и демонстраций	95%
2	7	Прототип системы прошел демонстрацию в эксплуатационных условиях	90%
3	6	Модель или прототип системы/подсистемы продемонстрированы в условиях, близких к реальным	80%
4	5	Компоненты и/или макеты подсистем верифицированы в условиях, близких к реальным	65%
5	4	Компоненты и/или макеты проверены в лабораторных условиях	45%
6	3	Даны аналитические и экспериментальные подтверждения по важнейшим функциональным возможностям и/или характеристикам выбранной концепции	30%
7	2	Сформулирована технологическая концепция и/или предполагаемые применения возможных концепций для перспективных объектов	12%
8	1	Выявлены и опубликованы фундаментальные принципы	5%
9	0	Сформулирована базовая идея	0%

Источник: [4]

Основные этапы процесса оценки технологии:

- 1)** определение систем, подсистем и компонентов посредством разбиения продукта на составляющие на этапе предпроектных работ;
- 2)** определение УГТ для каждого компонента с помощью калькулятора УГТ;
- 3)** назначение УГТ для каждой подсистемы, как наименьший из УГТ входящих в неё компонентов;
- 4)** назначение TRL для каждой системы, как наименьший из УГТ входящих в неё подсистем;
- 5)** определение всех компонентов, подсистемы и системы, которые находятся на более низком УГТ, чем требуется программой (проектом);
- 6)** оформление отчёта, по первоначальной оценке, технологий программы ниже требуемого;
- 7)** разработка:
 - плана развития технологий;
 - бюджета (плана финансирования);
 - план-графика;
 - плана управления рисками;
- 8)** проведение повторной оценки проекта с корректировкой планов и принятием решения о продвижении программы (проекта).

Следует отметить, что анализ российских публикаций в области оценки уровней готовности технологий и практический опыт использования средств оценки уровней готовности позволяет говорить о недостаточной развитости российской системы стандартов в области системной инженерии, в частности посвященных стадиям жизненного цикла, процессам проектирования и разработки сложных технических систем, подходам к описанию архитектуры систем и др. Среди причин сложившейся ситуации можно выделить следующие [1]:

- отсутствие сопоставления уровней готовности с этапами процесса создания авиационной техники и разрабатываемой в процессе создания авиационной техники документацией;
- отсутствие руководств по проведению оценки уровня готовности. Именно в руководствах по TRL (handbook, deskbook, guide) дано подробное описание уровней

готовности, подробный терминологический справочник, указаны необходимые для оценки мероприятия, примерный состав «команд» по их проведению и перечня подготавливаемых документов. Без наличия таких руководств эффективная работа по оценке уровней готовности и разработке мер по повышению уровней готовности является, как минимум, сильно затруднительной;

- неоднозначность определений и проблемы перевода. Так в отечественной редакции термин «breadboard» переводится как «макет», в то время как в стандартах или руководствах по TRL всегда даются пояснения о том, как надо понимать «breadboard» при рассмотрении конкретного уровня TRL;
- часто использование прямого перевода без осмысления («калька») или даже перевода on-line переводчиками, делают крайне сложным понимание определения и описания уровней готовности: «Проведены «Летные испытания» разработанной системы в ходе успешной эксплуатации (OT&E завершена)», «релевантная среда», «эксплуатационная среда».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение идеологии проектного управления на основе методов системного инжиниринга в практику управления научно-исследовательскими работами представляется действенным методологическим подходом, направленным на повышение эффективности исследований и разработок, а следовательно, и создание конкурентоспособной продукции. Вместе с тем существует ряд проблем методологического и отраслевого характера, связанных с прямым копированием стандартов NASA и относящихся к ключевому элементу такого подхода – оценке уровня готовности технологий. Опираясь на опыт внедрения проектного управления, основанного на методах системного инжиниринга, в научные проекты создания отечественной авиационной техники и технологий сформирован уточненный понятийный аппарат и методика применения метрик уровней готовности (калькулятора уровней готовности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошкин В.Л. (2017) Оценка уровней готовности: проблемы / Вторая научно-практическая конференция «Управление созданием научно-технического задела в жизненном цикле высокотехнологичной продукции». Сборник докладов. Москва.
2. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
3. Design Development Test and Evaluation (DDT&E) Considerations for Safe and Reliable Human Rated Spacecraft Systems (2007) NASA Engineering and Safety Center Technical Report. 133 p.
4. Mavris D.N., Bandte O., Brewer J.T. (1995) A Method for the Identification and Assessment of Critical Technologies Needed for an Economically Viable HSCT / 1st AIAA Aircraft Engineering, Technology, and Operations Congress. Los Angeles.

REFERENCES

1. Miroshkin V.L. (2017) Assessment of preparedness levels: problems / Second scientific-practical conference «Management of the creation of a scientific and technical base in the life cycle of high-tech products». Collection of reports. Moscow.
2. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
3. Design Development Test and Evaluation (DDT&E) Considerations for Safe and Reliable Human Rated Spacecraft Systems (2007) NASA Engineering and Safety Center Technical Report. 133 p.
4. Mavris D.N., Bandte O., Brewer J.T. (1995) A Method for the Identification and Assessment of Critical Technologies Needed for an Economically Viable HSCT / 1st AIAA Aircraft Engineering, Technology, and Operations Congress. Los Angeles.

UDC 658: 004.4

Granich V.Yu., Dutov A.V., Miroshkin V.L., Sypalo K.I. *About the Technology Readiness Level and the application of the TRL Calculator for their assessment* (Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N.E. Zhukovsky, Zhukovsky Str., 1, Moscow Region, Russia, 140180; The National Research Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Str., 7, Moscow, Russia, 125319)

Abstract. The article presents the issues of qualitative and quantitative assessment of readiness for research and development in the field of aviation technology.

Keywords: technology readiness level, system integration, project management.

Е.А. ИЛЬИНА,

руководитель Группы развития АО «Росатом Хэлскеа», г. Москва, Россия, hel.i.ilina@gmail.com

Ю.В. МОТЬКИНА,

заместитель директора департамента – начальник Отдела управления портфелем научных проектов и СУЗ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», г. Москва, Россия, YVMotkina@rosatom.ru

П.В. СУШКОВ,

руководитель направления АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, pusushkov@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД, НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ВУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ

УДК 338.28

Ильина Е.А., Мотькина Ю.В., Сушков П.В. Концепция оценки научно-технических компетенций проектных команд, научных организаций и вузов с использованием уровней готовности (АО «Росатом Хэлскеа», Варшавское ш., д. 46, г. Москва, Россия, 115230; Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», ул. Большая Ордынка, д. 24, г. Москва, Россия, 119017; АО «Наука и инновации», Старомонетный пер., д. 26, г. Москва, Россия, 119180)

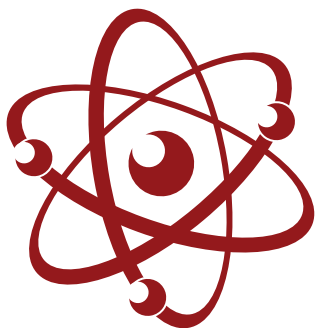
Аннотация. Для цифровой оценки научно-технических компетенций исследователя/проектной команды/организации при реализации инновационных разработок предложено использовать наряду с традиционными научными показателями ФСМНО также значения достигнутых и документально подтвержденных параметров инновационной готовности ПИНГ/TPRL реализованных или находящихся в разработке научных/инновационных проектов/разработок.

Существенный объем информации о научно-технических компетенциях в российских корпорациях и компаниях предполагает использование соответствующих цифровых платформ, обладающих в том числе функциями технологии искусственного интеллекта для поиска и верификации информации.

Ключевые слова: научно-технические компетенции, инновационный проект, бережливый НИОКР, уровни инновационной готовности проекта ПИНГ/TPRL, цифровая платформа компетенций.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-11-21

Цитирование публикации: Ильина Е.А., Мотькина Ю.В., Сушков П.В. (2020) Концепция оценки научно-технических компетенций проектных команд, научных организаций и вузов с использованием уровней готовности // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 11–21.



© Е.А. Ильина, Ю.В. Мотькина,
П.В. Сушков, 2020 г.

*Кодекс компетентности – единственная
мораль, отвечающая золотому стандарту
Айн Ренд*

Развитие современного общества определяется темпами генерации инновационных разработок, их внедрения и коммерциализации. «Нам нужны прорывные открытия и разработки, которые позволят создать отечественную продукцию мирового уровня», – такими словами Президент нашей страны подчеркнул значимость работы над будущим и обозначил запрос государства [1]. Знания, технологии, компетенции и кадры являются движущей силой и залогом успешной реализации национальных проектов.

Сегодня мы сталкиваемся с ситуацией, когда в разных странах ученые и научные сотрудники разрабатывают близкие технологии. Такое часто происходит даже в рамках одной отрасли. С одной стороны, это дает возможность выбора из нескольких альтернатив – можно выбрать лучшую. С другой стороны, ресурсы тратятся на создание одного и того же продукта, в то время как можно согласовать усилия, организовать бережливую разработку. Почему возникает такая ситуация? Ключевое – наличие запроса рынка, а также часто нежелание делиться успехом и работать совместно.

Научные исследования являются основой технологического прогресса, благодаря которому появляются новые решения и продукты, развивается общество, происходят глобальные изменения. Говоря о мировом лидерстве и глобальной конкуренции, вновь процитируем В. Путина: «Качество, устойчивость, характер и скорость роста мировой экономики во все большей степени определяют новые компетенции и знания людей, передовые технологии и коммуникации... Кто может эффективно использовать эти факторы роста, сумеет обеспечить рывок в экономике, в социальной сфере, в науке и образовании...» [2].

Сегодня технологии развиваются существенно быстрее, чем это было, например, сто лет назад. В связи с ускорением развития технологий становится все сложнее удерживать лидерские позиции. Результаты научных исследований, их воплощение в жизнь в технологиях, новых продуктах и компетенции людей – это те двигатели, которые делают жизнь более качественной, комфортной и безопасной.

Основное, что дает преимущество в технологиях – это компетенции разработчиков, на основе которых появляются новые технологические решения и продукты. Управление компетенциями – направление, которое сейчас активно развивается и изучается различными российскими, международными и иностранными компаниями. Если говорить про российскую практику, то такие технологические игроки как Ростех, Роскосмос, Росатом, РЖД и другие, серьезно занялись поиском и формированием требуемых для развития компаний компетенций [3].

Не исключена вероятность, что в ближайшем будущем мы встретимся с формированием двух объемных рынков – рынком проблем/задач и рынком технологических компетенций. Оба рынка будут взаимосвязаны, поддерживая и развивая друг друга, но для этого необходимо задать общий формат и интерфейс.

Специалисты Сбербанка считают центры компетенций основой для роста своего бизнеса [4]. В середине 2019 г. был создан специальный Департамент развития аналитических решений и системных сервисов, в состав которого вошли три уже созданные ранее центра компетенций:

1. Центральное хранилище данных,
2. Системы CRM для автоматизации работы пользователей и обеспечения оперативной информацией о клиенте или необходимости связаться с ним,
3. «ИТ для ИТ» – интеграционные решения для выстраивания взаимодействия ИТ-систем в Сбербанке.

Кроме этого Корпоративный университет Сбербанка создал Академию технологий и данных, деятельность которой направлена на развитие наиболее востребованных компетенций преимущественно в области информационных технологий [5].

Минобрнауки и Российская венчурная компания (АО «РВК») подготовили и запустили программу поддержки Центров компетенций НТИ, с целью формирования сети научно-образовательных консорциумов на базе российских университетов и научных организаций. Деятельность центров направлена на производство новых востребованных рынками продуктов и услуг, реализацию нескольких задач, таких как:

1. Трансляция результатов фундаментальной науки в инженерные приложения.
2. Технологический трансфер через кооперацию с промышленными партнерами.
3. Подготовка лидеров разработки новых технологий через реализацию образовательных программ.

Центр компетенций НТИ представляет собой структурное подразделение, создаваемое на базе вуза или научной организации, осуществляющее комплексное развитие «сквозных» технологий НТИ совместно с членами консорциума, включающего не

только разработчиков, но и индустриальных партнеров.

Мы привели лишь несколько актуальных примеров формирования, аккумуляции и развития научно-технических компетенций. Многие крупные компании развивают это направление, используя собственные подходы к работе с компетенциями, основываясь на принципах, отвечающих требованиям своей отрасли или организации [6–7].

Использование наукометрических данных при описании и оценке научно-технических компетенций

Работа в отрасли с научно-техническими компетенциями своих организаций и их цифровизацией началась несколько лет назад. Сегодня в отрасли не только есть общее понимание того, что такое компетенции, но и на основании этого понимания анализируется деятельность, принимаются решения, формируются новые проекты и программы.

Существует много определений понятия «компетенция» учитывающие особенности предметных направлений деятельности. Общим, однако, является указание способности применять знания, умения, успешно действовать на основе практического опыта. Определение научно-технических компетенций, принятое в отрасли, такое: набор взаимосвязанных знаний, навыков и уникальных особенностей, способностей и технологий, которыми обладают сотрудники и команды организаций, обеспечивающий эффективное решение технологических задач, создание новых продуктов и услуг, их конкурентное преимущество, коммерциализацию результатов научных разработок.

Цель формирования научно-технических компетенций – структуризация знаний о научных и технологических возможностях корпорации, используемых при создании новых продуктов и развитии действующих технологий. Исследования и разработки не всегда заканчиваются коммерциализацией результата. Однако большинство отраслевых научных организаций сегодня стараются максимально увеличить количество НИОКР, результаты которых могут

быть коммерциализованы. И база компетенций может им в этом помочь.

Отметим, что собрать все компетенции в единую систему координат недостаточно. Необходимо их структурировать, оцифровать и подготовить интерфейс для возможных пользователей.

Для пользования информационной базой компетенций необходимы форматы/классификатор, позволяющие систематизировать данные. Для систематизации компетенций научных организаций отрасли были выбраны:

- направление ГРНТИ (направления государственного рубрикатора научно-технической информации) – официальная система в России для учета НИОКР,
- направление научно-технической деятельности (НТД). Принятый отраслевой перечень направлений НТД насчитывает на данный момент более 70 направлений в организациях отрасли.

Традиционный подход к оценке компетенций научных организаций и их сотрудников основан на показателях наукометрии. Наукометрические данные – количественные характеристики, применяемые для измерения результативности и эффективности научной деятельности, давно используется Минобрнауки России в рамках сбора информации для Федеральной системы мониторинга результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы (ФСМНО) [8]. Отраслевой подход по группе показателей ФСМНО похож, но отличается перечнем показателей, которые в частности включают цифровые показатели результативности компетенции и поддерживающих ее сотрудников, численность и возраст членов команды – носителя научно-технической компетенции, их публикации и созданные результаты интеллектуальной деятельности, а также прочие численные данные, определяющие научные достижения и характеристики сотрудников – участников декларируемой компетенции. Такая информация дает возможность осуществить экспресс-оценку научно-технической компетенции и на этом основании сравнить ее уровень с другими по

метрикам показателей наукометрии и реализованных проектов, отнести ее к категории «в зоне риска» или наоборот, к «безрисковой». Простой формой представления информации является рисунок с цветами «светофора», где зеленым обозначено подтвержденное наличие, красным – фактическое неподтверждение/отсутствие, а желтым – частичное наличие компетенции. Причем в зависимости от задачи анализа содержание набора параметров, характеризующее отнесение компетенции к зоне риска, может быть разным.

На *рисунке 1* приведен пример экспресс-анализа соотношения количества компетенций разных организаций. Представлен пример организации со сбалансированными компетенциями (Орг.3), требующей реструктуризации и развития (Орг.1) и фактически ненужной, не вписавшейся в современные запросы рынка (Орг.2), где количество компетенций в красной зоне превышает общее количество компетенций, что говорит о ее плачевном состоянии, в первую очередь, по наличию заказа на исследование и разработки, доходам, научным результатам и кадровому составу сотрудников. В организации 3 количество развитых компетенций существенно превосходит количество невостребованных компетенций, что может обеспечить потенциал развития как отдельных технологических направлений, так и портфеля проектов организации в целом. Такой анализ позволяет:

- увидеть текущий статус по декларируемым направлениям деятельности научной организации;
- сравнить и ранжировать декларируемые в компетенциях направления организации между собой;

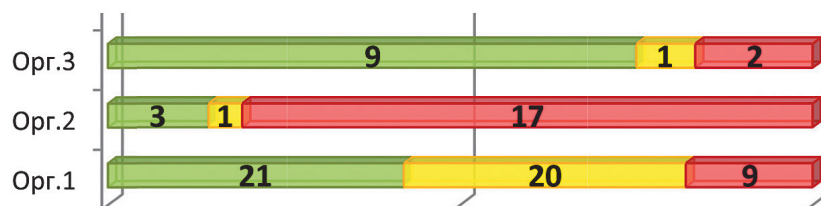
- определить отраслевые центры научных компетенций, выбрать наиболее развитые научно-технологические направления и организации;
- принять решение о необходимости закрытия направления или реструктуризации организации.

На основании экспресс-анализа могут быть выявлены компетенции, которые не востребованы, нуждаются в установлении причин почему это так и необходимых действиях на перспективу.

Для отраслевых существующих и новых продуктовых направлений может быть проведен анализ обеспеченности в соответствии с заявленными компетенциям. На *рисунке 2* приведен пример анализа одного из продуктовых направлений отрасли.

На *рисунке 2* показано, что из общего количества 38 компетенций в 7 организациях две (Орг.2 и 3) обладают 2/3 компетенций по данному продуктовому направлению. Такой анализ позволяет оценить степень развития направления с точки зрения возможности разработки новых продуктов отрасли, определить организации, которые его поддерживают и долю участия в развитии продуктового направления. Для количественной оценки вклада в развитие продукта необходима информация по референциям выполнения инновационных проектов с цифровой оценкой достигнутых результатов по данному продуктовому направлению, то есть цифровая оценка компетенций на основании ранее реализованных научной группой проектов/НИОКР. Каким образом такую оценку произвести изложено далее.

В действующем формате данных об организации по ФСМНО информация о проектных референциях практически отсутствует. Отчасти



* Примечание: числа на рисунке – количество зафиксированных научно-технических компетенций организации.

Рисунок 1. Пример демонстрации развитых (зеленые), поддерживаемых (желтые) и рискованных (красные) компетенций по организациям

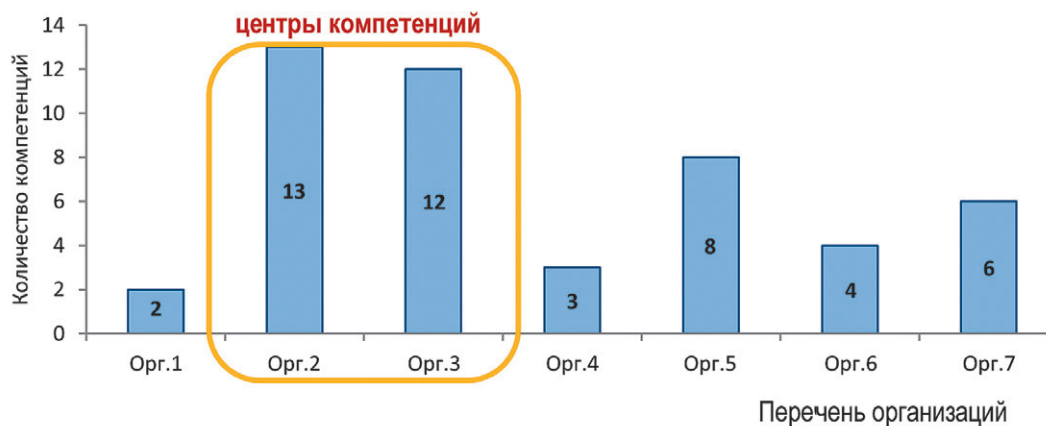


Рисунок 2. Пример спектра компетенций по организациям в рамках одного продуктового направления

к ней можно отнести показатель «Затраты на оплату труда работников, выполнявших научные исследования и разработки», информативность которого в части реальных референций не очевидна и точно недостаточна, поскольку не отражает отнесения к конкретным выполненным работам, их результатам и персоналиям участников с ролями в проекте.

Подтверждение научно-технических компетенций на основе оценки уровней готовности технологий

Команды оказывают сильное влияние и вклад в численное значение потенциала коммерциализации инновационного проекта [9]. Компетенции команды, в первую очередь, подтверждаются референциями по реализованным ранее проектам, достигнутым ранее результатам. Референтные показатели инновационных проектов/НИОКР – это перечень образцов/примеров, завершенных или выполняемых исследований и разработок/инновационных проектов, дающих ясное представление на текущий момент об уровне готовности и востребованности результатов, динамике развития инновационного проекта.

Учет в картах научно-технических компетенций наиболее распространенного показателя готовности – уровня технологической готовности TRL (Technology Readiness Level), позволяет провести первичную минимально необходимую цифровую оценку заявленной

командой проекта компетенции в разработке инновационного продукта.

Уровень технологической готовности сегодня широко используются разработчиками и является общепризнанной мировой нормой и практикой для частных и государственных компаний, включая Boeing, NASA, GE, Ford, Rolls-Royce со стороны частного сектора и Министерство энергетики США, Министерство обороны США, Департамент малого и среднего бизнеса Канады [10–12] со стороны государственного сектора. В нашей стране его используют Минобрнауки России, Минэкономразвития России, ОАК, Росатом и другие компании. Приведенный список не является исчерпывающим, но показывает уровень организаций, работающих с данным подходом и его востребованность.

Оценка TRL используется для следующих основных задач:

- определение текущего уровня разработки инновационного продукта,
- определение и мониторинг динамики разработки продукта,
- выявление нерешенных задач разработки, корректировка дальнейшего плана создания продукта,
- сопоставления с технологическими показателями продукции компаний-конкурентов.

Для решения задачи технологического трансфера через кооперацию с промышленными партнерами недостаточно только одного параметра технологической готовности и предложена

методология оценки уровня готовности инновационного проекта TPRL [13], развитая затем в концепции вектора коммерциализации и бережливых инновационных исследований и разработок (БИИР) на основе параметров инновационной готовности ПИНГ [14–15]. Важным обстоятельством является то, что подход ПИНГ/TPRL опирается на наличие документов, фиксирующих получение конкретного результата исследований и разработок, что является основанием для оценки и подтверждения уровней параметров готовности инновационного продукта.

Если говорить про ключевое отличие ПИНГ/TPRL от TRL, то ПИНГ/TPRL, в отличие от уровней технологической готовности, ориентированы на выполнение инновационных проектов в условиях разнообразных рисков (организационно-управленческих, производственных, рыночных, защиты интеллектуальной собственности и других).

Использование методологии ПИНГ/TPRL для научно-технических компетенций позволяет численно оценить имеющиеся референции проектных команд и сотрудников по достигнутому уровню готовности ранее выполненных инновационных проектов/разработок, и на этом основании провести интегральную оценку компетенций научной организации. Такой анализ приводит все существенные показатели научно-технических компетенций к единым численным координатам, задаваемым метриками ПИНГ, позволяя сравнивать их между собой.

Таким образом, предлагаемый и используемый нами на практике подход заключается в применении для численной оценки научно-технических компетенций сотрудника, проектной команды или организации наряду с традиционными научными показателями также значения параметров уровней готовности инновационной разработки ПИНГ. Численными значениями предлагается принять уровни параметров ПИНГ/TPRL, достигнутые в ранее реализованных или находящихся в разработке научных/инновационных проектов. Применительно к оценке команды можно ориентироваться на максимальный уровень значений достигнутых ранее каждого из показателей (TRL, MRL, CRL, ERL, ORL, BRL) с обязательным указанием роли в выполненных и текущих проектах сотрудника команды, по опыту которого индексируется параметр (например: исполнитель, ответственный исполнитель, руководитель). Наглядно это показано на диаграмме *рисунка 3*.

Приведенный на *рисунке 3* пример диаграммы проектных компетенций показывает, что участники команды проекта не имели ранее практики работы вне лаборатории, о чем свидетельствует значение уровня технологической готовности выполненных проектов TRL4, подтверждаемое также низкими уровнями готовности остальных параметров. Поэтому при выполнении инновационной разработки, ориентированной на получение продукта для вывода

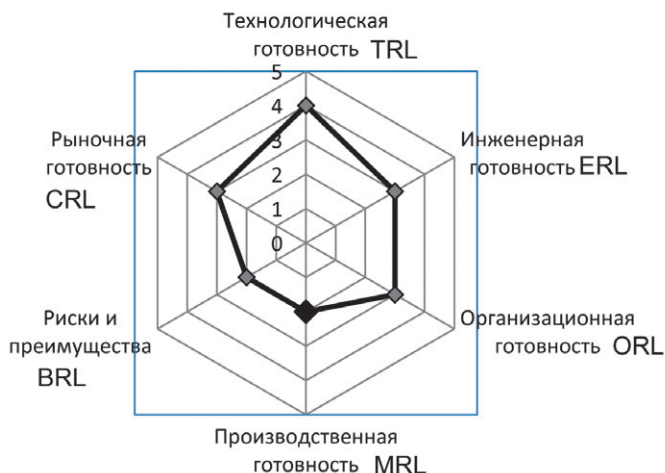


Рисунок 3. Пример демонстрации декларированной компетенции в реализованных инновационных проектах сотрудника/проектной команды/организации (численные значения приняты по метрикам параметров ПИНГ/TPRL)

на рынок, компетенции команды безусловно должны быть дополнены новыми сотрудниками, имеющими такую практику. Вырашивание собственных компетенций по внедрению разработки и коммерциализации в данном примере вряд ли целесообразно. В противном случае риски достижения высоких уровней готовности остаются чрезмерно высокими.

Могут быть использованы и другие виды диаграмм. Показательным для понимания референций полного пакета реализованных инновационных разработок/проектов для команды является их представление в виде, приведенном на *рисунке 4* (пример взят из [9]). В этом случае максимально достигнутые результаты соответствуют высшему уровню не только технологической готовности TRL9, но и рыночной CRL9, причем многократно подтвержденные. Поэтому в данной команде не требуется изменения ее состава для решения аналогичных задач.

Ранее в [16] мы отмечали, что оценка уровня готовности инновационного проекта, определяющая решение по его управлению и выводу нового продукта на рынок, требует наличия квалифицированного экспертного органа, поскольку исполнитель работ может быть не корректен при самооценке результата. Процедура

корректного выполнения экспертизы уровня технологической готовности в мировой практике названа Technology Readiness Assessment. В нашей практике вследствие расширения количества ПИНГ она получила название «Оценка уровня готовности технологии/проекта (ОУГП)». Цель процесса ОУГП – получить объективное заключение о том, что разработка инновационного продукта развивается успешно, поэтапно преодолевая технологические и иные риски, либо должна быть остановлена с целью сохранения ресурсов [16].

Аналогичный подход может быть рекомендован и при подтверждении заявленных носителями научно-технической компетенции проектных референций по методологии ПИНГ. По существу, это является внешней от носителя компетенции верификацией его представлений о своих достижениях при реализации инновационных проектов, выполненных ранее или выполняемых в текущий момент. Его можно определить как процесс объективной оценки реализованных достижений по разработке инновационной технологии/продукта как объекта коммерциализации путем предоставления документальных доказательств того, что реализованный/реализуемый инновационный проект

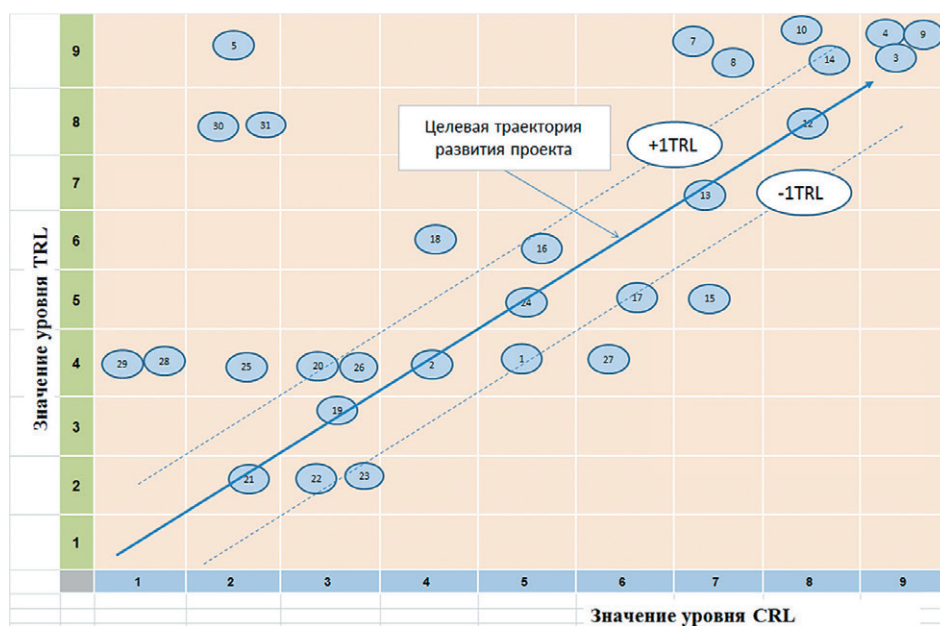


Рисунок 4. Пример визуализации результатов оценки реальных НИОКР команды на 2-х мерной диаграмме TRL–CRL

Источник: [9]

по техническим и экономическим характеристикам соответствует значениям параметров ПИНГ с определенной для каждого параметра готовности достоверностью. Кратко такую процедуру можно назвать как «Оценка компетенции по уровням готовности проекта» (ОКУГП).

Важно отметить, что один и тот же сотрудник по различным проектам может иметь различную оценку компетенции. В этом случае целесообразно оценивать его компетенцию в конкретном технологическом направлении по максимально достигнутому ранее уровню в реализованных разработках с учетом роли в проекте (исполнитель, ответственный исполнитель, руководитель).

В качестве заказчика оценки научно-технических компетенций может выступать заказчик разработки/инновационного проекта, особенно в случае требований о необходимости определения исполнителей на конкурсных условиях. Экспертиза компетенций исполнителя может быть проведена для заказчика внешними экспертами, обладающими опытом применения методологии уровней готовности при выполнении инновационных разработок и проектов. Детальное рассмотрение вопросов оценки научно-технических компетенций как экспертной процедуры является предметом отдельного обсуждения вне рамок данной статьи.

Учитывая факт того, что сегодня разработка научных и инновационных проектов начинается с детального плана и контроля за выполнением каждого этапа в рамках календарного плана или дорожной карты, использование уровней готовности при определении исполнителя во многом проясняет задачу, позволяет повысить вероятность доведения результата до конечного продукта и его коммерциализации, возможно, сокращая время и затраты на разработку и эффективно использовать ресурсы.

Другими словами, компетенции команды проекта в значительной степени определяют реализуемость бережливого НИОКР/БИИР [14–15], подразумевающего эффективное выполнение разработки с наличием востребованного рынком результата разработки, что выстраивает необходимую связку с коммерциализацией в инновационном проекте.

Выращивание профессионалов по бережливым инновационным исследованиям

и разработкам – это также задача, которую необходимо решать. По существу специалист по бережливому НИОКР/БИИР – это тот же предприниматель, но в координатах научной сферы и новых технологий, участвующих в решении задачи полного цикла инновационного проекта от идеи до разработки нового продукта и его коммерциализации.

При обсуждении состава информации о научно-технических компетенциях следует обратить внимание на тот факт, что каждая научная организация обладает собственной экспериментальной базой, которая также дает дополнительные данные для анализа научно-технических компетенций. Экспериментальная база – оборудование лабораторий, стендовое оборудование, опытно-промышленные установки и пр. Данные содержат в себе ключевые характеристики, локализации экспериментальной базы и ответственных за эксплуатацию приборов и оборудования сотрудников. Перечень и характеристики оборудования позволяют оценить техническую обеспеченность компетенции, а также определить при необходимости возможность представления ресурса оборудования сторонним заказчикам в режиме коллективного пользования.

Цифровая платформа для карты научно-технических компетенций

Трендом развития современного общества является цифровизация, меняется характер границы между реальным и виртуальным миром. Цифровизация обозначена как фундаментальный тренд [17]. Национальный проект «Цифровая экономика Российской Федерации» является свидетельством значимости направления в стране и необходимости безусловного участия ключевых корпораций и компаний как технологических лидеров.

В статье [18] утверждается, что цифровизация – это не технология и даже не продукт, а подход к использованию цифровых ресурсов для преобразования работы организации. На рынок выходят компании, которые специализируются на цифровой трансформации организаций. По мнению автора работы [18] ряд преимуществ, которые получает компания, выбравшая курс на цифровизацию – это:

- улучшение качества работы и анализа данных, возможность работы с большим количеством информации,
- оптимизация бизнес-процессов, ускорение ряд процессов (например, исключение при необходимости человеческий фактор и связанные с ним риски).
- возможность охвата большой аудитории клиентов/ заказчиков.

На сегодня в отрасли имеется информация по нескольким сотням научно-технических компетенций отраслевых организаций. Настоятельной необходимостью стала задача создания цифровой платформы научно-технических компетенций как онлайн-площадки для поиска и обмена информацией по научно-технической деятельности организаций отрасли, а также вузов и научно-технологических партнеров. Платформа планируется частично открытым ресурсом, доступ к которому будут иметь внешние заинтересованные пользователи.

Цель цифровой платформы – поиск заказчиков и партнеров в сфере научно-технической деятельности, верификация научно-технических компетенций, создание «витрины» компетенций, продвижение и развитие центров компетенций. Платформа планируется как инструмент не только для партнеров и заказчиков, но и для поддержки в принятии управленческих решений научных организаций и корпораций в целом.

Ключевые задачи платформы:

- формирование инструмента систематизации и демонстрации научно-технических компетенций ученых, единого окна данных по научно-техническим компетенциям организаций и опорных вузов, включающего информацию по наукометрическим показателям организаций, технологиям, экспериментальной базе, проектным референциям и реализуемым научным разработкам;
- цифровизация представленных результатов исследований и разработок;
- верификация декларируемых компетенций на основе технологий искусственного интеллекта;
- ранжирование компетенций, определение организаций-лидеров направлений;

- поиск заказчиков и партнеров на выполнение/заказ научно-технических разработок и услуг, их коммерциализацию;
- оценка результативности и ресурсной затратности инновационных и научно-исследовательских проектов;
- поддержка принятия решений по развитию научных направлений и центров научно-технических компетенций.

Подобная цифровая платформа позволит сформировать единый общедоступный инструмент, направленный на развитие компетенций и реализацию потенциала научного блока, получение результатов для комфортного внедрения в производство и коммерциализацию. Цифровая платформа заявлена как одна из IT-инициатив в рамках стратегии цифрового развития отрасли.

Заключение

Для цифровой оценки научно-технических компетенций исследователя/проектной команды/организации при реализации инновационных разработок предложено использовать наряду с традиционными научными показателями также значения достигнутых и документально подтвержденных параметров уровней инновационной готовности ПИНГ/TPRL реализованных или находящихся в разработке научных/инновационных проектов/ разработок.

Для подтверждения декларируемых исполнителями разработок научно-технических компетенций необходима квалифицированная экспертиза с целью получения объективного заключения о том, что риски разработки инновационного продукта конкретной командой разработчиков могут быть прогнозируемы и преодолены.

Существенный объем информации о научно-технических компетенциях в крупных российских корпорациях и компаниях предполагает создание соответствующих цифровых платформ, обладающих функциями технологий искусственного интеллекта для поиска, систематизации и верификации информации.

Авторы выражают признательность за доброжелательные обсуждения и советы при подготовке статьи коллегам – Н.М. Манцевичу и А.В. Сартори.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заседание Совета по науке и образованию от 27.11.2018 г. (2018) Стенограмма. Официальный сайт Президента России. <http://kremlin.ru/events/president/news/59203>.
2. Путин В.В. (2018) Важнейшим конкурентным преимуществом ныне являются знания, технологии, компетенции. Это ключ к настоящему прорыву, к повышению качества жизни // Высшее образование сегодня. № 3. С. 2–5.
3. Каширин А.И., Баранов Е.А., Каширин П.А. (2019) Диверсификация и уникальные технологические компетенции // Инновации. № 1 (243).
4. Основой роста бизнеса Сбербанка могут стать центры компетенции (2014) / Сбербанк. https://sberfan.ru/blog/centry_kompetencii_sberbanka/2014-09-08-65.
5. Корпоративный университет Сбербанка. Академия технологий и данных (2019) / Сбербанк. <http://sberbankatd.online>.
6. Рудской А.И., Боровков А.И., Романов П.И., Колосова О.В. (2018) Общепрофессиональные компетенции современного российского инженера // Высшее образование в России. № 2. С. 5–18.
7. Комаров А.В., Слепцова М.А., Четчин Е.В., Шуртаков К.В., Третьякова М.В. (2017) Оценка команды исполнителей научно-технического проекта // Экономика науки. Т. 3. № 4. С. 250–261.
8. База данных, содержащая сведения о результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы (2019) / Федеральная система мониторинга результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы. <https://www.sciencemon.ru>.
9. Сартори А.В., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2019) Концепция оценки потенциала коммерциализации результатов НИОКР в научных организациях и вузах // Высшее образование сегодня. № 6. С. 11–25.
10. Graettinger C.P., Caroline P. et al. (2002) Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DOD's ATD/STO Environments // A Findings and Recommendations Report Conducted for Army CECOM. <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfmas-setID=5835>.
11. Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance (2011) / United States Department of Defense. <http://www.acq.osd.mil/chieftechologist/publications/docs/TRA2011.pdf>.
12. Technology Readiness Levels (2015) / Public Works and Government Services Canada. <https://buyandsell.gc.ca/initiatives-and-programs/canadian-innovation-commercialization-program-cicp/program-specifities/technology-readiness-level>.
13. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
14. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2018) Школа бережливого НИОКР: практика подготовки исследователей в вузе с использованием грантов эндаумент-фонда // Высшее образование сегодня. № 7. С. 2–9.
15. Сартори А.В., Гареев А.Р., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2020) Применение подхода уровней готовности для различных предметных направлений в бережливом НИОКР // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 118–134.
16. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2020) Принципы бережливого управления исследованиями и разработками на основе методологии уровней готовности инновационного проекта // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 22–34.
17. Цифровизация – это фундаментальный тренд (2018) / ГазпромНефть. <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-may/1589542>.
18. Керрвала 3. (2016) 10 главных принципов построения сети для цифровизации / ZK Research. Kerravala Consulting. 10 с.

REFERENCES

1. Meeting of the Council on Science and Education dated 27.11.2018 (2018) Transcript. The official website of the President of Russia. <http://kremlin.ru/events/president/news/59203>.
2. Putin V.V. (2018) The most important competitive advantages are knowledge, technology, competencies. This is the key to a real breakthrough, to improving the quality of life // Higher education today. № 3. P. 2–5.
3. Kashirin A.I., Baranov E.A., Kashirin P.A. (2019) Diversification and unique technological competencies // Innovations. № 1 (243).
4. The basis for the growth of Sberbank business can be centers of competence (2014) / Sberbank. https://sberfan.ru/blog/centry_kompetencii_sberbanka/2014-09-08-65.

5. Sberbank Corporate University. Academy of Technology and Data (2019) Sberbank. <http://sberbankatd.online>.
6. Rudskoy A.I., Borovkov A.I., Romanov P.I., Kolosova O.V. (2018) General professional competencies of a modern Russian engineer // Higher Education in Russia. № 2. P. 5–18.
7. Komarov A.V., Sleptsova M.A., Chechetkin E.V., Shurtakov K.V., Tretyakova M.V. (2017) Performance evaluation of the scientific-technical project's executive team // The Economics of Science. Vol. 3. № 4. P. 250–261.
8. A database containing information on the performance of scientific organizations performing research, development and technological works (2019) / Federal system for monitoring the performance of scientific organizations performing research, development and technological works. <https://www.sciencemon.ru>.
9. Sartori A.V., Ilyina N.A., Mantseovich N.M. (2019) The concept of assessing the potential for the commercialization of R&D results in scientific organizations and universities // Higher Education Today. № 6. P. 11–25.
10. Graettinger C. P., Caroline P. et al. (2002) Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DOD's ATD/STO Environments // A Findings and Recommendations Report Conducted for Army CECOM. <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfmasseID=5835>.
11. Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance (2011) / United States Department of Defense. <http://www.acq.osd.mil/chieftechnologist/publications/docs/TRA2011.pdf>.
12. Technology Readiness Levels (2015) / Public Works and Government Services Canada. <https://buyandsell.gc.ca/initiatives-and-programs/canadian-innovation-commercialization-program-cicp/program-specifics/technology-readiness-level>.
13. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. (2016) Comprehensive assessment of the status scientific and technical projects using Technology Project Readiness Level // The Economics of Science. Vol. 2. № 4. P. 244–260.
14. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantseovich N.M. (2018) Lean R&D School: the practice of training researchers at universities using an endowment fund // Higher Education Today. № 7. P. 2–9.
15. Sartori A.V., Gareev A.R., Ilyina N.A., Mantseovich N.M. (2020) Application of the approach of readiness levels for various subject areas in lean R&D // The Economics of Science. Vol. 6. № 1–2. C. 118–134.
16. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantseovich N.M. (2020) The principles of lean research and development management based on the methodology of the innovation project readiness levels // The Economics of Science. Vol. 6. № 1–2. C. 22–34.
17. Digitalization is a fundamental trend (2018) / Gazprom Neft. <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-may/1589542>.
18. Kerravala Z. (2016) 10 main principles of building a network for digitalization / ZK Research. Kerravala Consulting. 10 p.

UDC 338.28

Ilyina E.A., Motkina Yu.V., Sushkov P.V. *The concept of assessing the scientific and technical competencies of project teams, scientific organizations and universities using readiness levels* (JSC «Rusatom Healthcare», Warsaw Sh., 46, Moscow, Russia, 115230; Rosatom State Atomic Energy Corporation, Bolshaya Ordynka Str., 24, Moscow, Russia, 119017; JSC «Science and Innovations», Staromonetnyj lane, 26, Moscow, Russia, 119180)

Abstract. The achieved and documented innovative readiness levels of PING/TPRL in implemented or current scientific/innovative projects are proposed to use for the digital assessment of the scientific and technical competencies of the researchers/project teams/organizations with respect to innovative project implementation, along with the traditional scientific indicators of the FSMNO.

A significant amount of information on scientific and technical competencies in Russian corporations and companies assumes the use of appropriate digital platforms based on artificial intelligence technology for searching and verifying information.

Keywords: scientific and technical competencies, innovative project, lean R&D, innovative readiness levels of the PING/TPRL project, digital competency platform.

А.В. САРТОРИ,

к.ф.-м.н., советник АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, sartoriandrey@gmail.com

П.В. СУШКОВ,

руководитель направления АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, pusushkov@gmail.com

Н.М. МАНЦЕВИЧ,

д.т.н., руководитель направления АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия,

nmman1@rambler.ru

ПРИНЦИПЫ БЕРЕЖЛИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯМИ И РАЗРАБОТКАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА

УДК 338.28

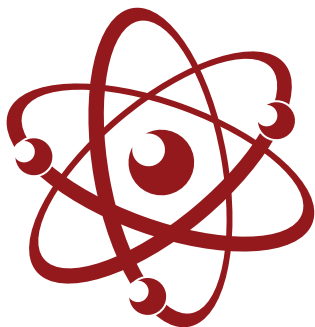
Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. *Принципы бережливого управления исследованиями и разработками на основе методологии уровней готовности инновационного проекта* (АО «Наука и инновации», Старомонетный переулок, д. 26, г. Москва, Россия, 119180)

Аннотация. Представлен подход бережливого управления инновационными исследованиями и разработками (БИИР), существенной частью которого является систематическая объективная оценка уровня готовности проекта к коммерциализации. Показана роль в реализации принципов БИИР исполнителей исследований и независимой рабочей группы (TRL-комитет), приведены практические форматы экспертной оценки уровней готовности разработки.

Ключевые слова: инновационный проект, бережливый НИОКР, БИИР, lean R&D, коммерциализация, подход market pull, подход technology push, уровни готовности TPRL, ПИНГ, оценка уровня готовности проекта ОУГП/TRA.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-22-34

Цитирование публикации: Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2019) Принципы бережливого управления исследованиями и разработками на основе методологии уровней готовности инновационного проекта // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 22–34.



*Методы – главное, самое трудное, то, чему
больше всего противятся привычка и лень
Ф. Ницше*

Использование достижений науки и техники в производстве во многом определяет динамику экономического развития общества, корпораций и отдельных предприятий.

Однако, несмотря на существенный уровень государственной поддержки, коммерциализация результатов инновационных разработок в стране происходит недостаточно эффективно. Инновационные процессы в цепочке от идеи до внедрения не работают в рамках единой методики оценки и последовательного отбора перспективных проектов. Чаще всего основным фактором, способствующим растрате ресурсов при разработке инновационной продукции, является отсутствие систематической достоверной оценки потенциальных идей конечного продукта, а также методически ясного, стандартизированного процесса его создания.

В рамках создания единой сквозной методики авторы в [1–2] предложили подход бережливого управления инновационными

исследованиями и разработками (сокращенно БИИР), частью которого является систематическая оценка уровня готовности проекта к коммерциализации.

В методологии БИИР важнейшую роль играет процесс объективной оценки уровня готовности инновационных проектов/продуктов к внедрению и коммерциализации по каждому из параметров инновационной готовности (далее сокращенно – ОУГП, аналог Technology Readiness Assessment в англоязычном варианте), который выполняется для планирования и реализации эффективных организационных процессов коммерциализации результатов разработок.

Такой подход предполагает изменение всего инновационного процесса, в первую очередь, его начальных стадий от идеи до прототипа. В частности, коллективная оценка уровня готовности проекта, например на научно-техническом совете организации, для соответствия целям бережливого управления также требует определенной трансформации. По этой причине в данной статье процесс оценки уровня готовности рассматривается в деталях.

В статье описаны бизнес-процессы бережливого управления инновационными проектами, включая детализацию и адаптацию метрик (условий достижения) уровней готовности к особенностям конкретных инновационных проектов, выделение критических элементов создаваемого инновационного продукта, оценку сложных систем, планирование работ в рамках строго заданных результатов на каждом уровне готовности, оценку уровня готовности проекта к коммерциализации, управление портфелем НИОКР/инновационных проектов.

Особое внимание уделено детализации методики независимой экспертной оценки уровня готовности инновационной разработки/проекта.

Базовые определения и термины

Важнейшей составной частью процесса повышения скорости внедрения научной разработки на каждом шаге является методика объективного измерения уровня готовности инновационного продукта/проекта к коммерциализации. Еще раз напомним, предложенное

в [3], определение термина коммерциализации результатов инновационного проекта как «разработки и систематической реализации владельцем, инициатором либо заказчиком прав на востребованный рынком продукт, выручка от производства и реализации которого существенно превышает затраты на весь жизненный цикл, включая затраты, понесенные на этапе выполненного исследования и разработки (НИОКР)».

Процесс управления инновационными научно-техническими исследованиями и разработками (проектами) назовем бережливым (далее «бережливый НИОКР»¹) по аналогии с бережливым производством, если его основная цель состоит в повышении уровня коммерциализации инновационного проекта при использовании меньших ресурсов и реализуется через применение гибкой процедуры планирования, независимой диагностики уровня готовности проекта и его динамики, принятие необходимого плана конкретных корректирующих ход разработки продукта мероприятий, контроль их выполнения и принятие фокусных организационных мер по снижению рисков достижения запланированных результатов [1]. В англоязычной литературе можно встретить близкий по значению термин «lean R&D».

Бережливое управление инновационными исследованиями и разработками (БИИР) – это достоверный путь к повышению доли коммерциализуемых продуктов/проектов при сокращении сроков и бюджетов проектов, прекращению неэффективных трат ресурсов.

БИИР может применяться в интересах следующих субъектов:

- Разработчик технологии, который осуществляет эффективное планирование и реализацию инновационного проекта с целью получения востребованного рынком результата в срок с наименьшим риском в пределах отведенного бюджета.

- Конечный пользователь новой технологии, который хочет оптимизировать преимущества своих инвестиций за счет выбора между конкурирующими технологиями или создать новый бизнес, улучшая свою деятельность.

¹ В рамках настоящей статьи термины «бережливый НИОКР» и «бережливое управление инновационными исследованиями и разработками (БИИР)» являются тождественными.

– Инженерная компания, которая интегрирует новую технологию в более крупную систему и должна оценить влияние на общую надежность системы.

– Венчурные фонды, которые намерены повысить эффективность реализации инвестиционного портфеля.

– ФОИВ при оценке программ инновационного развития госкорпораций, эффективности инновационной инфраструктуры.

Параметры инновационной готовности (далее – ПИНГ) – основные показатели проекта, влияющие на успешность внедрения и коммерциализации его результатов. ПИНГ измеряются с помощью метрик (количественных оценок и критериев подтверждения).

Назовем параметры инновационной готовности (ПИНГ):

- Параметр технологической готовности проекта – (ПИНГ TR), метрика уровней готовности TRL.
- Параметр производственной готовности проекта (ПИНГ MR), метрика уровней готовности MRL.
- Параметр интеграционной готовности проекта (ПИНГ IR), метрика уровней готовности IRL.
- Параметр готовности организации работ по проекту (ПИНГ OR), метрика уровней готовности ORL.
- Параметр риск/польза готовности проекта (ПИНГ BR), метрика уровней готовности BRL.
- Параметр рыночной готовности проекта (ПИНГ CR), метрика уровней готовности CRL.
- Параметр инженерной готовности проекта (ПИНГ ER), метрика уровней готовности ERL.

Первые два параметра инновационной готовности (ПИНГ TR, MR) в той или иной степени применяются в практике управления инновационными проектами (метрики TRL, MRL) и описаны на общем верхнем уровне определений в литературе [5–8] и ГОСТах [9–14]. Методология БИИР предлагает в развитие данного подхода детализированное формализованное трехуровневое описание требований/условий достижения уровней готовности [2], позволяющее

более объективно использовать компетенции экспертов в случае оценки результатов высокорисковых исследований, проводимых часто в условиях конфиденциальности.

Третий параметр инновационной готовности (ПИНГ IR) оказывается важен при разработке систем, состоящих из нескольких инновационных элементов/модулей/технологий. В таких условиях соответствие параметров макетов/моделей/экспериментальных образцов разрабатываемых элементов общим требованиям системы можно проверить только с помощью поэтапной интеграции элементов на виртуальных и гибридных моделях. Детальное описание ПИНГ IR и его отличия от ПИНГ ER является предметом отдельного обсуждения вне рамок настоящей статьи. Для целей данной статьи приведем лишь его общее содержание, которое описывает ПИНГ IR:

- способность элементов конечного продукта/системы влиять друг на друга, а также передавать интерпретируемые данные;
- степень соответствия полученных данных отправленным данным, и наличие механизма проверки этого соответствия;
- способность одного или нескольких интегрируемых элементов самостоятельно управлять интеграцией (устанавливать, поддерживать и прекращать взаимодействие);
- способность к оперативному контролю, автоматизации, предсказательному моделированию, включая чрезвычайные условия.

Три следующих инновационных параметра готовности (ПИНГ OR, BR, CR), которые условно можно объединить в категорию «венчурные», описывают ценностное предложение, бизнес-модель проекта и бизнес-процесс его реализации. Эти параметры неразрывно связаны как между собой, так и с ПИНГ TR, MR, IR, являясь независимыми лишь отчасти. Зависимость проявляется в том, что для корректной оценки уровня по одному из ПИНГ, требуется учет данных из других ПИНГ того же уровня готовности. Оценки результата разработки, сделанные без такого учета, как правило, будут недостоверными. Например, оценка размера секторов рынка по метрике CRL без учета ключевых преимуществ и ограничений из BRL,

основанных, в свою очередь, на верификации технологических характеристик (TRL) и оценке себестоимости (MRL), как правило оказывается сильно завышенной.

С другой стороны, конкурентный анализ ценностного предложения (CR) накладывает ограничения как на область реализации критических преимуществ TR и BR, так и применимые технологии производства (MR). Аналогично может подвергнуться корректировке стратегия патентной защиты (BR), а также модель организации бизнеса (OR).

Ценностное предложение составляет основу бизнес-модели инновационного проекта, а разные комбинации ее элементов, ресурсов и процессов коммерциализации усложняют копирование бизнес-модели, повышают ее конкурентоспособность.

При этом важным является то, что сама бизнес-модель уточняется по мере развития инновационного проекта, понимания критических преимуществ коммерциализуемого продукта и его рыночного сектора.

Предлагается следующее общее содержание параметров ПИНГ OR, BR, CR:

- ПИНГ OR отражает уровень готовности управления инновационным проектом. В нем собраны все ключевые аспекты бизнес-модели, отвечающие за управление и способность команды ставить и выполнять поставленные перед проектом цели и задачи. Измеряется в единицах уровней готовности по метрике ORL.
- ПИНГ BR выявляет внутренние резервы технологии/продукта – критические преимущества и ограничения применения. Допустимость рисков при заданных критических преимуществах проводится на основе стандартных приемов анализа рисков и выгод, с учетом данных о рынке из CR. Измеряется в единицах уровней готовности по метрике BRL.
- ПИНГ CR задает внешние ограничения, накладываемые рынком и конкурентами, определяет ценность предложения для рынка/потребителей. В нем собраны все ключевые аспекты бизнес-модели, отвечающие за определение того насколько разрабатываемый на основе

технологии продукт (или несколько продуктов) отвечает запросам потребителей по качеству, цене, срокам выпуска, объемам рынка. Измеряется в единицах уровней готовности по метрике CRL.

Какие задачи решает бережливый подход к разработке инновационной продукции на основе ПИНГ

Основными вопросами при разработке инновационных продуктов являются существенные задержки выхода продукта на рынок, невыполнение жестких графиков, проблемы с оценкой идей и текущих результатов, недостижение запланированных бизнес-целей [16]. «Требование успеха на первом проходе заставляет команды ориентироваться на наименее рискованные решения, даже если клиенты не считают их значительным улучшением по сравнению с тем, что уже доступно. Что еще хуже, у команд мало стимулов для поиска инновационных решений проблем клиентов» [15].

Более того, тенденции выполнения научных исследований и разработок часто противонаправлены целям коммерциализации. Как известно из практического опыта, эти тенденции заключаются в следующем:

- Составление исполнителем (при отсутствии квалифицированного заказчика) заведомо выполнимого технического задания: нет четких целей.
- Увеличение срока работ: нет детализированного плана работ (дорожной карты).
- Составление бюджета с многократным запасом: нет детализированного и достоверного учета трудозатрат.
- Отсутствие права на ошибку: вместо ясных индикаторов продвижения к результату приводятся объемные отчеты, работы продолжаются неопределенное время.

По этой причине в мире постоянно ведется поиск эффективных форм управления исследованиями и разработками с целью обеспечения внедрения и коммерциализации. Среди наиболее популярных методов управления упоминаются scrum and agile [17], разработанные и применяемые преимущественно для

IT, а также их комбинация с классической методикой последовательного прохождения жестко фиксированных ворот waterfall [15].

Особенностью большинства ориентированных на внедрение исследований является разработка подхода market pull (разработка продукта/услуги по запросам рынка). Такой подход нашел широкое применение, например, при разработке пользовательского программного обеспечения.

Однако для научно-исследовательских организаций более характерен подход technology push (коммерциализация технологии). Причина заключается в том, что в современном мире высокой технологической конкуренции непременным условием успешности коммерциализации является профессионализм в конкретной научно-технической области и опыт коммерциализации. Лаборатории научно-исследовательских организаций в данном случае являются точками роста компетенций как в предметной области, так и в идентификации областей, где критические преимущества технологии позволяют создать конкурентоспособный продукт, отвечающий рыночному запросу, особенно прогнозируемому на значительный период времени.

Вместе с тем ориентация научно-исследовательских организаций на подход market pull, как правило, обречена на неудачу, поскольку научные лаборатории не имеют ни компетенций, ни административных ресурсов для выполнения роли бизнес-интегратора и поставщика технологических решений, объединяющих ключевые компетенции третьих лиц.

По этой причине для успешной реализации technology push нужен особый подход, учитывающий динамическое взаимовлияние разработки технологии в направлении развития критических характеристик с учетом ограничений на их применение, а также формирования понимания и спецификации тех задач потребителей, где критические характеристики технологии дают конкурентные преимущества, сочетание детального планирования и гибкости выбора технологических и бизнес альтернатив.

Практика показывает, что понимание конкурентных преимуществ тоже проходит этапы готовности от объема общего рынка (Potential

Available Market), до выявления сегментов рынка с учетом выбранных каналов продаж, позиционирования, конкурентов (Serviceable Obtainable Market).

Иными словами, для подхода technology push нужен механизм управления проектами, поддерживающий постоянную гармонизацию и совершенствование целевых показателей технического задания по мере углубления понимания возможностей создаваемой в проекте технологии/продукта с одной стороны, и требований потребителей с другой стороны, постоянное расширение компетенций, привлекаемых для решения задачи разработки инновационного продукта.

Решению этой задачи в наибольшей мере соответствует подход в рамках концепции бережливого НИОКР.

Далее продолжим рассмотрение методики, учитывающей вышеизложенные особенности процесса инновационной разработки в формате technology push, и организационные принципы ее использования. Методика может быть модифицирована для организаций, работающих в формате market pull. Такая работа авторами планируется и будет проведена в ближайшем будущем.

Для организаций, использующих technology push, подход бережливый НИОКР начинается с выдвижения гипотез об областях возможного применения технологии и продукта на ее основе, в которых имеются ключевые компетенции в команде разработчиков.

По мере углубления понимания возможностей, ограничений применения технологии и нерешенных проблем потребителя (ценностного предложения), гипотезы проверяются, фильтруются и процесс разработки фокусируется на все более узкий сектор рынка, в котором применение планируемого к разработке инновационного продукта будет иметь критические преимущества, которые осложняют конкуренцию с этим продуктом.

Многие организации/компании успешные на этапе генерации гипотез, сталкиваются с проблемами отбора наиболее перспективных гипотез для последующей разработки. Причина заключается в том, что традиционный прямой линейный процесс управления проектами не

поддерживает регулярную оценку хода реализации проекта, отсеивает гипотезы по принципу минимизации рисков, соответствующую коррекцию планов и ресурсов. Кроме того, для проведения такой работы не всегда хватает информации и компетенций, в том числе экспертных, чтобы сделать выбор гипотез максимально объективным, не ограниченным вкусовыми особенностями и личной заинтересованностью экспертов.

Основой экспертной оценки может стать процедура измерения текущего статуса работ, идентификации уровня готовности инновационного продукта. Для технологической и производственной готовности, как мы уже отметили выше, такая базовая методика создана и широко используется. Эта методика основана на метриках TRL, MRL. При всей несомненной полезности этих метрик они не в силах ответить на главные вопросы коммерциализации: «Кто купит эти продукты/услуги?» и «Сможет ли технология обеспечить критические преимущества для потребителя?». Для ответа на эти вопросы требуется рассмотрение не только технологических рисков.

Развивая основы, заложенные в подходе TPRL [4], рассматриваемая методология БИИР включает следующие направления:

- детализация метрик (условий достижения) уровней готовности;
- расширение предметных направлений, адаптация терминологии;
- процедура адаптации метрик к особенностям конкретных инновационных проектов/НИОКР;
- выделение критических элементов создаваемой технологии/разработки/продукта;
- оценка сложных систем;
- гибкое планирование работ в рамках строго определенных результатов на каждом уровне готовности;
- независимая экспертная оценка уровня готовности разработки/продукта/инновационного проекта;
- управление портфелем НИОКР/инновационных проектов.

Для реализации гибкого подхода к планированию и реализации проекта целесообразно разбиение работ на относительно короткие рабочие циклы (уровни/шаги), что позволит

оперативно получать информацию о статусе и динамике продвижения проекта. С этой целью полезна декомпозиция требований достижения уровней готовности таким образом, чтобы разбиение было структурно единообразным, но при определенной степени гибкости для отражения специфики каждого инновационного проекта.

Например, для технологических проектов эффективным является понедельное планирование на каждый ближайший месяц и помесечное планирование на оставшийся период.

Для управления скоростью внедрения разработки важно научиться на каждом шаге объективно измерять готовность инновационного проекта к коммерциализации. С этой целью проводится регулярная экспертная оценка уровня готовности (ОУГП) по процедуре, описанной далее.

Принципы бережливого управления инновационными исследованиями и разработками, и портфелем проектов

Внедрение новой технологии вносит неопределенность, которая влечет за собой риски, в том числе финансовые, для ее разработчиков, производителей, поставщиков, операторов и конечных пользователей.

В реальной практике часто отдается предпочтение хорошо известной и проверенной технологии перед инновационными решениями с элементами новизны, даже если последние обещают значительное улучшение характеристик и/или экономический эффект, что является реальным препятствием для развития инноваций.

Методика БИИР показывает как можно управлять этими рисками, предоставляя последовательно доказательства для управления рисками и уменьшения неопределенности получения результата.

Важную роль в реализации принципов БИИР играет независимая рабочая группа, которая в зарубежной практике имеет условное название «TRL-комитет», и выполняет как экспертные, так и организационные функции верхнего уровня управления, дополняющие функционал команды инновационного проекта.

В данной статье приводятся рекомендации по организации деятельности такой рабочей группы для организаций, которые реализуют портфель или являются заказчиком портфеля инновационных проектов исследований и разработок, а также организаций, которые инвестируют в группы инновационных проектов или осуществляют функции поддержки инновационного развития (институты развития).

Рабочая группа решает следующие задачи:

- Утверждает набор ПИНГ для конкретного проекта и адаптирует их содержание, в том числе чек-листы (при необходимости).
- Утверждает декомпозицию инновационного продукта на элементы и утверждает критические элементы, создающие его конкурентные преимущества.
- При необходимости проводит экспертизу корректности подготовки технического задания, в том числе детальности и целеполагания состава работ с учетом условий достижения ПИНГ.
- Проводит объективную проверку текущей самооценки команды исполнителей уровня готовности проекта по критическим элементам.
- Ранжирует проекты портфеля по уровням готовности (потенциалу коммерциализации).
- Формирует предложения по набору первоочередных проектов для включения в инновационный портфель.
- После старта финансирования инновационного проекта/портфеля проводит онлайн мониторинг уровней готовности (потенциала коммерциализации) с целью ранней диагностики проблем.
- Составляет план регулярных проверок уровней готовности проектов.
- Проводит регулярные проверки уровней готовности проектов на основе очной презентации и текущей самооценки руководителя проекта.
- Формирует предложения по плану первоочередных мероприятий для каждого проекта, обязательные к выполнению исполнителями проекта.
- Выносит предложения по продолжению поддержки/заморозке/остановке финанси-

рования проекта по результатам ОУГП с целью сохранения ресурсов.

- Готовит предложения по актуализации портфеля проектов с целью повышения эффективности внедрения результатов.

Значение и многообразие функций рабочей группы предъявляет высокие требования к ее составу и квалификации.

Принципы формирования рабочей группы

Рабочая группа назначается правовым актом (приказом) по организации, использующей подход БИИР, и отвечает следующим требованиям:

- является независимым консультационным органом, заключение которого используется лицами, принимающими решения, для оперативного управления инновационным проектом или портфелем проектов;

- реализует подход бережливого НИОКР по единым правилам управления инновационными проектами/портфелем проектов в условиях конфиденциальности, ограниченности компетенции и узкой специализации экспертов, возможного конфликта интересов, субъективизма научных школ;

- включает руководителя, секретаря, членов рабочей группы, прошедших обучение по методике бережливого НИОКР специалистов, включая научных экспертов, технологов, маркетологов, патентоведов, финансистов, корпоративных юристов, имеющих референции управления инновационными проектами.

Эксперты, как внутренние, так и внешние, могут не являться голосующими членами рабочей группы, обладая совещательным правом.

Процедура декомпозиции и определения критических элементов сложного продукта

Для целей оценки уровня готовности сложного/комплексного продукта, необходимо декомпозировать его на составляющие элементы/компоненты/материалы с детальностью, достаточной для выделения критических элементов/технологий, определяющих конкурентные преимущества комплексного продукта.

Рабочая группа на заседании разрабатывает и согласовывает структурные схемы продуктов,

полный перечень критических технологий/элементов/компонентов/материалов комплексного продукта, назначает разработчиков, ответственных за проведение первичной оценки уровней готовности, сроки и формат представления самооценок, чек-листы, перечень примеров подтверждающих документов, срок рассмотрения результата на рабочей группе, задание на самооценку (фиксируется протоколом).

Критические элементы определяются коллегиально экспертами путем заполнения анкет. Оценке подлежит каждый элемент системы. Элемент считается критическим, если выполнено хотя бы одно из нижеперечисленных условий:

- элемент содержит принципиально новые технологии, не применявшиеся ранее;
- элемент содержит известные технологии, но условия их применения принципиально иные, что может повлиять на выполнение целевых функций/параметров разрабатываемого продукта;
- элемент содержит известные научно-технические/конструкторские решения, но масштабирование до целевых параметров невозможно без проведения дополнительного обоснования.

Процедура оценки уровней ПИНГ

Конкурентные преимущества инновационного продукта возникают, как правило, благодаря его критическим элементам, обладающим новизной и практической значимостью.

Процедура оценки уровня готовности проекта (ОУГП) устанавливает единые правила оценки на протяжении всего процесса разработки от идеи, доказательства концепции, демонстрации прототипа, до верификации в промышленных условиях и серийного производства инновационного продукта.

Такая процедура повышает доверие к инновационной технологии со стороны инвесторов и потребителей, дает возможность менеджменту проекта обосновать риски, повысить вероятность ее коммерциализации.

Для оценки используются метрики верхнего уровня согласно ГОСТ [9–14], нормативные документы организации, основанные на настоящей методике, дополнения рабочей группы и экспертов, сделанные в ходе проведения предварительного аудита документов проектов.

Оценка уровня готовности научно-технического проекта полезна только при условии ее объективности, достигаемой путем предоставления документальных доказательств того, что создаваемый в проекте продукт и его критические элементы по техническим и экономическим характеристикам соответствует целевым значениям и запросам рынка с определенной для каждого уровня готовности достоверностью.

Уровень готовности продукта определяется по минимальному уровню готовности составляющих его критических элементов.

Оценка технологий из различных предметных областей проводится на основе чек-листов, утвержденных рабочей группой. В силу специфики различных проектов не все условия достижения уровней готовности могут быть в равной степени применимы. Более того, для некоторых проектов могут быть рекомендованы более релевантные условия. Для отражения этого и обеспечения гибкости методики в нее заложен механизм адаптации условий достижения, который производится рабочей группой, сформированной для целей проведения оценки.

Первичная оценка (самооценка) проводится разработчиком технологии/продукта. Итоговую оценку поводит рабочая группа с привлечением экспертов.

Первичная оценка (самооценка разработчика)

Первичная оценка уровней готовности проекта по каждому элементу (системе) проводится разработчиками самостоятельно (самооценка) в отведенные рабочей группой сроки с представлением обоснований достижения уровня по каждому требованию в формате чек-листов путем предоставления подтверждающих документов.

В соответствии с методикой консервативной оценки, сложному комплексному продукту присваивается самый низкий из уровней готовности входящих в него элементов, что позволяет определить критические технологии, требующие улучшения для перехода комплексного продукта на следующий уровень готовности. В соответствии с этим подходом каждому продукту/элементу комплексного продукта присваивается индивидуальный уровень готовности.

Результаты самооценки направляются в рабочую группу для экспертизы и формирования предложений по корректировке критериев достижения уровней на заседании группы (если это необходимо).

Порядок оценки уровней готовности на рабочей группе

Рабочая группа проводит экспертное рассмотрение самооценок и выносит заключение об уровне готовности продукта на заседании в очном формате (с возможностью очной дискуссии по итоговому решению), поскольку обмен мнениями и информацией о наличии подтверждающих документов непосредственно в процессе обсуждения может существенно влиять на итоговое решение.

Также рабочая группа заслушивает доклады разработчиков продуктов с обоснованием поставленных оценок по всем продуктам/критическим элементам комплексных продуктов, и после этого приступает к процедуре финальной оценки.

После докладов разработчиков по результатам самооценки эксперты обсуждают представленные оценки, включая предложения по самооценке, и предлагают свои варианты оценки с обоснованием и ссылками на конкретные достижения науки и техники, эксперименты, лабораторные результаты, конструкции оборудования и другие факты, известные эксперту по каждому обсуждаемому продукту/технологии, отраженному в документах.

По результатам обсуждения первоначальные оценки по каждому продукту/элементам комплексного продукта уточняются, и формируется единая оценка по элементу/комплексному продукту. Единая оценка по продукту/элементу обсуждается и согласовывается экспертами, участвующими в заседании по правилу, изложенному далее.

Обсуждение начинается с оценки достижения минимального уровня готовности, коллегиально определенного рабочей группой априори как достигнутому.

Определяется усеченное до первого десятичного знака среднее арифметическое оценок экспертов по всем критериям.

Уровень признаётся достигнутым, если выполнены оба нижеследующих условия:

- условие 1: усеченная усредненная оценка всех экспертов по каждому из требований данного уровня не ниже 1,0;
- условие 2: усеченная усреднённая оценка всех экспертов по всем требованиям данного уровня не ниже 1,5.

Примеры оценки приведены в *таблице 1*. По результатам оценки определено, что уровень готовности продукта составляет N. Уровень N+1 не достигнут ввиду невыполнения условия 1 для требования номер 5 и условия 2 для суммарной оценки. При этом достаточно невыполнения хотя бы одного из названных выше условий.

В *таблице 1* по горизонтали приведены номера требований/шагов из чек-листа для подтверждения рассматриваемого уровня готовности. В данном случае всего 9 требований (не путать с уровнями TRL). По вертикали буквами обозначены эксперты от «А» до «К». Эксперты по результатам обсуждения выставили оценки:

«0» – критерий не выполняется на основе имеющейся у эксперта информации, аргументированной, не обязательно документированной;

«1» – по мнению эксперта критерий выполняется, но он не может подтвердить своё мнение документированной информацией;

«2» – критерий выполняется, что подтверждено документированной информацией.

«В» – воздержался (прочерк) – эксперт не располагает достоверной информацией или компетенциями в отношении данного критерия.

Порядок оценки на рабочей группе предусматривает активное взаимодействие экспертов при обсуждении наличия и достаточности представленных документальных подтверждений достижения уровня готовности. Эксперты, обладающие достоверной информацией, могут и должны представить доказательства и повлиять на мнение тех экспертов, которые в силу недостаточной информации придерживались консервативной или излишне оптимистичной оценки.

При определении факта достижения рассматриваемого уровня готовности N рабочая группа переходит к рассмотрению следующего по номеру уровня N+1.

Таблица 1

**Пример оценки степени достижения уровня готовности N
(пример итоговой таблицы)**

УРОВЕНЬ N	Номер требования/шага для данного уровня									
Эксперт/Требование	1	2	3	4	5	6	7	8	9	среднее по строкам
А	0	1	2	1	2	В	1	2	2	1,50
Б	1	2	1	1	2	В	2	2	1	1,43
В	2	0	1	2	2	1	1	2	2	1,46
Г	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,92
Д	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1,07
Е	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1,75
Ж	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,93
З	В	0	1	В	1	1	2	1	В	0,92
И	В	В	1	В	1	2	1	1	В	1,20
К	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,94
Среднее по столбцам	1,38	1,44	1,5	1,63	1,7	1,63	1,5	1,7	1,38	1,51
Вывод: уровень достигнут										

УРОВЕНЬ N+1	Номер требования/шага для данного уровня									
Эксперт/Требование	1	2	3	4	5	6	7	8	9	среднее по строкам
А	0	1	1	1	2	В	1	2	1	1,25
Б	1	1	1	1	0	В	1	2	1	1,14
В	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1,15
Г	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1,75
Д	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0,86
Е	1	2	2	2	1	0	1	2	1	1,56
Ж	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,93
З	В	0	1	В	0	1	1	1	В	0,75
И	В	В	1	В	1	1	1	1	В	1,10
К	2	2	2	2	0	1	2	2	1	1,75
Среднее по столбцам	1,13	1,11	1,4	1,63	0,9	1	1,3	1,7	1	1,32
Вывод: уровень не достигнут										

(не выполнено требование номер 5 и критерий общего среднего по экспертам)

Рассмотрение завершается при определении факта недостижения рассматриваемого уровня готовности N+1. Достигнутым считается предыдущий уровень готовности N.

В отдельных случаях по аргументированному требованию одного или нескольких экспертов процесс оценки может быть продолжен на уровень N+2.

Для комплексных продуктов интегральный уровень готовности определяется по минимальному уровню готовности входящих в него элементов, на которые была проведена декомпозиция.

В итоговом протоколе рабочей группы по результатам оценки каждого продукта в отдельности приводятся оценки на всех этапах

Таблица 2

Перечень подтверждающих достижение уровня готовности документов

Уровень N	Выдержка из документа	Ссылка на полный документ	Комментарий в случае отсутствия ссылки или ограниченности доступа к информации
Шаг/требование/условие XN.1*	Текстовый формат или pdf с возможностью поиска**	Формат: текст	
Шаг/требование/условие XN.2			
Шаг/требование/условие XN.3			
Шаг/требование/условие XN.4			
...			

Примечание:

* XN.1 – X-индекс метрики уровня готовности; N – оцениваемый уровень готовности, 1 – номер шага/требования/условия.

** конвертированный из формата doc pdf файл.

без привязки оценок к конкретным экспертам (оценка эксперта «А», «Б», «В» и др.), а также ссылки на источники информации, которые предоставили разработчики и/или на которых основывается позиция экспертов.

К итоговому протоколу прилагается перечень подтверждающих документов (таблица 2). Для достигнутого уровня готовности N приводятся выдержки и ссылки на полный текст подтверждающих документов по каждому критерию.

Управление портфелем

В случае управления портфелем инновационных проектов проведенная оценка уровня готовности идентифицирует индивидуальные риски для каждого проекта. Исходя из этих рисков, проводится ранжирование проектов и определение группы лидеров, на поддержку которых следует сосредоточить ресурсы, имеющиеся для реализации портфеля инновационных проектов/НИОКР.

Помимо уровня готовности важным элементом является динамика изменения этого уровня. Проект имеет компетентную команду и эффективное управление при условии хорошей динамики увеличения уровня готовности.

Верно и обратное: если проект заморозился на одном уровне готовности, то, скорее всего, либо предлагаемое технологическое решение, либо команда не имеет перспектив коммерциализации. В обоих случаях решение менеджмента об инвестициях в этот проект будет обладать повышенным риском.

Для инновационных проектов, прошедших оценку, идентифицируются проблемные зоны и точки роста уровня готовности конкретно по каждому ПИНГ с целью последующего формирования плана первоочередных мероприятий по преодолению рисков развития проекта и принятия организационных решений. Фактически это означает адаптацию плана работ и, возможно, трансформацию ценностного предложения под актуализированные потребности рынка, что вызовет перераспределение ресурсов проекта и, возможно, приоритетов финансирования проектов портфеля в целом.

Заключение

Изложенные в статье методические принципы бережливого НИОКР и практика их использования для объективного измерения уровня готовности инновационного продукта/проекта к коммерциализации опробованы авторами для параметров TRL, CRL, MRL в НИОКР различных технологических/предметных направлений, в том числе при разработке инженерного программного обеспечения.

Результаты применения показывают значительный рост доли поддерживаемых заказчиками для дальнейшего финансирования проектов при условии применения принципов бережливого НИОКР.

Значительная часть разработчиков инновационных проектов отмечает позитивное влияние принципов бережливого НИОКР на все стадии проекта от формирования ценностного

предложения до бизнес-схем коммерциализации. Отмечается упрощение планирования и управления проектом, более точное и конкретное распределение ресурсов, прозрачное построение стратегии обращения с интеллектуальной собственностью.

Результаты использования полного набора параметров ПИНГ будут изложены в следующих статьях.

Авторы не претендуют на отсутствие в данной статье дискутируемых положений, но надеются, что изложенные предложения будут полезны для читателей, которые заинтересованы в поиске решений по повышению эффективности исследований и разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2018) Школа бережливого НИОКР: практика подготовки исследователей в вузе с использованием грантов эндаумент-фонда // Высшее образование сегодня. № 7. С. 2–9.
2. Сартори А.В., Гареев А.Р., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2020) Применение подхода уровней готовности для различных предметных направлений в бережливом НИОКР // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 118–134.
3. Сартори А.В., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2019) Концепция оценки потенциала коммерциализации результатов исследований и разработок // Высшее образование сегодня. № 6. С. 11–24.
4. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
5. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
6. DOE (2015) / National Energy Technology Laboratory-2015/1710. Technology Readiness Assessment – Clean Coal Research Program. 144 p.
7. Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook (2011) / United States Department of Defense. https://www.skatelescope.org/public/2011-11-18_WBS-SOW_Development_Reference_Documents/DoD_TRA_July_2009_Read_Version.pdf.
8. The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool (2014) / EARTO Recommendations. http://www.earto.eu/fileadmin/content/03_Publications/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-EARTO_Recommendations_Final.pdf.
9. ГОСТ 15.101–98 (1998) Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/gost-15-101-98>.
10. ГОСТ Р 57194.3–2016 (2016) Трансфер технологий. Технологический аудит / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200141166>.
11. ГОСТ Р 56862–2016 (2016) Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий. Термины и определения / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200132492>.
12. ГОСТ Р 15.902–2014 (2014) Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП) / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200114167>.
13. ГОСТ Р 56861–2016 (2016) Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200132491>.
14. ГОСТ Р 58048–2017 (2016) Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
15. Majerus N. (2018) Lean Principles Apply to Fuzzy R&D Too / Lean. <https://www.lean.org/leanpost/Posting.cfm?LeanPostId=849>.
16. Thomke S., Reinertsen D. (2012) Six Myths of Product Development // Harvard Business Review. <https://hbr.org/2012/05/six-myths-of-product-development>.
17. Сазерленд Дж. (2016) Scrum. Революционный метод управления проектами / М.: Манн, Иванов и Фербер. 272 с.

REFERENCES

1. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantsevich N.M. (2018) Lean R&D School: the practice of training researchers at a university using grants from the Endowment Fund // Higher Education Today. № 7. P. 2–9.
2. Sartori A.V., Gareev A.R., Ilyina N.A., Mantsevich N.M. (2020) Application of the approach of readiness levels for various subject areas in lean R&D // The Economics of Science. Vol. 6. № 1–2. С. 118–134.

3. Sartori A.V., Ilyina N.A., Mantsevich N.M. (2019) The concept of assessing the potential for the commercialization of R&D results in scientific organizations and universities // Higher Education Today. № 6. P. 11–25.
4. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. (2016) A comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness // The Economics of Science. Vol. 2. № 4. P. 244–260.
5. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
6. DOE (2015) / National Energy Technology Laboratory-2015/1710. Technology Readiness Assessment – Clean Coal Research Program. 144 p.
7. Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook (2011) / United States Department of Defense. https://www.skatelescope.org/public/2011-11-18_WBS-SOW_Development_Reference_Documents/DoD_TRA_July_2009_Read_Version.pdf.
8. The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool (2014) / EARTO Recommendations. http://www.earto.eu/fileadmin/content/03_Publications/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-EARTO_Recommendations_-_Final.pdf.
9. GOST 15.101–98 (1998) System for the development and putting products into production. The order of the implementation of research work / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/gost-15-101-98>.
10. GOST R57194.3–2016 (2016) Technology transfer. Technological audit / Techexpert. <http://docs.cntd.ru/document/1200141166>.
11. GOST R56862–2016 (2016) Life cycle management system. Product and technology concept development. Terms and definitions / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200132492>.
12. GOST R15.902-2014 (2014) System for the development and putting products into production (SRPP) / Tekhekspert.. <http://docs.cntd.ru/document/1200114167>.
13. GOST R56861–2016 (2016) Life cycle management system. Development of the concept of the product and technology / Techexpert. <http://docs.cntd.ru/document/1200132491>.
14. GOST R58048–2017 (2016) Technology transfer. Guidelines for assessing the maturity level of technology / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
15. Majerus N. (2018) Lean Principles Apply to Fuzzy R&D Too / Lean. <https://www.lean.org/leanpost/Posting.cfm?LeanPostId=849>.
16. Thomke S., Reinertsen D. (2012) Six Myths of Product Development // Harvard Business Review. <https://hbr.org/2012/05/six-myths-of-product-development>.
17. Sutherland J. (2016) Scrum. The revolutionary method of project management / M.: Mann, Ivanov and Ferber. 272 p.

UDC 338.28

Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantsevich N.M. *The principles of lean research and development management based on the methodology of the innovation project readiness levels* (JSC «Science and Innovations», Staromonetnyj lane, 26, Moscow, Russia, 119180)

Abstract. The approach of lean management of innovative research and development (BIIR) is presented, a significant part of which is a systematic objective assessment of the level of readiness of the project for commercialization. The role of the research executives and the independent working group (TRL-committee) in the implementation of the BIIR principles is shown, practical formats for expert assessment of development readiness levels are given.

Keywords: innovative project, lean R&D, lean R&D, commercialization, market pull approach, technology push approach, TPRL, PING readiness levels, assessment of the openness level of the OUGP / TRA project.

А.В. ДУТОВ,

д.т.н., к.э.н., генеральный директор Национального исследовательского центра «Институт имени Н.Е. Жуковского», г. Москва, Россия, dutov@nrczh.ru

В.В. КЛОЧКОВ,

д.э.н., к.т.н., заместитель генерального директора по стратегическому развитию Национального исследовательского центра «Институт имени Н.Е. Жуковского», г. Москва, Россия, klochkovvv@nrczh.ru

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПРОДУКЦИИ И ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГРАЖДАНСКОГО АВИАСТРОЕНИЯ)

УДК 001.89: 338.27:629.7

Дутов А.В., Клочков В.В. Методы оценки влияния технологий на характеристики перспективной продукции и достижение целей научно-технологического развития (на примере гражданского авиастроения) (Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», ул. Викторенко, д. 7, г. Москва, Россия, 125319)

Аннотация. Предлагается методологический подход к оценке влияния новых технологий на достижение целей научно-технологического развития отрасли (на примере авиастроения). Он предполагает иерархическую связь между характеристиками отдельных технологий, характеристиками изделий (летательных аппаратов) и интегральными характеристиками авиатранспортных систем. Учитывается, что на стадии прикладных исследований и разработок разрабатываются не реальные, а гипотетические объекты. Описан состав и взаимосвязи необходимого комплекса математических моделей.

Ключевые слова: стратегическое планирование, прогнозирование, научно-технологическое развитие, генеральные цели, технологии, эффективность, оценка влияния, математические модели.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-35-45

Цитирование публикации: Дутов А.В., Клочков В.В. (2020) Методы оценки влияния технологий на характеристики перспективной продукции и достижение целей научно-технологического развития (на примере гражданского авиастроения) // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 35–45.



Введение

Прикладные исследования и разработки должны быть направлены на повышение уровня технического совершенства перспективной наукоемкой продукции. Суть стратегического планирования научно-технологического развития авиастроения состоит в формировании программы прикладных научно-исследовательских работ (НИР), нацеленных на развитие определенных перспективных технологий. При тактическом управлении реализацией стратегического плана проводится контроль разработки этих технологий и корректировка программы в соответствии с полученными результатами. Основой для принятия решений о включении предлагаемых научно-исследовательских работ в стратегический план прикладных НИР, а также об их продолжении или прекращении в рамках тактического управления, служат:

- оценка эффективности технологий, развиваемых в рамках данных НИР, по отношению к задачам систем, где эти технологии в дальнейшем будут внедряться и применяться (летательных аппаратов, авиатранспортных систем, национальной экономики);
- оценка степени проработанности разрабатываемых технических решений, рисков их дальнейшего применения в промышленности и сроков, необходимых для завершения разработки;
- оценка объема ресурсов (трудовых, финансовых, объемов использования объектов экспериментальной базы).

Итак, первоочередной проблемой является оценка эффективности технологий, их влияния на характеристики систем всех уровней. Традиционно в этой области преобладали экспертные методы оценивания – такие как метод анализа иерархий и др. (см., например, [1]). Следует учитывать, что принимать решения о выборе направлений научно-технологического развития, о начале или завершении прикладных НИР приходится в условиях высокой неопределенности, отсутствия предшествующего опыта «подобных» исследований и разработок, а также конфликта интересов. Эксперты, оценивающие полезность тех или иных технологий, как правило, являются и заинтересованными лицами, в силу малочисленности профессионального сообщества. В настоящее время развиваются т.н. неманипулируемые методы экспертизы (подробнее см., например, [2]). Однако даже если удастся устранить фактор необъективности и заинтересованности отдельных экспертов, остается фундаментальная проблема их ограниченной рациональности, неполноты их знаний – тем более что приходится выбирать технологии, которые будут применяться в будущем. Экспертным образом предугадать отклик сложных, многосвязных и нелинейных систем практически невозможно. Когнитивное моделирование [3] позволяет исследовать сложные многосвязные системы, но, в основном, на качественном уровне. Объективно и, по возможности, в количественном выражении оценить степень достижения генеральных целей развития науки и технологий в авиастроении можно лишь путем математического моделирования (желательно,

уходя от экспертных оценок и волонтаристских решений, что необходимо для повышения качества управления прикладными НИР, см. [4]). Это требует разработки модельно-математического инструментария комплексной и «сквозной» оценки влияния технологий на интегральные показатели достижения генеральных целей научно-технологического развития.

За рубежом, в странах, являющихся лидерами как, собственно, в сфере научно-технологического развития, так и в сфере управления им, соответствующий модельный аппарат развивается довольно успешно (см., например, [5]). Развиваются методы многодисциплинарного моделирования, позволяющие оценивать влияние новых технологий на интегральные характеристики летательных аппаратов в комплексе, см. [6–7]. На основе таких оценок формируются стратегические планы, программы и дорожные карты (см., например, [8]). Однако непосредственное заимствование зарубежного инструментария для нужд российской прикладной науки и невозможно, и нецелесообразно. Прежде всего, перед российской авиацией и авиастроением стоят специфические проблемы, имеется страновая специфика как авиатранспортной системы, так и ее связей с другими отраслями (подробнее см., например, [9–11]). Поэтому неизбежно потребуются разработка адекватного этой специфике модельного аппарата (отдельные примеры описаны в источниках [12–14]). Кроме того, важен не столько сам набор разнообразных моделей, сколько системная методология их построения и применения для комплексной оценки эффективности новых технологий. Эти соображения определяют актуальность данной методологической работы.

Основные понятия, используемые в сфере прогнозирования и стратегического планирования научно-технологического развития

Продукция гражданского авиастроения используется для выполнения авиационных работ (ранее объединявшихся аббревиатурой ПАНХ – применение авиации в народном хозяйстве) и оказания услуг (прежде всего, транспортных, но не только). Поэтому с точки зрения

функционального назначения гражданские воздушные суда (ВС) обслуживают различные сегменты или ниши рынков авиатранспортных и др. услуг, а также авиационных работ – например, рынки магистральных перевозок в дальнем сообщении, рынки доставки малых грузов в городских и пригородных районах, рынки авиационных работ, строительно-монтажных работ, и т.п. Однако это – именно рынки конечных услуг, оказываемых с помощью авиации (что, впрочем, необязательно – так, перевозки пассажиров и грузов даже на одних и тех же маршрутах выполняются многими конкурирующими видами транспорта, а работы по мониторингу и патрулированию территорий и объектов могут выполняться, в том числе, космическими средствами или даже неподвижными, немобильными средствами).

Потребности в авиационных работах и услугах могут удовлетворяться различными группами ВС, которые здесь называются *платформами*. Подчеркнем, что это – не конструктивные общности ВС¹ (например, вертолеты), а именно функциональные общности (например, вертикально взлетающее ВС – а это требование может обеспечить, помимо вертолета, также дирижабль, конвертоплан, самолет вертикального взлета и посадки с подъемными или подъемно-маршевыми двигателями).

Итак, платформы – это группы ВС (возможно, существенно различающихся по конструкции и принципам функционирования), удовлетворяющие определенным «внешним» функциональным требованиям. Их соотношение с ранее выделенными нишами рынков услуг и работ таково. В принципе, одна и та же ниша рынка конечных услуг может требовать различных классов авиационной техники. Например, перевозки в местном сообщении могут выполняться легкими воздушными судами как вертикального взлета и посадки, так и короткого взлета и посадки (соответственно, ЛВС ВВП и ЛВС КВП). Другой пример: магистральные перевозки в дальнем сообщении на расстояние порядка

нескольких тысяч км, как правило, с дозвуковой скоростью порядка 800–900 км/ч (подчеркнем, что это – именно характеристики транспортной услуги) могут выполняться как широкофюзеляжными самолетами пассажироместимостью 300–500 и более человек, так и узкофюзеляжными с пассажироместимостью 100–200 человек (соответственно, ШФС и УФС), и даже деловыми самолетами пассажироместимостью порядка 10 человек. Подчеркнем, что они все выполняют одну и ту же транспортную задачу, и пассажиру, строго говоря, безразлично, сколько человек летит одновременно с ним². Приведенные примеры ЛВС ВВП и ЛВС КВП, УФС и ШФС – разные платформы, хотя и работающие в одних и тех же сегментах рынка авиaperевозок. Это разные функциональные группы ВС, поскольку к ним предъявляются различные требования по грузоподъемности или пассажироместимости, *взлетно-посадочным характеристикам* (ВПХ), и т.п.

В свою очередь, выполнены эти требования могут быть различными способами. Например, ЛВС КВП может быть как самолетом, так и автожиром, а ЛВС ВВП – вертолетом, конвертопланом, мультикоптером и т.п. Эти альтернативы уже представляют собой пример *технических концепций авиационной техники* (ТКАТ), то есть конкретных совокупностей взаимосвязанных технических решений, взаимосвязанных технологий, которые являются путями (способами) выполнения требований к платформе. Если платформа – это совокупность требований к характеристикам ВС, отвечающая на вопрос «что именно и как³ нужно сделать?», то ТКАТ – это возможный ответ на эти требования, конкретизирующий, «каким способом (технологически) это можно сделать».

ТКАТ и платформы находятся в отношении «многие ко многим», т.е. нельзя утверждать, что

¹ В официальных классификациях ВС выделяют *типы* и *классы* ВС именно как конструктивные общности. Также используется термин «*категория*» – например, самолеты с максимальной взлетной массой или пассажироместимостью до определенного порога.

² Примечательно, что для грузовых перевозок аналогичное правило уже несправедливо. Т.е., например, возможность одновременной перевозки груза массой 25 т (причем, с технической точки зрения важно именно то, что это моногруз, с точки зрения центровки ВС, сосредоточенных нагрузок на грузовой пол, возможности погрузки и выгрузки через люки и т.п.) не равноценна возможности перевезти 5 раз по 5 т.

³ Вопрос «как» здесь понимается именно в плане требований, т.е., например, перевезти 1 т на 100 км со скоростью 300 км/ч («что» – транспортная услуга), взлетая и садясь без разбега («как» – требования к функционалу ВС).

некоторый набор ТКАТ «входит в платформу». В принципе, и платформы соотносятся с нишами рынков авиационных работ и услуг как «многие ко многим». Так, ЛВС ВВП (кстати, как и ЛВС КВП) могут также, помимо авиаперевозок на местных воздушных линиях (МВЛ),

решать задачи мониторинга и патрулирования, поисково-спасательные задачи, и т.п.

Схематично можно представить взаимосвязь вышеописанных понятий в области гражданского авиастроения в следующем виде (см. рисунок 1 и 2, иллюстрирующие вышеописанные примеры).



Рисунок 1. Иерархическая связь сегментов рынков авиационных работ и услуг, платформ гражданской авиационной техники и технических концепций (пример местных авиаперевозок, поисково-спасательных операций и легких ВС)



Рисунок 2. Иерархическая связь сегментов рынков авиационных работ и услуг, платформ гражданской авиационной техники и технических концепций (пример магистральных авиаперевозок и ВС)

Формирование состава платформ и ТКАТ, а также определение значений их характеристик (для платформ – целевых, для ТКАТ – достижимых) и составляет суть задач стратегического планирования технологического развития авиационного строения.

Характеристики – количественные и качественные показатели свойств изделий и систем в целом, их подсистем и элементов. Это могут быть как частные характеристики систем всех уровней (изделий, подсистем, элементов), так и интегральные характеристики изделия в целом, характеризующие его с точки зрения *надсистемы* – парка воздушных судов, авиатранспортной системы и т.п., – и, таким образом, определяющие влияние изделия на достижение генеральных целей развития данной области техники. Характеристики воздушного судна в целом могут быть как частными (расход топлива на различных режимах полета, силы и моменты, действующие на самолет при отказе системы сдува/отсоса пограничного слоя, и т.п.), так и интегральными (стоимость единицы транспортной работы, длительность транзитного технического обслуживания, ТО, вероятность развития катастрофической ситуации в определенных условиях полета, и т.п.). Сами по себе характеристики могут быть не скалярными, а векторными, или даже более сложными объектами – например, могут представлять собой некоторые функциональные зависимости, как, например, поляры крыла или планера в целом, дроссельные и высотно-скоростные характеристики двигателей.

Совокупность характеристик произвольных подсистем и элементов изделий авиационной техники, а также частных характеристик воздушных судов (ВС) в целом обозначим $P = [\vec{p}_1, \dots, \vec{p}_N]^T$, где $\{p_i\}$, $i = 1, \dots, N$ – отдельные подсистемы и элементы⁴. Размерность этого «метавектора» может быть очень большой, тем более что в нем могут быть представлены компоненты разных уровней иерархии. Здесь преднамеренно не

делается попытки их разделить и четко описать соответствующую иерархию.

Интегральные характеристики воздушных судов обозначим $\{r_j\}$, $j = 1, \dots, M$. Они зависят от частных характеристик воздушных судов и характеристик отдельных систем и подсистем (причем, в общем случае, от всех):

$$r_j = r_j(P), \quad j = 1, \dots, M.$$

Кроме того, и частные характеристики, и, тем более, интегральные, зависят от условий (внешних, не контролируемых проектантом). Причем, как правило, чем выше уровень характеристики, тем сильнее она зависит именно от внешних условий, а не от технологий и конструктивных параметров. Это могут быть как определенные условия (на которые проектант может ориентироваться) – например, параметры стандартной атмосферы, так и неопределенные, например, цены на авиатопливо. Более корректно предыдущее выражение можно переписать так:

$$r_j = r_j(P, E), \quad j = 1, \dots, M,$$

где E – «метавектор» условий. Причем, условия могут изменяться сложным, заданным проектантом, образом. Например, параметры атмосферы по мере изменения высоты полета могут меняться по определенным законам (в простейшем случае эти зависимости формализованы в виде международной стандартной атмосферы, МСА). Процессы эксплуатации воздушных судов и авиадвигателей, изменения режимов их работы, нагружения их элементов могут задаваться в виде обобщенного типового полетного цикла (ОТПЦ), и т.п. Поэтому здесь и далее рассматривается именно подобная «свертка» условий, а зависимости характеристик от этой свертки представляют собой некоторый функционал, а не просто функцию, даже многих переменных.

Совокупность интегральных характеристик воздушных судов в целом обозначим $R = [\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_M]^T$. В свою очередь, интегральные характеристики воздушных судов являются входными данными для оценки показателей достижения генеральных целей развития области техники – например, повышения доступности авиатransпортов, их качества, повышения безопасности полетов и снижения экологического ущерба. Показатели достижения генеральных целей обозначим

⁴ На стадии НИР можно говорить лишь о характеристиках гипотетических перспективных изделий, которые могут быть созданы на основе исследуемых технологий. Соответственно, имеют место не истинные значения характеристик, а их оценки, получаемые в процессе прикладных НИР. Для простоты символ «^», обозначающий оценочный характер характеристик, в данной работе опускается.

$\{s_k\}$, $k=1, \dots, L$. Они зависят от интегральных показателей ВС (тоже, в общем случае, всех) и, опять же, от внешних условий:

$$s_k = s_k(R, E), \quad k=1, \dots, L.$$

Совокупность показателей достижения генеральных целей обозначим $S = [\vec{s}_1, \dots, \vec{s}_L]^T$.

Иерархия и взаимосвязь описанных характеристик и показателей схематично показаны на рисунке 3.

Задачи и инструменты оценки влияния технологий на характеристики перспективной продукции и на достижение целей НТР авиастроения

Согласно разработанной методологии прогнозирования и стратегического планирования научно-технологического развития (НТР) авиастроения, прогноз НТР включает в себя:

- форсайт спроса, т.е. прогноз потребностей в развитии технологий, представляющий собой систему формализованных и выраженных в т.ч. в количественной форме требований к перспективной авиационной технике и, в конечном счете, к технологиям;

- форсайт предложения, т.е. прогноз технологических возможностей – достижимых с использованием тех или иных новых технологий характеристик перспективной авиационной техники.

Для реализации этих двух процессов необходимы инструменты получения объективных оценок:

- показателей достижения генеральных целей развития авиастроения при заданных характеристиках изделий авиационной техники (в т.ч. гипотетических),
- характеристик изделий авиационной техники, достижимых при использовании тех или иных комплексов технологий.

Поскольку рассматриваются будущие, гипотетические изделия авиационной техники и области их применения, основным средством получения необходимых оценок является математическое моделирование. Необходимо разработать методы и программные средства моделирования:

- систем высшего уровня, в которых применяются изделия авиационной техники (авиатранспортной системы, группировки Воздушно-космических сил) – ситуационного моделирования,

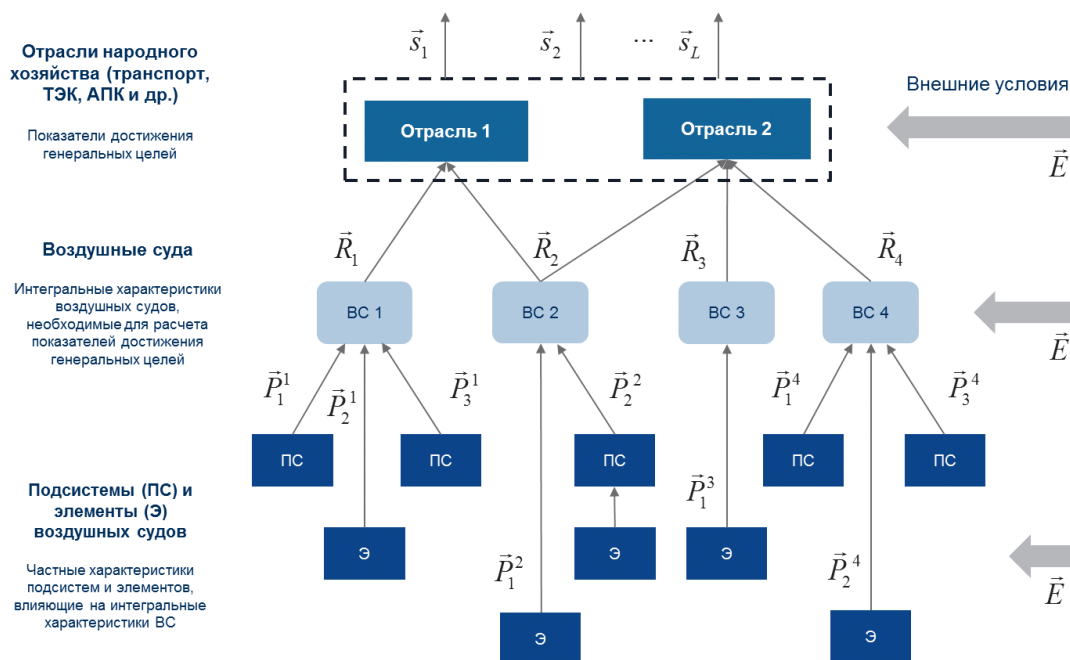


Рисунок 3. Взаимосвязь интегральных и частных характеристик воздушных судов и их элементов, показателей достижения генеральных целей и внешних условий

- самих изделий авиационной техники как сложных систем, в конструкции и процессах функционирования которых воплощены технологии авиастроения, новые, существующие и перспективные – инженерного моделирования.

Первая группа инструментов применяется преимущественно в рамках форсайта спроса, вторая – в рамках форсайта предложения. Разумеется, этот инструментарий не может быть универсальным. Системные модели разрабатываются под каждую существующую или предполагаемую область применения авиации в национальной экономике и обороне, а инженерные модели – зачастую под каждую техническую концепцию, и даже под каждую новую или предполагаемую технологию. Причем, например, при построении системных моделей необходимо учитывать уникальные страновые особенности Российской Федерации, специфику ее природно-географического, социально-экономического, геополитического положения.

Платформы, т.е. группы авиационной техники, выполняющие определенные функции (виды авиaperевозок или авиационных работ) и удовлетворяющие определенным требованиям, должны способствовать достижению генеральных целей научно-технологического развития авиастроения и, в конечном счете, социально-экономическому развитию страны. Этими соображениями и должны определяться рациональный состав платформ и требования к их характеристикам.

Существуют следующие механизмы влияния научно-технологического развития авиастроения на социально-экономическое развитие:

1) Совершенствование гражданских ВС как средств воздушного транспорта⁵ улучшает транспортное обслуживание страны (в частности, доступность, качество, безопасность авиатранспортных услуг), а также, возможно, снижает вредное экологическое воздействие авиации на окружающую среду.

⁵ Строго говоря, гражданская авиационная техника, помимо оказания авиатранспортных услуг (перевозок), может использоваться и для выполнения авиационных работ. Поэтому далее, говоря о «транспортных» аспектах применения гражданской авиационной техники, будем иметь в виду и авиационные работы, которые нередко не сводятся к решению транспортных, перевозочных задач.

2) Сам процесс производства и реализации изделий гражданской авиационной техники вносит вклад в валовый внутренний продукт (ВВП), занятость квалифицированных кадров, высокотехнологичный экспорт и т.п.

3) Возможен трансфер технологий, разработанных в интересах авиастроения, в другие отрасли, а также межотраслевая интеграция исследований и разработок между авиастроением и другими отраслями.

Поэтому для обоснования состава и требований к характеристикам платформ в гражданском авиастроении необходимо количественно оценить влияние гипотетического набора платформ с заданными характеристиками на реализацию вышеперечисленных механизмов. Иногда они будут конфликтными – например, достижение социально-экономических целей в области транспортного обслуживания, и достижение коммерческих целей производства и продажи продукции авиастроения. Для определения глобального оптимума потребуются агрегирование этих механизмов, их вклада в социально-экономическое развитие.

Но прежде необходимо получить хотя бы оценки отдельных, частных показателей:

- «транспортной»⁶ (включая не только доступность и качество авиатранспортных услуг, но и их безопасность и экологические характеристики),
- производственной (т.е. с точки зрения влияния их производства на доходы авиационных предприятий и их прибыль, занятость кадров),
- и «технологической»⁷ эффективности гипотетических платформ с определенными характеристиками.

Для этого используются следующие виды математических моделей:

А) Модели авиатранспортной системы с входными данными в виде гипотетических платформ, описываемых заданным набором характеристик уровня научно-технического совершенства. Другая группа входных параметров

⁶ С учетом ранее сделанного уточнения, т.е. учитываются и разнообразные авиационные работы.

⁷ Под таковой понимается эффективность платформы как источника технологий, которые могут быть применены или адаптированы в других отраслях экономики.

этих моделей – цены самих изделий авиационной техники, послепродажных услуг, а также используемых в эксплуатации ресурсов, в т.ч. энергоносителей и труда. Выходом этих моделей должны быть показатели достижения генеральных целей развития науки и технологий в гражданском авиастроении, т.е. повышения доступности, качества, безопасности авиатранспортных услуг и экологичности воздушного транспорта.

Б) Производственно-экономические модели авиастроительных программ разработки, производства и послепродажного обслуживания гипотетических ВС с заданными характеристиками уровня научно-технического совершенства. Одним из главных входных параметров в этих моделях является планируемый объем выпуска соответствующих изделий за их жизненный цикл. Он, в свою очередь, оценивается исходя из моделей спроса на авиаперевозки (или авиационные работы) при заданных показателях их доступности и качества, которые и определяются в предыдущем пункте.

В этих моделях значимыми факторами, помимо серийности выпуска изделий, являются факторы сложности используемых технологий (в т.ч. продуктовых технологий, воплощенных в конструктивных решениях и принципах функционирования изделий, а также используемых материалов). Косвенно на нее влияют требования, предъявляемые к платформе (они уточнялись выше с помощью моделей авиатранспортной системы). Но все-таки, строго говоря, стоимость:

- создания технологий (т.е. прикладных научно-исследовательских работ, НИР),
- разработки образцов авиационной техники (т.е. опытно-конструкторских работ, ОКР),
- производства⁸,

зависит не столько от требований к ВС, сколько от конкретного пути выполнения этих требований, т.е. от выбора конкретных ТКАТ для каждой платформы. Поэтому важным «входом» для таких моделей является состав конкретной

ТКАТ, перечень и характеристика входящих в нее технологий.

Выходные показатели этих моделей – это показатели коммерческой эффективности авиастроительных проектов (прибыль, рентабельность и т.п.), а также их результативности именно с производственной точки зрения – например, занятости кадров, средней производительности труда и т.п.

Строго говоря, следует оценивать производственную эффективность не отдельных проектов разработки и производства изделий для каждой платформы, а портфеля проектов, с учетом их совместной реализации в авиационной промышленности (и дефицитности общих ресурсов), возможной технологической общности различных платформ (точнее, ТКАТ, выполняющих их функции) и т.п.

Для количественной оценки третьего вида влияния изменений авиационных технологий на социально-экономическое развитие – трансфера технологий и межотраслевой интеграции – необходимы модели, аналогичные описанным выше моделям типов (А) и (Б), а именно:

- Модели применения изделий других отраслей (например, применения изделий энергетического машиностроения в энергетике). Эти модели также должны определять эффективность применения данных изделий – например, стоимость энергии для потребителей, уровень экологического воздействия энергетики на окружающую среду, и т.п.
- Производственно-экономические модели разработки и производства изделий других отраслей, использующих авиационные технологии – эти модели практически аналогичны таковым для авиастроения.

«Технологическая» эффективность также должна оцениваться для совокупности ТКАТ и портфеля входящих в них технологий. Некоторые ТКАТ требуют разработки общих технологий, которые, кроме авиастроения, также могут применяться в других отраслях. Именно технологическая общность с другими отраслями и определяет возможности трансфера технологий и межотраслевой интеграции их разработки. Они и являются источником «технологической» эффективности.

⁸ А также длительность НИР и ОКР, что немаловажно при анализе жизненного цикла изделия, его коммерческой и «транспортной» эффективности.

Цены продукции авиастроения (включая сами изделия авиационной техники и их послепродажное обслуживание) также являются входами для моделей авиастроительных проектов (моделей типа Б). Но если при оценке доступности авиатранспортных услуг их повышение играет негативную роль, то здесь увеличение цен на продукцию авиастроения повышает коммерческую эффективность программ разработки и производства изделий. Таким образом, цены продукции балансируют «транспортную» и «коммерческую» эффективность программ разработки и производства авиационной техники в рамках определенных платформ и ТКАТ. Здесь цены продукции авиастроения не связаны напрямую с ее себестоимостью. Это справедливо и на свободном рынке, где авиастроительные компании могут проводить гибкую ценовую политику, и в случае реализации программы создания изделия (а также, возможно, его эксплуатации) под государственным контролем, когда решения должны приниматься не по коммерческим, а по народнохозяйственным критериям. В последнем случае цена изделия может быть даже ниже себестоимости, что приведет к убыточности его

разработки и производства. Но это может быть оправдано, например, повышением доступности авиатранспортных услуг и сокращением потребности в их дотировании со стороны государства. Аналогичным образом следует «увязывать» коммерческую и «технологическую» эффективность авиастроительных проектов.

Таким образом, состав и взаимосвязь моделей, необходимых для комплексной оценки эффективности гипотетического набора платформ в гражданском авиастроении и реализующих их функции ТКАТ, могут быть схематично представлены в виде, показанном на *рисунке 4*.

Заключение

Описанные в статье модели и методы предназначены для оценки влияния разрабатываемых или предлагаемых к разработке технологий на показатели достижения генеральных целей развития науки и технологий в авиастроении. Они обеспечивают комплексную и «сквозную», вплоть до влияния на достижение генеральных целей создания научно-технического задела, оценку эффективности технологий в рамках выбранных критериев.

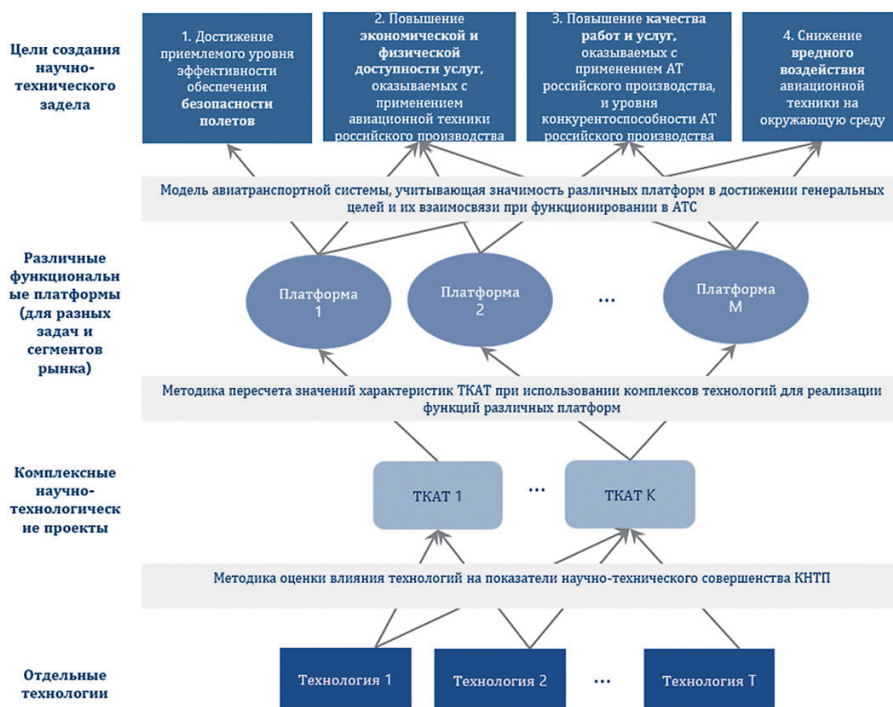


Рисунок 4. Система моделей оценки эффективности платформ и технических концепций в гражданском авиастроении

Оценка эффективности как таковая (по каким бы методикам она ни выполнялась) ни в коем случае не является самоцелью, и рассматривается лишь как средство (причем, одно из нескольких необходимых) обоснования управленческих решений. В сочетании с показателями уровней готовности технологий (косвенно характеризующими риск их дальнейшей разработки, а также необходимые для завершения разработки сроки), а также оценками потребного объема ресурсов (трудовых,

финансовых, объемов использования объектов экспериментальной базы и т.п.), оценки эффективности технологий служат основой для принятия решений о включении предлагаемых научно-исследовательских работ (нацеленных на развитие определенных технологий, на доведение их до некоторого уровня готовности) в программу прикладных НИР по созданию научно-технического задела в авиастроении. Это основная задача стратегического планирования научно-технологического развития отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т. (2013) Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь. 320 с.
2. Korgin N., Rozhdestvenskaya S.M. (2017) Concordant Approach for R&D Projects' Evaluation and Ranking for Formation of Programs. 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT).
3. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И. (2007) Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. № 3. С. 6–12.
4. Клочков В.В., Рождественская С.М. (2016) Анализ эффективности формализации целеполагания в прикладных научных исследованиях и разработках // Russian Journal of Management. Т. 4. № 1. С. 82–92.
5. Bilbro J.W. (2007) A Suite of Tools for Technology Assessment. AFRL Technology Maturity Conference. Air Force Research Lab.
6. Delaurentis D.A., Mavris D.N. (2000) Uncertainty Modeling and Management in Multidisciplinary Analysis and Synthesis. AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.
7. Jimenez H., Mavris D.N. (2014) Characterization of Technology Integration Based on Technology Readiness Levels // Journal of Aircraft. P. 1–12.
8. Mankins J.C. (2002) Approaches to Strategic Research and Technology Analysis and Road Mapping // Acta Astronautica. V. 51. № 1–9. P. 3–21.
9. Клочков В.В., Рождественская С.М., Фридлянд А.А. (2018) Обоснование приоритетных направлений развития авиационной техники для местных воздушных линий // Научный вестник ГосНИИ ГА. № 20 (331). С. 93–102.
10. Смирнов А.В., Егошин С.Ф. (2018) Авиатранспортная доступность и транспортная дискриминация населения в субъектах Российской Федерации // Научный вестник МГТУ ГА. Т. 21. № 3. С. 78–90.
11. Gorshkova I.V., Klochkov V.V. (2011) Economic analysis of development prospects for air transport in Russia's sparsely populated regions // Studies on Russian Economic Development. Vol. 22. № 6. P. 611–621.
12. Дутов А.В., Сыпало К.И., Топоров Н.Б. (2018) Управление созданием научно-технического задела в авиастроении с использованием ситуационного моделирования // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. № 11. С. 77–86.
13. Методологические основы и регламенты управления исследованиями и разработками в высокотехнологичных отраслях промышленности (на примере Национального исследовательского центра «Институт имени Н.Е. Жуковского») (2017) под ред. Б.С. Алешина, А.В. Дутова. М.: ГосНИИАС. 160 с.
14. Рождественская С.М., Клочков В.В. (2017) Методический инструментальный формирование программ технологического развития и перечня критических технологий в авиастроении // Россия: тенденции и перспективы развития (ежегодник). Вып. 12. Ч. 2. С. 496–503.

REFERENCES

1. Saati T. (2013) Decision Making. Hierarchy Analysis Method. Moscow: Radio and communication. 320 p.
2. Korgin N., Rozhdestvenskaya S.M. (2017) Concordant Approach for R&D Projects' Evaluation and Ranking for Formation of Programs. 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT).
3. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Makarenko D.I., Maksimov V.I. (2007) cognitive approach to management // Problems of management. № 3. P. 6–12.
4. Klochkov V.V., Rozhdestvenskaya S.M. (2016) Analysis of the effectiveness of formalizing goal setting in applied research and development // Russian Journal of Management. V. 4. № 1. P. 82–92.
5. Bilbro J.W. (2007) A Suite of Tools for Technology Assessment. AFRL Technology Maturity Conference. Air Force Research Lab.
6. Delaurentis D.A., Mavris D.N. (2000) Uncertainty Modeling and Management in Multidisciplinary Analysis and Synthesis. AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.
7. Jimenez H., Mavris D.N. (2014) Characterization of Technology Integration Based on Technology Readiness Levels // Journal of Aircraft. P. 1–12.
8. Mankins J.C. (2002) Approaches to Strategic Research and Technology Analysis and Road Mapping // Acta Astronautica. V. 51. № 1–9. P. 3–21.
9. Klochkov V.V., Rozhdestvenskaya S.M., Fridlyand A.A. (2018) Justification of priority areas for the development of aircraft for local airlines // Scientific Herald of the State Research Institute of Civil Aviation. № 20 (331). P. 93–102.
10. Smirnov A.V., Egoshin S.F. (2018) Air transport accessibility and transport discrimination of the population in the constituent entities of the Russian Federation // Scientific Herald of the MSTU CA. V. 21. № 3. P. 78–90.
11. Gorshkova I.V., Klochkov V.V. (2011) Economic analysis of development prospects for air transport in Russia's sparsely populated regions // Studies on Russian Economic Development. V. 22. № 6. P. 611–621.
12. Dutov A.V., Sypalo K.I., Toporov N.B. (2018) Managing the creation of a scientific and technical reserve in the aircraft industry using situational modeling // Flight. All-Russian scientific and technical journal. № 11. P. 77–86.
13. Methodological foundations and regulations for the management of research and development in high-tech industries (for example, the National Research Center «Institute named after NE Zhukovsky») (2017) under the editorship of B.S. Aleshina, A.V. Dutova. Moscow: GosNIIAS. 160 p.
14. Rozhdestvenskaya S.M., Klochkov V.V. (2017) Methodological tools for the formation of technological development programs and a list of critical technologies in the aircraft industry // Russia: trends and development prospects (annual). V. 12. Part 2. P. 496–503.

UDC 001.89: 338.27:629.7

Dutov A.V., Klochkov V.V. *Methods for assessing the impact of technologies on the characteristics of promising products and achieving the goals of scientific and technological development (exemplified by the national aircraft industry)* (The National Research Center «Zhukovsky Institute», Viktorenko Str., 7, Moscow, Russia, 125319)

Abstract. A methodological approach is proposed to assess the impact of new technologies on achieving the goals of scientific and technological development of the industry (for example, aircraft manufacturing). It assumes a hierarchical relationship between the characteristics of individual technologies, the characteristics of products (aircraft) and the integral characteristics of air transport systems. It is considered that at the stage of applied research and development not hypothetical but real objects are developed. The composition and relationships of the necessary complex of mathematical models are described.

Keywords: *strategic planning, forecasting, scientific and technological development, general goals, technologies, efficiency, impact assessment, mathematical models.*

Е.И. ПУДАЛОВА,

к.ф.-м.н., начальник комплекса Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского, Московская область, Россия, epudalova@tsagi.ru

А.М. ПОЛЯКОВ,

к.ф.-м.н., заместитель начальника комплекса Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского, Московская область, Россия, andrey.polyakov@tsagi.ru

А.Б. ГУСЕВ,

к.э.н., начальник отдела Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского, Московская область, Россия, aleksandr.gusev@tsagi.ru

О ВОСТРЕБОВАННОСТИ СОЗДАВАЕМОГО ЦЕНТРАМИ КОМПЕТЕНЦИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА

УДК 001.89

Пудалова Е.И., Поляков А.М., Гусев А.Б. *О востребованности создаваемого центрами компетенций научно-технического задела* (Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского, ул. Жуковского, д. 1, Московская область, Россия, 140180)

Аннотация. В статье рассматриваются методические подходы к анализу накопления и востребованности научно-технического задела. Предложены сценарии востребованности научно-технического задела, представляющие собой траектории накопления и развития новых знаний и технологий. Представленные аналитические конструкции могут быть использованы при разработке и реализации мер государственной научно-технической политики по формированию научно-технического задела и оценке его практического использования.

Ключевые слова: научно-технический задел, востребованность научных результатов, центры компетенций, государственная научно-техническая политика.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-46-51

Цитирование публикации: Пудалова Е.И., Поляков А.М., Гусев А.Б. (2020) О востребованности создаваемого центрами компетенций научно-технического задела // Экономика науки. Т. 6. № 1-2. С. 46-51.



ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Создание научно-технического задела традиционно выступает зоной ответственности государства. Его востребованность представляет агрегированную оценку эффективности расходования бюджетных средств на НИОКР, выделяемых на ранних стадиях готовности технологий. Между сроками получения научного результата и сроками его использования или внедрения может пройти значимое время, однако производственная практика и темпы развития технологий объективно не только задают верхнее ограничение этого периода, но и предъявляют требования к его минимизации. В этих условиях, созданный научно-технический задел приобретает определенный «срок годности» и по факту своего конечного использования может быть отнесен либо в действующий, либо в замороженный актив. Востребованность научно-технического задела выступает прямой оценкой результативности создающих его центров компетенций, и ее удовлетворительное значение будет существенно меньше 100%. При этом такая оценка является валидной только в условиях прогрессивного развития отраслей, а не их стагнации и, тем более, кризиса.

В нормативно-правовых актах Российской Федерации термин «научно-технический задел» не закреплён. Опираясь на управленческую практику, под научно-техническим заделом мы будем понимать совокупность новых знаний и технических решений, на основе и с использованием которых возможна разработка технологий. Научно-технический задел формируется в рамках выполнения НИОКР и находит свое отражение в отчетах о выполненных работах, научных публикациях, патентах и других результатах научно-технической деятельности. На конечных фазах развития технологии научно-технический задел воплощается в новые технологии, инновационные продукты и услуги.

Представленное определение научно-технического задела более применимо к гражданской науке. По версии же Минобороны России, к научно-техническому заделу относятся результаты интеллектуальной деятельности, освоение и реализация которых в промышленном производстве ведет к повышению эффективности функционирования отраслей промышленности и освоению в производстве новых технических систем (изделий) [1]. Такой подход более категоричен и требователен к изначальному качеству научных результатов, и, фактически, предлагает ответственному лицу сделать выбор подходящего варианта из перечня предложений о работоспособных решениях или продуктах. Таким образом, научные результаты как пробы пера к заделу не причисляются.

Предметом данной работы является оценка влияния создаваемого в рамках конкретной НИОКР научно-технического задела на развитие системы знаний в определенной тематической области. Близкие задачи ставятся при оценке результативности НИОКР через достижение индикативных показателей в терминах публикаций, РИД, привлеченного финансирования, и т.п. Однако индикативные показатели, косвенно использующие экспертные оценки в рамках системы рецензирования статей, государственной экспертизы по условиям патентоспособности, инновационном потенциале для развития бизнеса, могут лишь опосредованно говорить о вкладе конкретного исследования в развитие знаний.

Непосредственные оценки результатов выполненного исследования могут проявиться

существенно позднее, так что значимость создаваемого научно-технического задела можно оценить по его дальнейшему использованию, что проявляется в цитировании научных трудов. Уже сейчас анализ цитирования научных публикаций является мощным инструментом исследований развития научного знания, и библиометрические оценки результативности научного труда стали общепринятыми, хотя не бесспорными. В то же время, публикации как канал распространения информации характерны только для ранних уровней готовности технологий и не могут служить универсальным инструментом анализа развития научного знания.

С этой точки зрения научно-технические отчеты фиксируют результаты выполнения НИОКР на всех уровнях готовности технологий [2], и поэтому они являются более надежным источником информации при анализе развития научного знания от ранних к поздним этапам технологической зрелости. При этом для проведения анализа необходимо, с одной стороны, связать между собой научно-технические отчеты в цепочку распространения знаний, а с другой – установить, как в рамках выявленной цепочки происходит изменение уровня технологической зрелости. Если научно-технический задел не ведет к изменениям технологической зрелости, то это может свидетельствовать о проблемах, разрешение которых потребует значительных инвестиций и времени, а задачи развития технологий нужно решать при использовании альтернативных технологических решений. Таким образом, анализ динамики развития уровней технологической зрелости в цепочке распространения знаний носит предсказательный характер и может служить основой для формирования управленческих решений в части поддержки тех или иных предложений по проведению НИОКР.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЦЕПОЧЕК РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗНАНИЙ

Выше уже отмечалось, что формально цепочка распространения знаний проявляется через цитирование, и научно-технические отчеты не являются исключением. В научно-технических отчетах могут быть прямые ссылки на другие отчеты, а также на прочие результаты

научно-технической деятельности, в том числе статьи, монографии, диссертации, объекты интеллектуальной собственности. Цитирование является непосредственным указанием связей между объектами в цепочке распространения знаний [3]. Однако в большинстве случаев ссылки не дают информацию о первоисточнике научного результата, выступившем точкой отсчета. Для выявления первоисточника необходимо проводить отдельную работу [9]. В условиях отсутствия установленных правил указания источника финансирования в результатах научно-технической деятельности, множественности источников финансирования НИОКР, косвенное связывание научно-технических отчетов через результаты научно-технической деятельности не всегда является простой задачей. Еще одной проблемой использования цитирований является то, что они могут показывать как наличие связи, так и ее отсутствие, когда библиографическая ссылка используется для описания специфики и существенных отличий проводимого исследования от цитируемого.

В то же время, цитирование не является единственным источником информации о связях между результатами научно-технической деятельности. Поскольку научные знания формируются в результате труда ученых, распространение знаний происходит также через вовлечение авторов предыдущих исследований в последующие. Безусловно, при этом необходимо иметь ввиду смену тематик исследований, проводимых учеными, связанную как с долгосрочными научными трендами, так и с конъюнктурными изменениями рынка труда.

Более содержательно связь между научно-техническими отчетами может быть выявлена методами семантического анализа текстов [4]. Важно, что при этом из области анализа не исключаются исследования, не имеющие формально установленных связей, включая заимствованные. Научно-технические отчеты содержат большой объем текстовой информации, что позволяет проводить сравнительный анализ текстов с высокой степенью достоверности.

Содержательно связанные научно-технические отчеты в единой хронологической цепочке распространения знаний являются лишь предварительной сборкой объекта исследования. Для

того, чтобы анализировать влияние выполненных или планируемых к выполнению НИОКР на развитие системы знаний необходима метрика, определяющая поступательный характер, прогресс развития системы знаний. С точки зрения общественно значимых результатов научных исследований, наряду с вкладом в образование и культуру, важнейшее значение имеет вклад в развитие технологий, обеспечивающий инновационное развитие экономики. Развитие технологий проходит последовательные этапы, характеризующиеся определенными признаками, и прогресс развития технологии может быть измерен уровнями готовности технологий TRL1–TRL9 [2]. Таким образом, каждый элемент в цепочке распространения знаний для дальнейшего анализа должен быть охарактеризован в терминах уровней готовности технологий.

Существует ряд методов определения уровня готовности технологий, в основном основанных на экспертных оценках. В то же время, представляется возможным использовать методы семантического анализа текстов для выявления уровня готовности технологий исходя из специфики используемой терминологии и изложения результатов для каждого уровня.

СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ЦЕПОЧЕК РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗНАНИЙ

Как было показано выше, выявление связей между отдельными НИОКР позволяет хронологически выстроить цепочку развития знаний, при этом уровень развития может быть охарактеризован в метрике уровней готовности технологий. Необходимо иметь в виду, что исследование, начавшееся в одной тематической области, может быть продолжено в другой. Схематично можно выделить несколько сценариев развития цепочки знаний:

- Поступательное развитие. Сценарий характеризуется последовательным выполнением НИОКР с повышением уровня готовности технологий в выбранной тематической области. Этот идеальный вариант трансформации знаний в технологии корректно оценивается экспертами и позволяет финансирующим организациям минимизировать риски решений по поддержке предлагаемых проектов.

- Повторяющиеся исследования. Сценарий характеризуется последовательным выполнением НИОКР при неизменном уровне готовности технологий в выбранной тематической области. Накопление знаний не приводит к нахождению технологических решений, хотя при этом могут быть достигнуты высокие показатели публикационной и патентной активности из-за получения большого количества хорошо связанных результатов. Несмотря на то, что в этой ситуации экспертные заключения будут подтверждать актуальность и значимость исследований, финансирующие организации должны обратить внимание на возможные альтернативные решения.
- Дивергентные исследования. Сценарий характеризуется миграцией цепочки распространения знаний в соседние технологические области. Несмотря на то, что уровень готовности технологий в соседних областях при этом может не измениться, миграция говорит о высокой технологической восприимчивости заложенных идей в других тематических областях, так что вероятность нахождения тематической области, в которой возможен технологический рост, велика. В этой ситуации оценки экспертов будут говорить о рисках, связанных с отсутствием экспертизы проектных команд и недостаточно ясными результатами ранее проведенных исследований. Однако, поддержка таких проектов финансирующими организациями может привести к технологическим прорывам.
- Конвергентные исследования. Сценарий характеризуется слиянием различных цепочек распространения знаний, в том числе вышедших из соседних технологических областей. Эта ситуация говорит о формировании междисциплинарных решений. Поддержка таких проектов финансирующими организациями может привести к формированию принципиально новых инновационных продуктов.
- Замороженные исследования. Сценарий характеризуется прекращением развития цепочки развития знаний, что может быть связано как с проблемами развития разра-

батываемой технологии, как и с внешними причинами, например, дезинтеграцией проектных команд. Поддержка таких проектов финансирующими организациями в любом случае сопряжена с рисками неполучения планируемого результата.

Приведенные выше сценарии являются идеализацией и могут проявляться на отдельных этапах цепочек развития знаний, сменяя и дополняя друг друга. Тем не менее, отмеченные характерные особенности их развития существенно влияют на оценки экспертного сообщества и должны учитываться финансирующими организациями при поддержке проекта.

ТИПИЗАЦИЯ РОЛЕЙ ЦЕНТРОВ КОМПЕТЕНЦИЙ В ЦЕПОЧКАХ РАЗВИТИЯ ЗНАНИЙ

Центрами компетенций мы будем называть структурные подразделения научных организаций, располагающих квалифицированным персоналом, материальной и нематериальной научной инфраструктурой, способные получать конкурентоспособные результаты в определенном направлении науки и техники.

В связи с тем, что цепочки развития знаний формируются при выполнении НИОКР научными коллективами, организационно представленными центрами компетенций, которые принимают на себя ответственность за выполнение НИОКР и получение ожидаемых результатов научных проектов, центры компетенций представляются субъектами, формирующими цепочки развития знаний. При этом центры компетенций могут выполнять разные роли в цепочке распространения знаний.

Не претендуя на полноту изложения возможных ролей, опишем две наиболее существенные.

- Генераторы результатов. Содержание этой роли проявляется в том, что основные ролевые компетенции состоят в создании новых научно-технических результатов в определенной тематической области, в том числе на основе научно-технических результатов, полученных в других тематических областях. Генерация результатов не всегда приводит к росту уровня готовности технологий – это преимущественно процесс накопления знаний, обуславливающий дальнейший рост

уровня готовности технологий. Для центров компетенций – генераторов результатов может быть характерен высокий уровень научной результативности, но есть риск проведения большого количества исследований, безусловно, расширяющих представление о природе и характеристиках исследуемого объекта, но не являющихся определяющими для развития технологий.

- Проводники технологий. Содержание этой роли чрезвычайно важно для технологического прогресса, основные ролевые компетенции состоят в продвижении научно-технических результатов в определенной тематической области на следующие уровни готовности технологий. Учитывая, что такой переход в большинстве случаев требует иной экспериментально-производственной базы, продвижение к более высоким уровням готовности технологий сопровождается сменой центров компетенций, обеспечивающих такой переход. При этом разрыв между уровнем технологических знаний, которыми обладали центры компетенций, подготовивших переход, и уровнем знаний проводников технологий может нести большие риски. С точки зрения организации НИОКР представляется важным обеспечение устойчивого взаимодействия всех заинтересованных сторон.

В связи с обсуждаемой тематикой можно посмотреть на проблемы технологического трансфера с точки зрения смены ролей центров компетенций при формировании цепочки распространения знаний. Следует отметить, что в высокотехнологичных отраслях промышленности при создании конечного продукта такой переход происходит неоднократно [5]. Например, в авиастроении проводниками технологий

выступают последовательно отраслевые НИИ, конструкторские бюро, авиационные заводы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный в данной работе подход к оценке результата НИОКР основан прежде всего на установлении места НИОКР в цепочке развития знаний. Эта цепочка увязывает результаты выполненных НИОКР в единую последовательность исходя из использования ранее полученных результатов в последующих, при этом каждый результат измерен в шкале уровне готовности технологий TRL1-TRL9.

Каждый результат НИОКР является научно-техническим заделом для последующих исследований. Новые результаты могут углублять накопленные знания, приводить к изменению уровня готовности технологий, возникать в других технологических областях. Выявление логики развития цепочки знаний на экспертном уровне позволяет оценить вклад НИОКР в свод знаний и предсказать возможное влияние заявки на поддержку НИОКР на дальнейшее технологическое развитие.

Так как научно-технические заделы создаются исследовательскими коллективами – центрами компетенций, важно понимание роли тех или иных центров компетенций. Для трансфера технологий в широком смысле – как процесса перехода на следующие уровни технологической зрелости – важны навыки центров компетенций принимать эстафету для развития технологий, имея недостаточные на начальном этапе предметные знания. При этом поддержка центров компетенций, генерирующих все новые и новые знания и показывающих высокую формальную научную результативность, может блокировать выделяемые ресурсы и мешать развитию технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-технический задел (2019) / Министерство обороны Российской Федерации. <http://mil.ru/mission/innovacia/zadel.htm>.
2. ГОСТ Р 58048–2017 (2017) Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
3. Бредихин С.В., Кузнецов А.Ю., Щербакова Н.Г. (2013) Анализ цитирования в библиометрии / Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, НЭИКОН. 344 с.
4. Батура Т.В. (2016) Методы и системы семантического анализа текстов // Программные продукты, системы и алгоритмы. № 4. С. 45–57.

5. Дутов А.В., Сыпало К.И., Топоров Н.Б. (2018) Управление созданием научно-технического задела в авиастроении с использованием

ситуационного моделирования // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. № 11.

REFERENCES

1. Scientific and technical reserve (2019) / Ministry of Defense of the Russian Federation. <http://mil.ru/mission/innovacia/zadel.htm>.
2. GOST R58048–2017 (2017) Technology transfer. Guidelines for assessing the maturity level of technology / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
3. Bredikhin S.V., Kuznetsov A. Yu., Scherbakova N.G. (2013) Citation analysis in bibliometry / Novosibirsk: ICMMG SB RAS, NEIKON. 344 p.
4. Batura T.V. (2016) Methods and systems of semantic analysis of texts // Software products, systems and algorithms. № 4. P. 45–57.
5. Dutov A.V., Sypalo K.I., Toporov N.B. (2018) Managing the creation of scientific and technical means of aviation modeling using situational modeling // Flight. All-Russian scientific and technical journal. № 11.

UDC 001.89

Pudalova E.I., Polyakov A.M., Gusev A.B. On the demand for the scientific and technical reserve created by the centers of competence (Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N.E. Zhukovsky, Zhukovsky Str., 1, Moscow Region, Russia, 140180)

Аннотация. The article discusses methodological approaches to the analysis of the accumulation and relevance of scientific and technical groundwork. Scenarios for the demand for scientific and technical backlog are proposed, which are the trajectories of accumulation and development of new knowledge and technologies. The presented analytical constructions can be used in the development and implementation of measures of the state scientific and technical policy on the formation of a scientific and technical reserve and assessment of its practical use.

Keywords: *scientific and technical background, demand for scientific results, competence centers, state scientific and technical policy.*

А.А. СУХАРЕВ,

руководитель направления ООО «Межотраслевой аналитический центр», г. Москва, Россия,
alx.sukharev@gmail.com

А.О. ВЛАСЕНКО,

старший научный сотрудник ООО «Межотраслевой аналитический центр», г. Москва, Россия,
andrey.vlasenko84@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УРОВНЯ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ В АВИАСТРОЕНИИ

УДК 338.26.015: 001.892:629.735

Сухарев А.А., Власенко А.О. *Применение показателей уровня готовности технологий при планировании комплексных научно-технологических проектов в авиастроении* (Межотраслевой аналитический центр, Большой Афанасьевский пер., д. 36, стр. 1, г. Москва, Россия, 119019)

Аннотация. Изложен подход к выбору направлений развития технологий, включаемых в комплексные научно-технологические проекты организаций авиационной науки. Подход подразумевает выявление соответствующих перспективных требованиям альтернативных вариантов технических концепций продукции и соответствующих им портфелей технологий с последующим их сравнением по степени риска, стоимости и времени доведения до готовности к внедрению. Описан процесс и представлены результаты апробации подхода в части формирования и ранжирования альтернативных портфелей технологий самолетов местных линий по относительному уровню технических рисков их реализации, оцениваемому на основе показателей уровня готовности технологий.

Ключевые слова: технологии, портфель проектов, уровень готовности технологий, авиастроение, научно-технический задел.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-52-61

Цитирование публикации: Сухарев А.А., Власенко А.О. (2020) Применение показателей уровня готовности технологий при планировании комплексных научно-технологических проектов в авиастроении // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 52–61.



ВВЕДЕНИЕ

Особенностями инновационного цикла в авиастроении является наукоёмкость и нарастающая сложность создаваемых продуктов вследствие опережающей динамики требований к их свойствам со стороны заинтересованных сторон – государства, конечных эксплуатантов, а в случае с техникой гражданского назначения – национальных и международных регуляторов и пассажиров. Несмотря на постоянно расширяющийся спектр внедряемых предприятиями и поставщиками авиапрома средств сокращения цикла разработки, таких как автоматизация управления, инженерный труд и производственные процессы, это приводит к прогрессирующему росту трудоемкости, и, как следствие, к увеличению времени создания новой авиатехники.

С некоторой задержкой относительно других отраслей машиностроения, в новом технологическом укладе, переход к которому обусловлен стремительным развитием цифровых технологий в начале XXI в., на авиапроме начинают оказывать влияние такие общие

для промышленного сектора тенденции, как сжатие периода морального устаревания изделий и нарастание конкурентной борьбы за существующие рынки и создание новых рынков. В связи с этим преимущество во времени вывода продукта на рынок часто играет уже не просто заметную, но определяющую роль в коммерческом успехе.

Наряду с оптимизацией проектно-конструкторской и производственной деятельности это преимущество может быть обеспечено за счет сокращения сроков прикладных научных исследований и разработок (ИИР), на которые в столь строго регулируемой в части внедрения инноваций отрасли, как гражданская авиация, может приходиться более половины длительности цикла создания авиатехники [1], что связано с беспрецедентно высокими требованиями к надежности и безопасности финальной продукции. Оптимизация сроков ИИР может быть обеспечена, во-первых, за счет рационализации выбора сфер научных изысканий на ранних стадиях зрелости технологии и, во-вторых, за счет совместной отработки новых технологий на более высоких уровнях готовности путем их комплексирования в составе демонстраторов.

В части организации научно-исследовательских работ (НИР) развитие и отработка технологий в составе демонстраторов осуществляется в рамках комплексных научно-технологических проектов (КНТП). При планировании КНТП актуальна задача выбора такого портфеля, который бы обеспечил создание конкурентоспособных технологий при приемлемом сочетании затрачиваемых ресурсов и рисков, что предполагает переход от широко применяемых в настоящее время «интуитивных» способов планирования к использованию формализованных инструментов выбора тематик прикладных НИР. Авторами предложен подход к решению указанной проблемы, описано место применения показателей готовности технологий применительно к КНТП разработки технологий самолетов местных линий.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изложим суть общего подхода к решению задачи обоснованного выбора альтернативных

вариантов реализации КНТП, в контексте которого применяются показатели готовности.

За основу подхода взята методология «дорожных карт», используемая в практике планирования НИР ряда авиакосмических компаний и научно-исследовательскими организациями зарубежных стран, таких как, например, европейский авиакосмический концерн Airbus [2] и Национальное аэрокосмическое агентство США [3]. Ее суть которой состоит в планировании технологического развития на основе комплексного анализа требований рынка и тенденций развития технологий, с учетом прогресса в их развитии и ресурсных ограничений оператора. Это позволяет добиться согласованности указанных факторов и повысить вероятность достижения целей КНТП, востребованности его результатов.

Выбор целевого сценария КНТП производится в последовательности, схематично представленной на *рисунке 1*.

Цель *первого шага* – определение (1) потенциала продаж и (2) наборов прогнозных требований целевой группы потребителей и других заинтересованных сторон к характеристикам продуктов, в обеспечение которых реализуется КНТП. В общем случае методы, применяемые на данном шаге, определяются особенностями рынков продукции. В области гражданского авиастроения комплекс исследований, проводимых на этом этапе, включает, как минимум:

(а) прогнозную оценку рынка авиaperевозок и финальной продукции,

(б) прогноз требований к финальной продукции со стороны потенциальных владельцев воздушного судна, эксплуатантов и регуляторов и др. стейкхолдеров,

(в) прогноз конкурентной среды и требований к характеристикам летательного аппарата исходя из обеспечения конкурентоспособности.

Второй шаг подразумевает формирование альтернативных портфелей новых технологий, с помощью которых могут быть созданы продукты, удовлетворяющие требованиям, выявленные на первом шаге. Вначале формируются альтернативные варианты принципиальных решений («технических концепций», ТК), на основе которых можно создать товарный продукт и производится их структурная

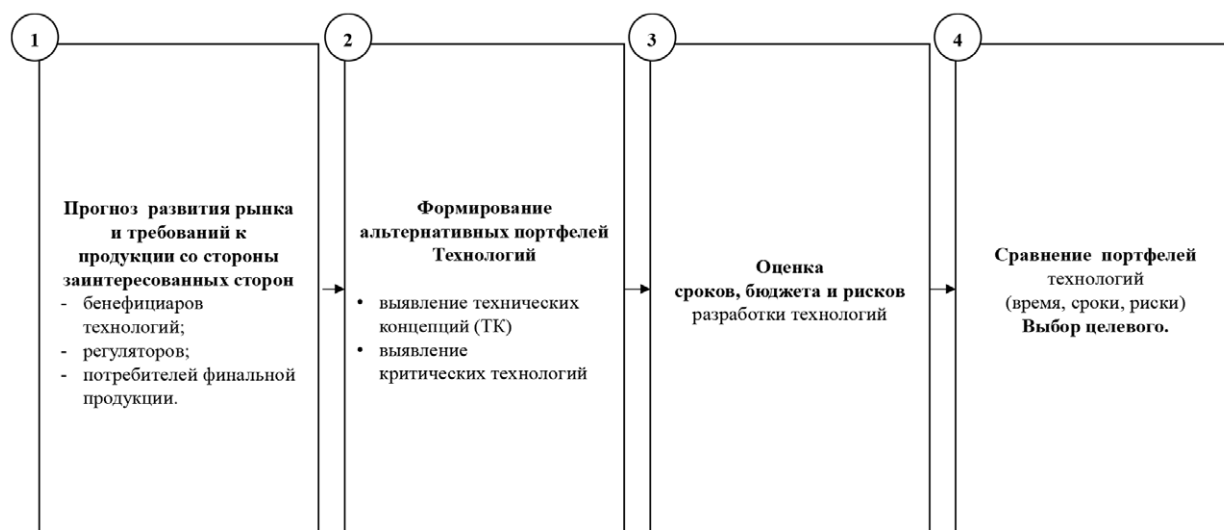


Рисунок 1. Основные этапы предлагаемого подхода к выбору вариантов КНТП

Источник: разработано авторами

декомпозиция до уровня основных подсистем, с выделением в их составе «технических решений» (ТР) – элементов и подсистем, повышение характеристик которых оказывает значительное влияние на достижение финальным продуктом прогнозных требований. Для каждого ТР определяются критические технологии (КТ), которые необходимо разработать для обеспечения его целевых характеристик. В общем случае критическими могут быть признаны новые технологии, для которых верно хотя бы одно из утверждений:

1. Технология является новой, для возможности ее промышленного использования требуется проведение исследований и разработок.

2. Высоко влияние технологии на эффективность и результативность технического решения.

3. С применением технологии связан главный технический риск системы, в которой она реализуется.

В результате построения таких иерархий «ТК-ТР-КТ» формируется как минимум один набор альтернативных портфелей критических технологий, иерархически связанных с множествами технических концепций и технических решений, необходимых для их реализации (рисунок 2).

На *третьем шаге* для каждого портфеля предлагается получить оценки: (1) уровня относительного риска, (2) сроков, (3) бюджета его реализации.

Сравнение портфелей технологий и выбор целевого портфеля технологий производится на *четвертом шаге* путем сопоставления результатов оценок уровня относительного риска, сроков и стоимости реализации проектов.

Таким образом, одним из трех компонентов, оказывающих влияние на выбор в пользу того или иного технологического портфеля, является относительный уровень риска его реализации. Этот показатель мы предлагаем оценивать на основе показателей готовности технологий, входящих в состав портфеля.

На качественном уровне правомерность указанного подхода может быть объяснена тем, что продвижение технологического проекта «вверх» по выбранной шкале готовности удостоверяет факт подтверждения идеи (уровень готовности 1 по «классической шкале TRL NASA [4]» все более и более достоверными методами – сначала расчетными (TRL 2), а затем – экспериментальными (TRL 3–6) и, следовательно, снижает риск недостижения изначально запланированных характеристик объекта разработки.

Количественная взаимосвязь показателей готовности и уровня риска продемонстрирована на модельном примере расчета отклонений бюджета при сравнении двух альтернативных портфелей проектов. Пусть требуется выбрать один из двух альтернативных вариантов технологических портфелей, каждый из которых

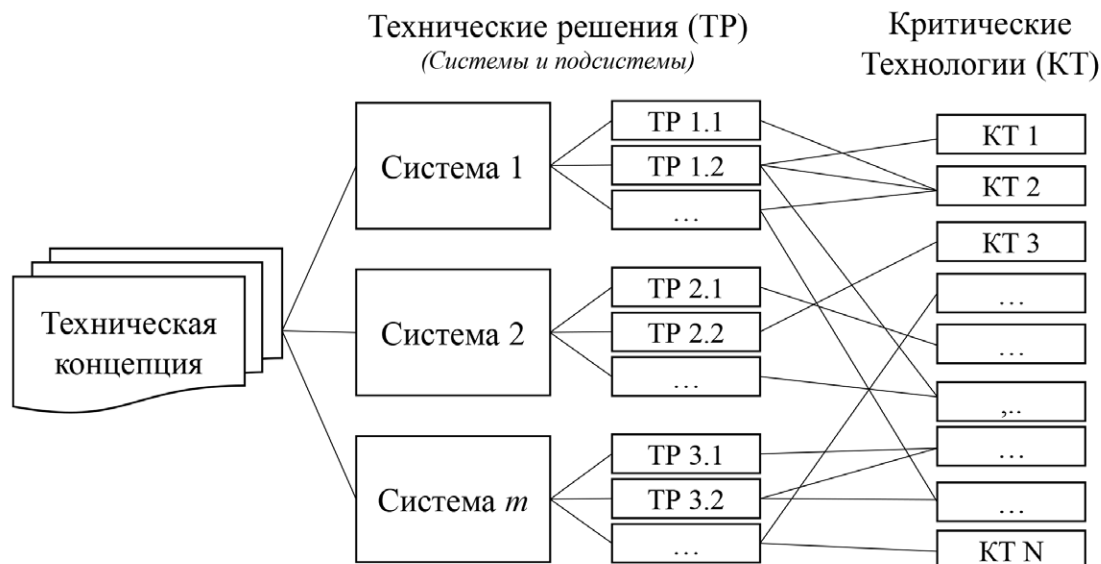


Рисунок 2. Результат формирования альтернативных портфелей технологий

Источник: разработано авторами

состоит из трех проектов, суммарный прогнозный объем инвестиций в которые равен 100 денежных единиц на портфель, а потенциальный доход от реализации одинаков. Портфели отличаются составом входящих в них проектов и уровнем их готовности по шкале TRL (таблица 1, п. 1). На практике отличие в уровне готовности технологий означает как то, что

на момент включения в портфель характеризовались различной степенью фактического освоения затрат на разработку, так и то, что будет существенно отличаться достоверность оценок их планового бюджета. Указанные факторы учтем, введя в расчет параметры (1) доли освоения бюджета разработки и (2) максимального отклонения оценки для разных уровней

Таблица 1

**Связь показателей готовности и уровня риска реализации портфеля проектов:
Исходные данные и допущения расчета модельного примера**

1. Исходные данные						
	Техн. 1	Техн. 2	Техн. 3	ВСЕГО		
1.1. Прогноз совокупных инвестиций в портфель с учетом фактических затрат						
План, [денежных единиц]						
Портфель 1	20	30	50	100		
Портфель 2	30	40	30	100		
1.2. TRL на начало проекта						
Портфель 1	2	3	3	-		
Портфель 2	4	4	5	-		
2. Модельные допущения						
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6
Доля освоения бюджета разработки на разных стадиях готовности проекта	5%	10%	20%	40%	80%	100%
Максимальное отклонение оценок бюджета проекта от факта	50%	40%	30%	20%	15%	10%

Источник: разработано авторами

готовности проекта, допущения по значениям которых представлены в *таблице 1, п. 2*.

Результаты расчета (*таблица 2*) показывают, что в рассматриваемой задаче при прочих равных условиях риски увеличения бюджета портфеля № 1, который включает проекты с меньшими значениями TRL, выше, чем риски увеличения бюджета портфеля № 2.

Охват факторов, учитываемых с помощью показателей готовности, зависит от выбранных типов показателя, а точность – в значительной мере от методики их оценки. Например, оценка относительного уровня риска только на основе значений TRL или аналогичной российской шкалы уровней готовности технологий (УГТ)

[5] будет охватывать преимущественно сферу технологических рисков, в то время как учет дополнительных показателей, например, уровня готовности интеграции (IRL), уровня организационной (ORL), производственной (MRL) готовности или их сочетаний (например, представленный в [6] комплексный показатель TPRL), позволит учесть большинство основных факторов рисков, характерных для технологических проектов.

Достоверность этих оценок будет тем выше, чем ниже субъективность методики оценки показателя готовности, а следовательно – чем выше требования к доказательной базе, необходимой для подтверждения факта достижения уровня. При высоком качестве проведения оценки

Таблица 2

**Связь показателей готовности и уровня риска
реализации портфеля проектов.
Результаты моделирования**

Показатель	КТ1	КТ2	КТ3	ВСЕГО
1. Фактические затраты на разработку НТ на начало проекта				
Портфель 1	2	6	10	18
Портфель 2	12	16	24	52
2. Прогнозный бюджет проекта, [денежных единиц]				
Плановый				
Портфель 1	18	24	40	82
Портфель 2	18	24	6	48
Пессимистический				
Портфель 1	25,2	31,2	52	108,4
Портфель 2	21,6	28,8	6,9	57,3
3. Прогнозная оценка совокупных инвестиций в портфель, с учетом фактических затрат базовая, [денежных единиц]				
Портфель 1	20	30	50	100
Портфель 2	30	40	30	100
пессимистическая, [денежных единиц]				
Портфель 1	27,2	37,2	62	126,4
Портфель 2	33,6	44,8	30,9	109,3
Отклонение от плана, %				
Портфель 1	0,36	0,24	0,24	26%
Портфель 2	0,12	0,12	0,03	9%

Источник: разработано авторами

наименьшей достоверностью должны, по всей видимости, обладать показатели, определенные экспертным методом; наибольшей – показатели, определенные на основе глубокого и независимого анализа проекта с представлением документарного подтверждения достижения целей этапов работ.

АПРОБАЦИЯ

Применение изложенного выше подхода продемонстрируем на примере предварительной оценки относительного уровня рисков для альтернативных портфелей технологий создания перспективных самолетов местных воздушных линий двух смежных размерностей – вместимостью 9 и 19 пассажиров. Указанная оценка была получена в результате выполнения подзадач второго и третьего шага общей методики. Несмотря на невысокую ожидаемую точность, в силу предварительного характера исследования, сжатых сроков и организационной сложности сбора информации о состоянии проектов вследствие пока еще недостаточного внедрения проектного или процессного управления в научно-исследовательских организациях авиационной науки, на этапе сбора информации наряду с результатами предшествующих НИР был использован метод экспертных оценок.

Отбор вариантов технических концепций произведен на основе предложений ведущих отраслевых научно-исследовательских организаций (ФГУП «ЦАГИ» и ФГУП «ЦИАМ»), основанных на результатах расчетных и расчетно-экспериментальных исследований в области обликковых решений перспективных легких транспортных летательных аппаратов. Предложено шесть вариантов ТК, каждая из которых может быть применена для создания самолетов обеих рассматриваемых размерностей и на которых потенциально может быть обеспечено достижение тактико-технических требований, сформированных в результате предварительно проведенных кабинетных и полевых маркетинговых исследований. Одна из концепций представляет собой самолет с традиционной турбовинтовой силовой установкой, а пять – самолеты различной аэродинамической конфигурации, подразумевающие применение гибридных turboэлектрических

силовых установок различных принципиальных схем и конструкций.

Для формирования объектов оценки, сбора первичной информации о номенклатуре, основных характеристиках технологических проектов и получения оценок критериев отбора критических технологий специалистами Межотраслевого аналитического центра был разработан формат паспорта технологий (*рисунок 3*).

На основе ранее проведенных НИР специалистами организаций авиационной науки предложено провести разработку 87 технологий. По критериям, указанным в пункте 4 паспорта технологии, из предложенного перечня отобрано 69 критических технологий, в том числе 10 технологий газотурбинных двигателей, 16 технологий электрических машин, 11 технологий аккумуляторных батарей и топливных элементов, 9 технологий аэродинамики и прочности, 2 технологии движителей, 19 технологий бортового оборудования.

С использованием данных паспортов технологий и схем членения технических концепций сформированы связи между техническими концепциями, техническими решениями и критическими технологиями. Иерархии представлены в специально разработанном формате бинарных «матриц соответствия», количество столбцов которых равно множеству ТР, применяемых в данном ТК, а количество строк – количеству критических технологий (*рисунок 4*). Критические технологии, имеющие связи с данным техническим концептом, и формируют соответствующие портфели. Таких портфелей было выделено семь.

Для ранжирования полученных портфелей проектов по показателю относительного риска реализации были использованы экспертные оценки показателей УГТ, полученные для каждой КТ с привлечением специалистов организаций авиационной науки.

В ходе работы было последовательно рассмотрено два подхода к получению оценки рисков: вероятностный и метод простого ранжирования.

Теоретические основы и описание первого из них изложено авторами в [7]. В нем вводится показатель риска R как характеристика вероятности неудачи создания КТ, входящих

1. Общее описание	Наименование
	Краткое описание
	Тип конечного результата
2. Применение технологии в ЛА	Уровень элемента летательного аппарата, на создание (совершенствование) которого направлена технология
	Наименование системы (подсистемы)
3. Степень новизны технологии	Уровень новизны
	Организации-владельцы технологий-аналогов в РФ и за рубежом
	Связь с технологиями более низкого уровня
4. Влияние на эффективность/результативность системы	Степень влияния технологии на возможность создания/характеристики систем (агрегатов ЛА)
	Степень влияния на безопасность ЛА отказа системы, в которой применяется технология
5. Наличие и доступность технологий-заместителей в РФ/мире	Наличие и владельцы технологий-заместителей более низкой степени совершенства
	Альтернативные технологии, способные обеспечить сопоставимый уровень хар-к системы
6. Возможность разделения рисков разработки технологии	Применимость на ЛА других классов, в других отраслях промышленности
7. Текущее состояние развития технологии	УГТ в РФ /за рубежом
8. Характеристики совершенства компонентов ЛА	Характеристика совершенства ТР, на которую оказывает влияние технология
	Связь с другими технологиями
9. Риски внедрения	Потенциальные бенефициары технологии
	Уровень готовности бенефициара к внедрению технологии
	Импортозависимость

Рисунок 3. Структура основных разделов формата паспорта технологии

Источник: разработано авторами

		Технические решения			
Критические технологии		TP1.1	TP1.2	...	TP m.n
	КТ 1	1	1	0	0
	КТ2	0	1	1	0
	...	1	0	1	1
	КТ N	0	0	1	0

Рисунок 4. Пример матрицы соответствия технических решений и критических технологий

Источник: разработано авторами

в портфель. Обозначив событие достижения в будущем технологией (HT_k) УГТ 6 через A_k , получим:

$$R(HT_k) = 1 - P(A_k | TRL_{HT_k}) \quad (1),$$

где $P(A_k | TRL_{HT_k})$ – условная вероятность выхода НТ на шестой уровень готовности при заданном текущем уровне готовности TRL_{HT_k} . Тогда показатель R для портфеля критических технологий с одинаковым уровнем влияния на характеристики ТР с которой они ассоциированы, определяется по формуле (2):

$$R = 1 - P(A_1 | TRL_{HT_1}) \cdot P(A_2 | TRL_{HT_2} A_1) \cdot \dots \cdot P(A_k | TRL_{HT_k} A_1 \dots A_{k-1}) \quad (2).$$

В приведенном выше модельном примере показатели R для первого и второго портфеля были бы равны 0,8 и 0,5 соответственно в предположении, что $P(A_k | TRL_{HT_k})$ для всех технологий портфеля имеет близкую к логарифмической зависимость в диапазоне от 25% для TRL 1 до 100% для TRL 6. Таким образом, риск реализации первого портфеля, содержащего проекты с меньшими УГТ, выше, чем риск реализации второго портфеля.

Однако при решении прикладной задачи от применения изложенного подхода пришлось отказаться в силу двух основных причин: (1) сложности и неудобства интерпретации показателя при применении его к портфелям, включающим много технологий, (2) сложности и трудоемкости получения достоверных оценок функции $P(A_k | TRL_{HT_k})$. Последнее привело к необходимости задаваться указанными зависимостями, переходя, таким образом, от оценки абсолютных к оценке относительных

вероятностей реализации портфелей, что эквивалентно простому ранжированию портфелей.

Для этого был применен более простой и наглядный подход, суть которого заключается в следующем. Для каждого сравниваемого варианта технической концепции было построено распределение количества связанных критических технологий по их УГТ. Наименее рискованным считался вариант технической концепции, создание которого связано с наименьшим количеством технологий с минимальными УГТ. Ранг риска для вариантов технических концепций присваивался из диапазона целых чисел от 1 до 7 (количество оцениваемых портфелей), где ранг 1 соответствует наименее рискованному варианту, а ранг 7 – варианту с наибольшим относительным риском реализации. Определение ранга производилось путем сравнения количества КТ последовательно начиная с технологий, находящихся на УГТ 1. Наименее рискованным считался портфель (и соответствующий ему вариант технической концепции), создание которого связано с использованием наименьшего количества технологий с минимальными УГТ. При наличии в портфелях равного количества технологий с данным УГТ, их ранжирование происходило по количеству технологий более высокого уровня УГТ.

Подобное ранжирование проведено для двух уровней полученных структурных декомпозиций: (1) в целом для технических концепций самолетов и (2) для их основных систем: планера, силовой установки, двигателей, бортового радиоэлектронного оборудования и общесамолетного оборудования. В результате показано следующее:

- наибольшим рангом (то есть наименьшим относительным технологическим риском реализации) обладает вариант разработки улучшающих технологий для создания самолета с традиционной турбовинтовой силовой установкой, поскольку большинство технологий, необходимых для создания такого самолета, находятся в высокой степени готовности. Из остальных технологических концепций наименьшие риски связаны с реализацией самолетов с последовательной гибридной силовой установкой.
- на уровне систем наибольшие риски связаны с развитием технологий создания перспективных авиационных электродвигателей и интегрируемых с ними движителей (винтов и вентиляторов), а также технологий электрификации общесамолетных систем.

Изложенные результаты хорошо согласуются с ожидаемыми и соотносятся с наблюдаемыми в нашей стране и за рубежом тенденциями развития авиационных технологий и рынков гражданской авиатехники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа направлена на повышение качества планирования развития авиационных технологий, уровень которого сдерживается в настоящее время как дефицитом простых, понятных и адаптированных для применения в российских реалиях инструментов, так и консерватизмом при их внедрении.

В работе показано, что использование показателей готовности в качестве характеристик степени относительного риска реализации примерно как для отдельных проектов, так и для их портфелей.

В результате апробации подхода на практической задаче показано, что даже в условиях дефицита данных и предварительного характера данных, с его помощью может быть получен непротиворечивый результат.

Предложенные подходы к сбору данных и ранжированию портфелей применимы в качестве одного из инструментов принятия управленческих решений в области планирования реализации комплексных научно-технологических проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключков В.В., Рождественская С.М. (2016) Современные принципы управления прикладными исследованиями в авиационной науке // Интеллект и технологии. № 1 (13). С. 58–63.
2. Eremenko P. (2017) Building the Third Golden Age of Aerospace / Airbus. 09.06.2017. <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/media-day/Presentation-of-Paul-Eremenko.pdf>,
3. 2020 NASA Technology Taxonomy (2019) / National Aeronautics and Space Administration. 226 p. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2020_nasa_technology_taxonomy.pdf.
4. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
5. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2017 г. № 2128-ст (2017) ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
6. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
7. Сухарев А.А., Власенко А.О. (2019) Метод формализации выбора вариантов реализации комплексного научно-технологического проекта // Друкеровский вестник. № 4.

REFERENCES

1. Klochkov V. V., Rozhdestvenskaya S. M. (2016) Modern principles of applied research management in aviation science // Intelligence and Technology. № 1 (13). P. 58–63.
2. Eremenko P. (2017) Building the Third Golden Age of Aerospace / Airbus. 09.06.2017. <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/media-day/Presentation-of-Paul-Eremenko.pdf>,

3. 2020 NASA Technology Taxonomy (2019) / National Aeronautics and Space Administration. 226 p. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2020_nasa_technology_taxonomy.pdf.
4. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
5. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 29.12.2017 № 2128-st (2017) GOST R58048–2017. Technology transfer. Guidelines for assessing the maturity level of technology / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
6. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. (2016) A comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness // The Economics of Science. V. 2. № 4. P. 244–260.
7. Sukharev A.A., Vlasenko A.O. (2019) Method for formalizing the choice of options for implementing a comprehensive scientific and technological project // Drucker Bulletin. № 4.

UDC 338.26.015: 001.892:629.735

Sukharev A.A., Vlasenko A.O. *Application of indicators of the level of technology readiness when planning complex scientific and technological projects in the aircraft industry* (Intersectoral Analytical Center, Bol'shoj Afanas'evskij per., 36, buil. 1, Moscow, Russia, 119019)

Abstract. An approach to the selection of areas for the development of technologies that are included in complex scientific and technological projects of aviation science organizations is described. The approach involves identifying relevant prospective requirements for alternative options for technical product concepts and their respective technology portfolios with their subsequent comparison in terms of risk, cost and time to bring to readiness for implementation. The process is described and the results of approbation of the approach are presented in terms of the formation and ranking of alternative technology portfolios of aircraft of local lines by the relative level of technical risks of their implementation, assessed based on indicators of the level of technology readiness.

Keywords: technologies, project portfolio, technology readiness level, TRL, aircraft manufacturing, scientific and technical groundwork.

А.В. САРТОРИ,

к.ф.-м.н., советник АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, sartoriandrey@gmail.com

В.А. ПЕРШУКОВ,

д.т.н., руководитель проектного направления «Прорыв» – специальный представитель Госкорпорации «Росатом» по международным и научно-техническим проектам, г. Москва, Россия, VAPershukov@rosatom.ru

Н.А. МОСУНОВА,

д.т.н., заведующая Отделением разработки программного обеспечения для анализа безопасности АЭС ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия, nam@ibrae.ac.ru

Н.М. МАНЦЕВИЧ,

д.т.н., руководитель направления АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, nmman1@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ ДЛЯ БЕРЕЖЛИВОЙ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 004.94

Сартори А.В., Першуков В.А., Мосунова Н.А., Манцевич Н.М. *Применение методологии уровней готовности для бережливой разработки цифровых двойников сложных инженерных систем* (АО «Наука и инновации», Старомонетный переулок, д. 26, г. Москва, Россия, 119180; Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», ул. Большая Ордынка, д. 24, г. Москва, Россия, 119017; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Большая Тульская ул., д. 52, г. Москва, Россия, 115191)

Аннотация. В силу сложности полномасштабного моделирования объектов и необходимости применения передовых вычислительных технологий, процесс создания цифровых двойников может потребовать значительных временных, финансовых и человеческих ресурсов. Поэтому важным для бережливого управления разработкой цифрового двойника является его позиционирование по функциональным возможностям, определение текущего уровня технологической готовности (TRL) и контроля его динамики на коротких промежутках времени. Предложено описание этапов жизненного цикла виртуальных моделей цифровых двойников и адаптированные к ним условия достижения уровней технологической готовности. Использование детального планирования разработки с целеполаганием по конкретным результатам формализованной TRL-метрики приводит к сокращению времени на разработку, затрат, повышению качества полученных результатов.

Ключевые слова: цифровой двойник, технологическая готовность TRL, виртуальная модель, критический элемент, верификация, валидация, жизненный цикл.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-62-74

Цитирование публикации: Сартори А.В., Першуков В.А., Мосунова Н.А., Манцевич Н.М. (2019) Применение методологии уровней готовности для бережливой разработки цифровых двойников сложных инженерных систем // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 62–74.



© А.В. Сартори,
В.А. Першуков,
Н.А. Мосунова,
Н.М. Манцевич, 2020 г.

Исследуемый мною мир есть воистину мир призраков. Но я утверждаю, что эти призраки не только не бессильны, но самым решительным образом влияют на жизнь...

М.Е. Салтыков-Щедрин

ВВЕДЕНИЕ

Индустриальные лидеры во всем мире постоянно ищут новые возможности для улучшения операционной эффективности работы предприятий, в состав которых входят сложные инженерные системы, такие как турбины, реакторы различных типов

(ядерные, химические, биологические), установки добычи газа и нефти, медицинское оборудование, транспортные средства и другие. Уменьшение рисков и потерь, связанных с разработкой и выводом на рынок инновационных решений, обслуживанием, анализом различных экономических сценариев, дают возможность компаниям двигаться в сторону большей прибыльности и конкурентоспособности.

Необходимость разработки цифровых двойников обусловлена стремлением компаний обеспечить новое качество поставляемых продуктов и услуг, снизить себестоимость на всех этапах их жизненного цикла, что позволяет повысить производительность активов, оптимизировать бизнес. Наиболее эффективно применение цифровых двойников при создании высокотехнологичных инженерных систем.

Большое распространение в последнее время получило применение цифровых двойников в интернете вещей. По оценкам [1], три четверти опрошенных компаний планируют использовать цифровые двойники уже в 2020 г. Это важная тенденция, которая дает возможность сделать следующий технологический шаг по объединению цифровых двойников из отдельных элементов в единую систему для оптимального управления.

Исторически цифровые двойники появились намного раньше интернета вещей и гаджетов. Их появление было обусловлено необходимостью сокращения сроков и ресурсов при разработке и эксплуатации новых сложных технических систем, повышения их надежности, обоснования безопасности их эксплуатации путем моделирования рабочих и аномальных режимов, выработки предупреждающих действий. Цифровые двойники как незаменимый инструмент использовались при разработке и эксплуатации двигателей, турбин, самолетов, а также энергоустановок (GE, AIRBUS).

На пути эволюции инженерных приложений и искусственного интеллекта цифровые технологии достигли такого уровня развития, на котором возможно создание цифровых двойников, адекватно описывающих свойства реального физического объекта и его элементов на всех этапах жизненного цикла, создана возможность эффективного моделирования, прогнозирования,

анализа для выбора не доступных ранее индивидуальных сценариев оптимизации сложных систем.

Внедрение цифровых двойников в этом качестве является, в том числе, одним из путей инновационных изменений даже в таких консервативных отраслях промышленности, как например, энергетика [2] или металлургия, где инновационные изменения до недавнего времени зачастую не приводили к заметным изменениям производства.

Развитие цифрового двойника в тесной связке с физическим объектом помогает, с одной стороны, создавать сам инновационный объект, а с другой стороны, развивать цифровой двойник, используя новые экспериментальные данные о процессах, протекающих в объекте. При этом используются передовые достижения науки и техники, такие как построение мультифизичных моделей, оптимальное проведение эксперимента, машинное обучение, предсказательное моделирование, оптимизационные алгоритмы, робастный дизайн.

При разработке инновационных технологических/инженерных систем, в которых составляющие элементы существенно влияют друг на друга, цифровые двойники являются наиболее эффективным средством определения приемлемости тех или иных технических решений или вынужденных отклонений от первоначального технического задания путем виртуального интегрирования элементов на ранних уровнях технологической готовности (TRL).

Использование цифрового двойника, разрабатываемого на ранних уровнях готовности, важно для своевременного согласования характеристик системы с надзорными, регулирующими, эксплуатирующими органами с целью ускорения процесса ввода системы как нового продукта в эксплуатацию.

Само содержание понятия «цифровой двойник» оказывается гораздо сложнее, многограннее и продуктивнее, чем просто цифровая модель некоторого процесса, превращаясь в своем развитии из полезного «украшения» в принципиально необходимый фактор успешного развития инженерных систем.

Несмотря на потенциальную привлекательность использования цифровых двойников реальных объектов, в силу сложности

полномасштабного физико-химического моделирования объектов и необходимости применения передовых вычислительных технологий, процесс их создания может потребовать значительных временных, финансовых и человеческих ресурсов. Важнейшую роль при этом играет получение необходимого объема данных и корректность проведения верификации и валидации виртуальных моделей.

С этой точки зрения важным является позиционирование цифрового двойника по его функциональным возможностям, формулировка уровней его технологической готовности, адаптированных к предмету разработки. Детальное планирование с целеполаганием по конкретным результатам с использованием TRL-метрики позволит ввести методы бережливой разработки, приводящие к сокращению временных и финансовых ресурсов, повышению качества полученных результатов [3–4].

Настоящая статья посвящена модели цифрового двойника как важнейшему структурному элементу методологии бережливого НИОКР, определяющему специфику разработки цифровых двойников высокотехнологичных инженерных, формализующую уровни готовности виртуальных моделей. Подробно рассматривается вопрос об уровнях технологической готовности виртуальных моделей, являющихся ключевым компонентом цифровых двойников, выраженных в формализованных критериях достижения результатов на каждом из уровней готовности.

Готовность разрабатываемой виртуальной модели измеряется уровнями от 1 до 9, аналогично широко применяемой методике TRL. Для каждого уровня сформулированы конкретные условия его достижения.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

«Применение концепции цифрового двойника улучшает экономику актива, снижает стоимость владения им (Total Cost of Ownership), делает его более безопасным (включая экологию, социальную сферу), и обеспечивает интерактивность взаимодействия, при которой цифровой двойник сам предупредит, а в некоторых случаях и выполнит те или иные необходимые мероприятия по поддержанию «жизнедеятельности» своего физического alter ego» [5].

В литературе есть большое количество определений цифровых двойников [6]. Приведем одно из определений наиболее общего вида. «Цифровой двойник – это реальное отображение всех компонентов в жизненном цикле продукта с использованием физических данных, виртуальных данных и данных взаимодействия между ними» [7].

Важным для целей настоящей статьи обстоятельством в этих определениях является то, что любая информация, которая может быть получена от существующего или разрабатываемого физического объекта/инженерной системы, должна быть получена на базе его цифрового двойника.

Новые технологии виртуального моделирования предоставляют производителям возможность использовать цифровые двойники в своих продуктах и процессах. Новые продукты можно тестировать в виртуальном мире, существенно экономя ресурсы. Цифровой двойник позволяет компаниям быстрее решать возникающие проблемы разработки высокотехнологичных инженерных систем, обнаруживая коллизии на ранней стадии, проектировать и создавать более качественные и конкурентоспособные продукты и, в конечном итоге, лучше обслуживать своих клиентов/потребителей. С этим типом интеллектуального архитектурного проектирования компании могут реализовывать ценность и выгоды итеративно и быстрее, чем когда-либо прежде [8].

Степень детализации и сложность моделирования цифровых двойников различна.

Есть предложения по созданию относительно простых «цифровых двойников» отдельных элементарных процессов/оборудования, например, промышленного оборудования [9], мельниц, насосов, компрессоров, электродвигателей, генераторов и т.п. Объектами диагностики являются различные характеристики, например, износ и разрушение подшипников, расцентровка вала, эксцентриситет, излом и т.п. По этим данным цифровой двойник позволяет дать рекомендации по оптимальным рабочим режимам эксплуатации оборудования, экономного сервисного обслуживания.

Существенно более сложные и экономически эффективные цифровые двойники агрегируют

цифровые двойники элементов, составляющих высокотехнологичную инженерную систему.

«Возможность объединять цифровые двойники элементов между собой будет отличительной чертой в будущем» [1]. Несмотря на то, что агрегированные цифровые двойники очень сложны, «...61 процент компаний, которые внедрились цифровых близнецов, уже интегрировали по крайней мере одну пару цифровых близнецов друг с другом, и еще больше – 74 процента организаций, которые еще не интегрировали цифровых близнецов, сделают это в следующие пять лет» [1]. Примером является разработка корпорацией GE цифрового двойника тепловой станции [10]. Такая модель цифрового двойника предоставляет рекомендации по проектным ограничениям энергоблока на этапах проектирования, интеграции элементов оборудования при создании, оптимизации ввода в эксплуатацию, выбору эксплуатационных режимов, экономичному сервису путем сопоставления параметров этого оборудования с цифровыми историями использования аналогичного оборудования в базе данных.

Аналогичный опыт создания цифровых двойников имеется и в атомной отрасли, в которой разрабатываются и используются цифровые двойники атомных электростанций.

В модель цифрового двойника тепловой и атомной станции включаются все необходимые характеристики физического объекта, включая данные по геометрии, теплогидравлическую, термомеханическую, электрическую, сервисную, экономическую модели, автоматизированную систему контроля и управления, позволяющие осуществлять сопровождение физического объекта на всех этапах его жизненного цикла, начиная с конструирования и проектирования и заканчивая выводом из эксплуатации.

Эти модели позволяют предсказать функционирование станции при изменении условий эксплуатации, таких, как состав топлива, температура окружающей среды, количество обслуживающего персонала, изменение рыночных цен на сырье или комплектующие и многих других. Используя эти цифровые модели-близнецы и современные методы оптимизации, управления и прогнозирования, можно более точно

предсказывать результаты по различным осям: допустимости операционных режимов, производительности, надежности, износа, гибкости, ремонтпригодности, экономической эффективности и другим параметрам.

Цифровой двойник позволяет проверять сценарии «что, если» на соответствие заданным критериям и бизнес-целям, принимать максимально обоснованные управленческие и технические решения.

Цифровой двойник такой высокотехнологичной инженерной системы с описанным функционалом представляет собой очень сложный объект, использующий передовые достижения в математическом моделировании и создании искусственного интеллекта, в том числе следующие.

Модели, основанные на физике: детальные связанные разномасштабные и мультифизические физические модели, которые рассчитывают все необходимые параметры высокотехнологичной инженерной системы, такие как поток теплоносителя, температурные поля, процессы сгорания топлива, прочностные характеристики оборудования. Ниже приведены некоторые примеры:

- модели производственных процессов;
- модели обнаружения и предупреждения аномальных режимов работы оборудования;
- модели определения ресурса оборудования;
- модели структуры материалов;
- модели управления конфигурацией системы.

Искусственный интеллект: новейшие технологии искусственного интеллекта, которые используют данные, полученные в процессе эксплуатации объекта, для глубокого понимания операционной среды. Вот некоторые примеры:

- распознавание образов;
- модели обучения;
- аналитика неструктурированных данных;
- мультимодальная аналитика данных;
- сети знаний;
- оптимизация;
- робастное моделирование.

Сенсорные технологии: инновационные решения для сенсоров, выполненные для работы в реальных условиях эксплуатации, предоставляющие информацию для управления

аналитическими моделями. Вот некоторые примеры:

- датчики, интегрированные в объекты;
- технологии инспектирования технического состояния элементов;
- датчики внешней среды (атмосферные, погодные);
- аналитические системы качества сырья и отходов.

Еще одно перспективное направление применения цифровых двойников – виртуальная сертификация и лицензирование вновь создаваемого оборудования. При создании сложных инженерных систем, состоящих из инновационных элементов, практически единственным способом обоснования, удовлетворяет ли система требованиям надзорных органов, является проверка на цифровом двойнике. При этом, по-видимому, для уверенного применения виртуальной сертификации виртуальные модели, входящие в состав цифровых двойников, должны проходить полную верификацию и валидацию по заранее согласованному с сертифицирующим органом плану. Только в этом случае результаты расчета по точности и надёжности могут быть приравнены к результатам реального эксперимента.

В этом направлении цифровые двойники находятся только в начале пути. Однако есть уже пионерные проекты. К ним относится расчетное обоснование аномальных режимов в инновационных проектах энергетических установок [11–12].

Для этих применений важны, в том числе, интеграция различных процессов, детальные мультидисциплинарные CAE-расчеты, гибкая архитектура и платформа для интеграции различных моделей, эффективные численные алгоритмы решений, системы визуализации ввода и вывода информации, алгоритмы решения обратных задач, оптимизация процессов.

Принципиально важна надежная верификация моделей. Методика и корректный выбор массива достоверных данных для их верификации является важнейшей задачей, определяющей степень достоверности всего цифрового двойника. Работа по верификации должна быть включена в техническое задание на разработку с соответствующими ресурсами по срокам, компетенциям, получению необходимых и достаточных данных.

Ввиду разнообразия существующих определений, форм и содержания цифровых двойников, целесообразно привести классификацию для ключевого компонента цифрового двойника – виртуальной модели системы, которая поможет в определении статуса и уровня готовности разработки всего цифрового двойника сложной инженерной высокотехнологичной системы, его места в жизненном цикле продукта и соответствующего функционала.

СОСТАВ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Предметом настоящей статьи являются цифровые двойники и входящие в их состав виртуальные модели сложных систем – физических объектов, существующих или разрабатываемых. Особое место занимают цифровые двойники разрабатываемых систем. Они являются эффективным инструментом ранней диагностики выполнения условий интеграции элементов системы с целью достижения проектных требований.

При разработке системы, состоящей из инновационных элементов, для поэтапной верификации макетов, моделей, экспериментальных образцов, находящихся в разработке, и их взаимодействия, могут создаваться гибридные макеты из физических элементов и виртуальных эмуляторов элементов.

Под инновационными элементами понимают элементы, построенные на новых принципах или функционирующие в новых условиях, или для масштабирования которых требуются дополнительные обоснования.

Исходя из изложенных описаний применения и функционала цифрового двойника как сложной инженерной системы, в целях данной статьи дадим следующее его определение:

Цифровой двойник – это виртуальное полнофункциональное полномасштабное динамическое представление потенциального или существующего физического объекта/процесса, достоверно описывающее свойства и поведение его физического прототипа на определенных (или всех) стадиях жизненного цикла с использованием аналитических моделей, накопленных

данных, онлайн сенсоров, с целью достижения оптимальных характеристик объекта на соответствующих этапах его жизненного цикла.

В соответствии с таким определением для функционирования цифрового двойника требуется наличие следующих основных структурных элементов.

1. **Физический объект** – инженерная система, существующая или разрабатываемая. При разработке системы, состоящей из инновационных элементов, для поэтапной верификации макетов, моделей, экспериментальных образцов, находящихся в разработке, могут создаваться гибридные макеты из готовых элементов и виртуальных эмуляторов элементов.

2. **Платформа**, на которой реализован цифровой двойник, должна включать необходимое оборудование, обеспечивать массовый прием и хранение данных, обмен данными, интеграцию аналитических моделей, управление машинными данными и высокоскоростное выполнение приложений. Среда на всех каналах обмена информацией должна являться высокозащищенной с помощью кибер-технологии.

3. **Виртуальная модель системы** – самообучающаяся валидированная мультидисциплинарная аналитическая (виртуальная), позволяющая динамически рассчитывать текущие характеристики объекта, процессы внутренние и внешние и их возможные последствия на основе онлайн мониторинга потока данных с сенсоров объекта/процесса и базы предшествующих данных. Модель может меняться вместе с изменением объекта в соответствии с этапами жизненного цикла (CAD, CAM, CAE, FMEA и т.д.). Архитектура виртуальной модели должна предусматривать возможность интеграции моделей отдельных элементов в единую систему.

4. **База** предшествующих данных в форме цифровой истории конкретного объекта и его аналогов, и текущих данных о процессах. Цифровая история используется для построения, верификации и обучения аналитических моделей с целью повышения точности моделирования и отражения изменения элементов, эффективной безопасной эксплуатации физического объекта и его обслуживания.

5. **Система сбора информации** с объекта/процесса, необходимая и достаточная,

включающая подсистему сбора данных с датчиков. Информация используется для пополнения базы данных и дообучения виртуальных моделей.

6. **Пользовательский интерфейс** для представления ретроспективы, статуса и прогноза характеристик объекта в виде, удобном для принятия решений по его разработке для различных категорий пользователей при проектировании, изготовлении и эксплуатации, обучении персонала. Пользователями интерфейса могут выступать как сами разработчики, так и эксплуатирующие организации, страховые общества, сервисные компании.

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ В СОСТАВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Не умаляя значения других структурных элементов цифрового двойника, кроме указанных выше, обратим особое внимание на виртуальную модель, от которой напрямую зависит качество, полезность и область применения цифрового двойника.

В обществе иногда встречается мнение, что человечество научилось моделировать большинство процессов, исходя из базовых принципов. Однако это утверждение неверно.

Используемые для практических приложений модели почти всегда включают эмпирические коэффициенты или константы, которые требуют обязательной валидации или настройки на экспериментальных данных. Качество валидации модели и определяет ее пригодность для использования в цифровом двойнике. Отдельную трудность представляет то, что на реальном объекте, как правило, все процессы происходят совместно, поэтому недостаточно валидировать отдельные модели, надо обязательно рассматривать и их взаимное влияние, либо доказывать отсутствие подобного влияния.

По этой причине при верификации виртуальной модели не обойтись без детальных экспериментальных данных, данных, полученных на интегральных стендах, объектах-аналогах или самом объекте, поскольку необходимо обосновать корректность моделирования взаимного влияния процессов различной природы друг на друга.

Решения с использованием виртуальных моделей в составе цифровых двойников строятся на целом комплексе технологий. Для построения виртуальной модели используются численные методы решения сложных дифференциальных систем уравнений, например, на базе метода конечных элементов (Finite Element Analysis). Также применяются CAD-модели, которые содержат информацию о геометрических параметрах и структуре объектов, о материалах, размерах. Используются также FMEA-модели (Failure Mode and Effects Analysis – «анализ видов и последствий отказов»), основанные на анализе надежности систем. Они могут объединять математические модели отказа оборудования/элемента/объекта с базой данных о вероятности отказа того или иного элемента и данными о режимах отказа.

В таблице 1 представлены функционально завершенные этапы эволюции виртуальной модели цифрового двойника на разных фазах жизненного цикла инновационной инженерной системы. Ячейки, выделенные цветом, показывают важность использования виртуальной модели при разработке и эксплуатации структурных элементов цифрового двойника.

Этапы эволюции виртуальной модели цифрового двойника и их функционал можно представить следующим образом.

1-й этап: Геометрические параметры инженерной системы (CAD).

2-й этап: Конструирование инженерной системы (CAE, оптимизация конструкции).

3-й этап: Изготовление инженерной системы (CAM, оптимизация технологических процессов и операций, робастное проектирование).

4-й этап: Предсказательное моделирование (расчет безопасных/аномальных режимов в зависимости от характеристик и истории конкретного объекта).

5-й этап: Режимы эксплуатации (мониторинг, оптимизация режимов с целью снижения эксплуатационных затрат и продления ресурса).

6-й этап: Интеллектуальное сервисное обслуживание (диагностика, прогнозирование сроков службы элементов, оптимизация программы проведения регламентных работ, включая последовательность операций).

7-й этап: Утилизация (отработка режимов утилизации/повторного использования различных элементов системы).

БИЗНЕС-ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ В СОСТАВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Описанная выше виртуальная модель весьма сложна и требует тщательного планирования ее разработки и интеграции. Программу разработки виртуальной модели цифрового двойника

Таблица 1

Функционально завершенные этапы эволюции виртуальной модели

Движение системы по жизненному циклу							
Модули виртуальной модели цифрового двойника и их функционал							
Элементы системы	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5	Этап 6	Этап 7
Физический объект							
Платформа							
Виртуальная модель							
Система сбора информации							
Пользовательский интерфейс							
База производственных, эксплуатационных и сервисных данных							

нужно строить с учетом компетенций разработчиков в области моделирования и искусственного интеллекта, ресурсов на получение достоверных данных для валидации, сложности последующей интеграции элементов модели, возможности проведения контроля технологического уровня модели и динамики развития.

Этапы эволюции, представленные выше, являются законченными полнофункциональными модулями цифровой модели. Каждый из них должен содержать верификацию по специально подготовленной матрице верификации.

Для сокращения временных и финансовых ресурсов на разработку всего цифрового двойника нужна трансформация системы управления его созданием, затрагивающая четкое поэтапное планирование по результатам и ресурсам, объективную оценку достигнутого уровня готовности цифровых двойников и их отдельных элементов, систем накопления и хранения экспериментальных данных о поведении и условиях эксплуатации объектов, формирование баз данных, адаптацию интеллектуальных поддерживающих систем, развитие пользовательского интерфейса.

В рамках цифровизации в мире ведется значительное число разработок виртуальных моделей и цифровых двойников. Подчас за общим названием цифрового двойника сложно понять его реальную функциональность, этап жизненного цикла, которому он соответствует. Для внесения ясности в этом вопросе, для менеджеров, принимающих управленческие решения, разработчиков, потенциальных пользователей, целесообразно задать формализованное описание уровней развития (готовности). Кроме того, формирование системы подобных уровней может позволить сократить время разработки и оптимально распределить ресурсы на различных этапах создания цифрового двойника.

В данной статье рассмотрим задачу трансформации бизнес-процесса управления разработкой только для виртуальной модели в составе цифрового двойника и будем решать ее на основе методики бережливого управления инновационными проектами, первоначально представленной в статье [13]. В основе этой методики лежит доработанная и расширенная методология TPRL [4].

УРОВНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ В СОСТАВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Технологическая готовность разрабатываемой виртуальной модели в составе цифрового двойника (далее ВМЦД) измеряется уровнями от 1 до 9, аналогично широко применяемой методике TRL [14–19].

Для каждого уровня сформулированы условия его достижения. По общим правилам уровень считается достигнутым при выполнении всех условий. При этом факт выполнения условия определяется по подтверждающим документам.

Процедура оценки может адаптироваться рабочими группами, сформированными локальными правовыми актами организации для проведения независимой оценки, с учетом специфики предметного направления. Более подробно методика оценки уровня готовности исследований и разработок описана в статье [20].

Уровни готовности применимы ко всем модулям виртуальной модели. Таким образом, каждый из модулей CAE, CAM, модуль прямых расчетов режимов и технического прогнозирования, модуль решения обратных задачи и оптимизации режимов, модуль экономики, модуль интеллектуального сервиса, модуль утилизации, в общем случае в своем развитии проходят уровни технологической готовности от 1 до 9.

Модули должны быть интегрированы на базе выбранной вычислительной платформы совместно с другими структурными элементами с целью предоставления полной и достоверной информации о физическом объекте. Описание уровней TRL виртуальной модели в составе цифрового двойника приведены в *таблице 2*. Для уровней TRL 1–4 условия достижения описаны подробно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены особенности разработки цифрового двойника сложных высокотехнологичных инженерных систем. Описана функциональность цифрового двойника на основных этапах его жизненного цикла. Приведено определение и предложены структурные элементы цифрового двойника, детально рассмотрена виртуальная модель, входящая в его состав.

Таблица 2

**Уровни технологической готовности TRL1–9 для модулей
виртуальной модели цифрового двойника**

Уровень готовности цифрового двойника	Описание шага/условия достижения уровня
TRL1 Сформулировано и утверждено заказчиком детализированное техническое задание на ВМЦД.	T1.1. Пользователь/технический заказчик сформулировал техническое задание, включая определение объекта моделирования, этапы жизненного цикла, режимы работы объекта, которые должна воспроизводить виртуальная модель, перечень ключевых рассчитываемых параметров с целевыми неопределенностями (погрешностями) результатов расчета, требуемыми для достижения заданных характеристик объекта моделирования, сроки разработки, предпочтительные вычислительные платформы, на которых будет использоваться ВМЦД, требования к быстродействию, определена необходимость аттестации (если применимо). Задание включает режимы и особенности работы объекта моделирования на всем жизненном цикле, включая разработку, изготовление, эксплуатацию в нормальном и аварийном режиме, сервисное обслуживание, утилизацию, интеллектуальный сервис оборудования. T1.2. Проведен обзор аналогов программного обеспечения, выбрана база для разработки или обоснована необходимость разработки ВМЦД «с нуля». T1.3. Техническое задание согласовано с пользователем/техническим заказчиком и исполнителем, утверждено заказчиком работ.
TRL2 Сформулированы детальные технические требования к ВМЦД, определены архитектура ВМЦД, процедура контроля качества.	T2.1. Подготовлены исходные данные по объекту, виртуальная модель которого создается – геометрические параметры, используемые материалы и их характеристики, режимы эксплуатации и другие (в зависимости от требуемой функциональности виртуальной модели). Данные заведены в автоматизированные системы. T2.2. Составлена матрица верификации ВМЦД: определен перечень режимов объекта моделирования, ключевые процессы и явления, которые должна моделировать ВМЦД, с ранжированием по степени важности, аналитические задачи, экспериментальные данные, реперные коды, которые могут использоваться для верификации ВМЦД, включая оценку пригодности экспериментальных данных для верификации ВМЦД (измерение необходимых параметров, погрешности/неопределенности измерений, которые позволяют достичь требуемую точность моделирования). T2.3. Матрица верификации и валидации согласована с техническим заказчиком (см. T1.1)/потенциальным пользователем, утверждена заказчиком (при наличии). T2.4. Матрица верификации и валидации разбита на подэтапы ВМЦД-0 (пре-альфа-версия: базовый функционал), ВМЦД-1 (альфа-версия ВМЦД: расширенный функционал), ВМЦД-2 (бета-версия ВМЦД: полный функционал). T2.5. Сформулирована методика оценки погрешностей/неопределенностей результатов расчетов. T2.6. Определена платформа создания ВМЦД и интеграции структурных элементов системы, в том числе моделей отдельных процессов. T2.7. Определена архитектура ВМЦД, в т.ч. алгоритмы/модули, связь и взаимодействие между ними, проведено моделирование элементов/продукта, разработан предварительный дизайн интерфейса, ввода, вывода. Архитектура ВМЦД в части пользовательских функций согласована с потенциальными пользователями ВМЦД. T2.8. Выполнена оценка полноты данных матрицы верификации для достижения показателей, заявленных в детализированном техническом задании. При неполноте матрицы верификации – сформулированы требования к выполнению дополнительных экспериментов. T2.9. Сформирована программа, определены ресурсы выполнения недостающих экспериментальных исследований, согласованная с техническим заданием. T2.10. Разработана поэтапная процедура контроля качества, процедура введена для обязательного выполнения разработчиками ВМЦД. T2.11. Сформирована детализированная дорожная карта выполнения работ по разработке ВМЦД.

Продолжение таблицы 2

TRL3 Выпущена версия ВМЦД-0 (пре-альфа-версия ВМЦД), версия протестирована по матрице верификации для ВМЦД-0. Смоделированы основные характеристики основных процессов по отдельности.	T3.1. Разработаны базовые физико-математические модели процессов, протекающих на объекте. T3.2. Выбраны критические элементы ВМЦД, разработаны резервные алгоритмы/модули по критическим элементам ВМЦД с высоким риском. Актуализирована дорожная карта с включением в нее работ по разработке резервных алгоритмов. T3.3. Разработана версия ВМЦД-0, включая документацию. Проведена интеграция пакета из отдельных алгоритмов/модулей, проверена их внутренняя совместимость, разработаны элементы входного и выходного файлов. T3.4. На основе предварительного моделирования по ВМЦД-0 версии разработана детальная программа и методика испытаний/верификации с описанием элементов объекта и их параметров для моделирования на данном уровне готовности, конфигурации гибридной модели, точек измерения и методов контроля, погрешностей измерения, применяемых диагностических средств. T3.5. Изготовлен гибридный макет для верификации и валидации. T3.6. Выполнена верификация ВМЦД-0 и валидация на подматрице верификации для ВМЦД-0 согласно T3.4, в случае необходимости – доработаны отдельные модели и алгоритмы, элементы гибридной модели, экспериментальные данные для валидации. Для верификации возможно использование гибридной модели объекта. T3.7. Проведен анализ результатов верификации. Подтверждено достижение всех результатов, предусмотренных в подматрице верификации ВМЦД-0. T3.8. Сформулировано задание на гибридную модель и систему получения данных для проведения верификации и валидации на TRL4. T3.9. Результаты верификации и валидации согласованы техническим заказчиком/пользователем, утверждены заказчиком.
TRL4 Подготовлена и верифицирована на задачах из подматрицы верификации для ВМЦД-1 альфа-версия ВМЦД (ВМЦД-1). Смоделированы все процессы из T3, в том числе, основные процессы во взаимосвязи.	T4.1. Разработана альфа-версия ВМЦД (ВМЦД-1), включая документацию, с дополнительной функциональностью: все процессы по техническому заданию, взаимное влияние основных физических процессов. T4.2. На основе предварительного моделирования по ВМЦД-1 версии разработана детальная программа и методика испытаний/верификации/валидации с описанием элементов объекта, их параметров для моделирования на данном уровне готовности, конфигурации актуализированной гибридной модели, точек измерения и методов контроля, погрешностей измерения, применяемых диагностических средств. T4.3. Проведено тестирование внутренних функций ВМЦД внутренними тестерами. Результаты тестирования согласуются с требованиями технического задания. T4.4. Изготовлена гибридная модель для верификации. T4.5. ВМЦД-1 верифицирована и валидирована на задачах из подматрицы верификации и валидации для ВМЦД-1. В случае необходимости – доработаны отдельные модели и алгоритмы, результаты верификации и валидации – положительные (требуемые точности достигнуты, быстроедействие соответствует требованиям технического задания). T4.6. Проведен анализ результатов верификации и валидации. Подтверждено достижение всех результатов, предусмотренных в подматрице верификации и валидации ВМЦД-1. T4.7. Результаты тестирования и верификации и валидации ВМЦД-1 одобрены пользователем/техническим заказчиком и утверждены заказчиком. T4.8. Сформулировано техническое задание на доработку ВМЦД до бета-версии (ВМЦД-2). Получены дополнительные экспериментальные данные для верификации, организовано получение указанных данных. Техническое задание согласовано с техническим заказчиком/пользователем и утверждено заказчиком. В случае необходимости, актуализированы техническое задание и дорожная карта. T4.9. Сформулировано задание на гибридный экспериментальный стенд и систему получения данных для проведения верификации на TRL5. T4.10. Реализованы резервные алгоритмы/модули в случае, если результат верификации и валидации показал невозможность достижения требований T3. Выпущены актуализированные технические требования, внесены изменения в дорожную карту, которая согласована с техническим заказчиком/пользователем и утверждена заказчиком. T11. Исходные данные по объекту в формате, используемом в виртуальной модели, актуализированы по результатам верификации и валидации.

TRL5

Подготовлена и верифицирована на задачах из подматрицы верификации и валидации для ВМЦД-2 бета-версия ВМЦД (ВМЦД-2).

Смоделированы все внутренние процессы физического объекта из технического задания, в том числе, во взаимосвязи. Смоделированы основные внешние и управляющие взаимодействия физического объекта.

TRL6

Смоделированы все внутренние процессы из технического задания, в том числе, во взаимосвязи.

Смоделированы основные внешние и управляющие взаимодействия физического объекта.

Выпущена полнофункциональная ВМЦД (релиз-кандидат, ВМЦД-3), подтверждены рабочие характеристики в условиях, моделирующих реальную эксплуатацию ВМЦД на различных этапах жизненного цикла.

TRL7

Выполнены предварительные испытания ВМЦД.

Смоделированы все внутренние и внешние процессы физического объекта из технического задания, все процессы по жизненному циклу продукта, системы сбора данных и пользовательский интерфейс управления.

Выпущен доработанный по итогам предварительных испытаний релиз-кандидат (ВМЦД-4).

TRL8

Проведена опытная эксплуатация релиза.

Релиз доработан по итогам опытной эксплуатации (ВМЦД-5).

Проведена подготовка к аттестации.

Смоделированы аномальные и аварийные режимы, система поддержки принятия решений, в том числе, по предсказательному моделированию ресурса.

TRL9

Выполнены приемочные испытания.

Проведена аттестация.

Передача ВМЦД заказчику.

Для виртуальной модели приведены этапы ее эволюции, связанные с жизненным циклом реального объекта, включая разработку и интеграцию инженерной системы. Для этапов эволюции цифровой модели подробно приведены условия достижения уровня готовности TRL, позволяющие определить текущий статус разработки и динамику его развития. Корректность описаний показана на разработках виртуальных моделей с целью обоснования безопасности отраслевых инженерных систем.

Условия достижения уровней готовности виртуальной модели служат основой для бережливой разработки цифровых двойников сложных инженерных систем.

Представленные результаты могут быть использованы при разработке цифровых двойников и виртуальных моделей сложных высокотехнологичных инженерных систем, включая обучение специалистов по их созданию в вузах и научных организациях.

Авторы не претендуют на отсутствие в статье дискуссионных положений, но надеются, что высказанные предложения будут полезны для специалистов, занимающихся разработкой цифровых двойников, и позволят сделать первый шаг в направлении формирования единой терминологии в данном перспективном направлении разработок и исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use (2019) / Gartner. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mai>.
2. Nuclear Innovation 2050 (2019) / Nuclear Energy Agency. <https://www.oecd-neo.org/ndd/ni2050>.
3. Сартори А.В., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2019) Концепция оценки потенциала коммерциализации результатов НИОКР в научных организациях и вузах // Высшее образование сегодня. № 6. С. 11–25.
4. Сартори А.В., Гареев А.Р., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2020) Применение подхода уровней

готовности для различных предметных направлений в бережливом НИОКР // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 118–134.

5. Комраков А.В., Сухоруков А.И. (2017) Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов // Научная идея. № 3 (3).
6. Digital twin (2019) / Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin.
7. Fei Tao et al. (2018) Digital twin-driven product design framework // International Journal of Production Research. V. 57. Is. 12. P. 3935–3953.
8. Grieves M. (2014) Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / LLC. 7 p.
9. Фабрика цифровой трансформации. Цифровые двойники промышленного оборудования и технологических процессов (2019) / Фабрика цифровой трансформации. https://digitaltwin.ru/media/resources/DTF_Brochure.pdf.
10. GE Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant (2016) / General Electric. 30 p.
11. ГОСТ 33855–2016 (2016) Обоснование безопасности оборудования. Рекомендации по подготовке / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200146269>.
12. Большов Л.А., Стрижев В.Ф. (2014) Современные компьютерные коды – инструмент анализа и обоснования безопасности. Презентация. <https://www.youtube.com/watch?v=rC9nKxDrKaU>.
13. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2018) Школа бережливого НИОКР: практика подготовки исследователей в вузе с использованием

грантов эндаумент-фонда // Высшее образование сегодня. № 7. С. 2–9.

14. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
15. Technology readiness levels (TRL) (2014) Horizon 2020 – work programme 2014–2015 General Annexes / European Commission. http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf.
16. Graettinger C.P., Caroline P. et al. (2002) Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DOD's ATD/STO Environments / Carnegie Mellon University. 41 p.
17. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
18. The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool (2014) / EARTO Recommendations. http://www.earto.eu/fileadmin/content/03_Publications/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-_EARTO_Recommendations_-_Final.pdf.
19. DOE (2015) / National Energy Technology Laboratory-2015/1710. Technology Readiness Assessment – Clean Coal Research Program. 144 p.
20. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2020) Принципы бережливого управления исследованиями и разработками на основе методологии уровней готовности инновационного проекта // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 22–34.

REFERENCES

1. Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use (2019) / Gartner. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream>.
2. Nuclear Innovation 2050 (2019) / Nuclear Energy Agency. <https://www.oecd-neo.org/ndd/ni2050>.
3. Sartori A.V., Ilyina N.A., Mantsevich N.M. (2019) The concept of assessing the potential for the commercialization of R&D results in scientific organizations and universities // Higher Education Today. № 6. P. 11–25.
4. Sartori A.V., Gareev A.R., Ilyina N.A., Mantsevich N.M. (2020) Application of the approach of readiness levels for various subject areas in lean R&D // The Economics of Science. V. 6. № 1–2. P. 118–134.
5. Komrakov A.V., Sukhorukov A.I. (2017) The concept of the digital twin in the management of the life cycle of industrial facilities // Scientific idea. № 3 (3).
6. Digital twin (2019) / Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin.
7. Fei Tao et al. (2018) Digital twin-driven product design framework // International Journal of Production Research. Vol. 57. Is. 12. P. 3935–3953.
8. Grieves M. (2014) Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / LLC. 7 p.
9. Factory of digital transformation. Digital twin of industrial equipment and technological processes (2019) / Factory of digital transformation. https://digitaltwin.ru/media/resources/DTF_Brochure.pdf.
10. GE Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant (2016) / General Electric. 30 p.
11. GOST 33855–2016 (2016) Justification of equipment safety. Recommendations for the preparation / Techexpert. <http://docs.cntd.ru/document/1200146269>.
12. Bolshov L.A., Strizhev V.F. (2014) Modern computer codes – a tool for safety analysis and justification. Presentation. <https://www.youtube.com/watch?v=rC9nKxDrKaU>.

13. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantseвич N.M. (2018) Lean R&D School: the practice of training researchers at universities using an endowment fund // Higher Education Today. № 7. P. 2–9.
14. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. (2016) A comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness // The Economics of Science. V. 2. № 4. P. 244–260.
15. Technology readiness levels (TRL) (2014) Horizon 2020 – work programme 2014–2015 General Annexes / European Commission. http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf.
16. Graettinger C.P., Caroline P. et al. (2002) Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DOD's ATD/STO Environments / Carnegie Mellon University. 41 p.
17. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
18. The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool (2014) / EARTO Recommendations. http://www.earto.eu/fileadmin/content/03_Publications/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-_EARTO_Recommendations_-_Final.pdf.
19. DOE (2015) / National Energy Technology Laboratory-2015/1710. Technology Readiness Assessment – Clean Coal Research Program. 144 p.
20. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantseвич N.M. (2020) The principles of lean research and development management based on the methodology of the innovation project readiness levels // The Economics of Science. V. 6. № 1–2. P. 22–34.

UDC 004.94

Sartori A.V., Pershukov V.A., Mosunova N.A., Mantseвич N.M. *Application of the methodology of readiness levels for the lean development of digital twins of complex engineering systems* (JSC «Science and Innovations», Staromonetnyj lane, 26, Moscow, Russia, 119180; Rosatom State Atomic Energy Corporation, Bolshaya Ordynka Str., 24, Moscow, Russia, 119017; National University of Science and Technology MISIS, Leninsky pr., 4, Moscow, Russia, 119049; Nuclear safety institute of the Russian Academy of Sciences, Bolshaya Tul'skaya Str., 52, Moscow, Russia, 115191)

Abstract. Due to the complexity of full-scale object modeling and the need to use advanced computing technologies, the digital twin development process may require significant time, financial and human resources. Therefore, it is important for lean management of digital twin development to classify them by functionality, determine the current technology readiness level (TRL), and monitor its dynamics over short periods of time. A description of the life cycle stages of digital twins virtual models and adapted conditions to achieve technology readiness level are proposed. The use of the formalized TRL metric for detailed project planning by specific results reduces the development time, costs, and improves the quality of the results.

Keywords: digital twin, TRL, technological readiness level, virtual model, critical element, verification and validation, life cycle.

А.В. КОМАРОВ,

старший научный сотрудник ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, abkom@mail.ru

М.А. СЛЕПЦОВА,

ведущий специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, msleptsova@yandex.ru

Е.В. ЧЕЧЁТКИН,

главный специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, echechetkin@fcntp.ru

К.А. КОМАРОВ,

ведущий специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, kirill.080789@gmail.com

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА КОМАНДЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТА¹

УДК 338.28

Комаров А.В., Слепцова М.А., Чечёткин Е.В., Комаров К.А. *Специализированные инструменты для оценки потенциала команды научно-технологического проекта* (ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, ул. Пресненский вал, д. 19, стр. 1, г. Москва, Россия, 123557)

Аннотация. В статье описаны специализированные инструменты для оценки команды исполнителей научно-технологического проекта на основе сведений, содержащихся в документации проекта, разработанные в рамках методологии оценки готовности инновационного научно-технологического проекта, и повышающие объективность экспертной оценки проектов. Эти инструменты могут использоваться для определения соответствия команды уровню планируемого или выполняемого проекта. Применение предложенных инструментов позволяет оценить риски недостижения результатов проекта, связанные с различными характеристиками команды проекта и сформулировать рекомендации по развитию проектной команды, направленные на их снижение. Специализированные инструменты апробированы для проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы».

Ключевые слова: научно-технологический проект, ПНИЭР, проектная команда, компетенция, квалификация, уровень готовности технологии, TPRL, TRL, УГТ, оценка, программные средства.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-75-87

Цитирование публикации: Комаров А.В., Слепцова М.А., Чечёткин Е.В., Комаров К.А. (2020) Специализированные инструменты для оценки потенциала команды научно-технологического проекта // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 75–87.



ВВЕДЕНИЕ

При решении вопроса о выделении финансовой поддержки научно-технологических проектов на конкурсной основе различными институтами инновационного развития в процессе проведения экспертного оценивания таких проектов приходится решать задачи, связанные с определением потенциала научной деятельности коллективов исполнителей, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы.

В первую очередь, решение задачи определения потенциала коллектива исполнителей проектов в настоящее время направлено на выявление компетенций и квалификации членов команды проекта.

Как правило под компетенциями понимается способность применять знания и умения из определенной предметной области для решения конкретных задач проекта, а под квалификацией понимается показатель, характеризующий образование, опыт работы, опыт участия в ранее выполненных проектах, научные степени и звания, публикационную активность, сертификаты и т.д.

Для выявления этих характеристик в экспертные анкеты для оценки проектов вносятся соответствующие критерии, такие, например, как «Квалификация, опыт работы и научные достижения исполнителей проекта» [1], при этом, в конечном итоге, компетенция, как уровень способности, определяется следующими качественными параметрами:

- высокий уровень – продемонстрированный уровень применять знания и умения;
- средний уровень – готовность применять знания и умения;
- низкий уровень – компетенция отсутствует.

Квалификация, при предоставлении подтверждающих документов, может быть оценена как:

- соответствует требованиям;
- не соответствует требованиям.

Очевидно, что в большинстве случаев при существующих методах оценки потенциала коллектива исследователей определяются лишь формальные признаки квалификации, такие, как количество публикаций [2], индекс Хирша по различным наукометрическим базам, наличие документов о результатах интеллектуальной деятельности, а также ученых степеней и званий каждого исполнителя и ряд других. Поэтому для придания оценке потенциала команды исполнителей комплексности и достоверности могут дополнительно использоваться и другие критерии, такие, например, как репутация ключевых участников команды исполнителей или команды проекта в целом, а также оценка обоснованности количества и сбалансированности состава команды проекта и наличие в ее

составе всех необходимых специалистов для успешной реализации проекта.

Известны различные исследования, показывающие взаимосвязь высоких значений наукометрических показателей исполнителей проекта с успешностью участия таких заявок в конкурсах на финансовую поддержку (см., например, [3]). Но, как показали исследования, проведенные авторами статьи в отношении проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (далее ФЦПИР), наличие при проведении конкурса в составе коллектива исполнителей отдельных участников, обладающих выдающимися наукометрическими показателями, не гарантирует успешное окончание проекта с достижением требуемых результатов с высоким качеством, т.к. в процессе выполнения проекта возможна замена этих исполнителей на других, наукометрические показатели которых, к сожалению, являются весьма скромными.

В связи с внедрением в свою практическую деятельность институтами инновационного развития различных количественных метрик для оценки уровня получаемых в проектах результатов, основанных на шкале TRL (Technology Readiness Level) [4] (отечественный эквивалент – УГТ [5]), появилась возможность рейтингования проектов по количественному значению уровня разрабатываемых в проектах технологий (или, другими словами, получаемых результатов) для последующего принятия решения о выделении финансовой поддержки. Но при этом по-прежнему не проводится оценка потенциала коллектива исполнителей с точки зрения возможности обеспечения кадровой поддержки достижения заявляемого в проектах значения уровня получаемых результатов.

Решение этой коллизии возможно в рамках методологии TPRL (Technology Project Readiness Level) [6], [7]. Используя основные положения этой методологии и рассматривая команды проекта неразрывно относительно стадий превращения научно-технических результатов в инновационные продукты – от научной идеи до создания промышленного производства, была построена модель и метод оценки проектной команды [8], которые позволяют:

- оценить соответствие между технологическим уровнем проекта и уровнем команды – т.е. определить проекты какого технологического уровня (значение УГТ) команда способна выполнять;
- разобраться каких ролей, опыта и компетенций не хватает для достижения целей проекта, что впоследствии позволит оценить риски вложения средств в проект, выполняемый этой командой;
- дать рекомендации команде по развитию, чтобы повысить возможности, снизить риски, увеличить вероятность успеха данной команды в конкретном проекте.

В рамках разработанной в [8] модели, оценка проводится в отношении шести основных характеристик команды научно-технологического проекта, определяющих ее состояние:

1. Научно-технический потенциал – навыки, умения и знания в специальной научно-технической сфере, характеризующие научно-исследовательскую квалификацию команды.
2. Коммерческий потенциал – навыки, умения и знания в коммерческой сфере, характеризующие способность эффективно работать в бизнес-среде.
3. Опыт проектной работы – выполненные проекты, в том числе научно-технические проекты, и полученные прикладные результаты.

4. Устойчивость команды – факты, характеризующие совместную работу команды, в том числе: продолжительность, результаты (публикации, РИД, т.п.) и другие признаки эффективной совместной работы.
5. Взаимодействие с окружением – проектные роли, взаимодействие и результаты взаимодействия в экосистеме проекта с партнерами и потенциальными потребителями результатов.
6. Лидерство – уникальные преимущества команды для успешного выполнения проекта, обеспеченные лидерскими компетенциями в научно-технической, коммерческой и др. сферах, и (или) организацией-местом работы ключевых участников проектной команды, и т.п.

В модели выделяются три характеристики, показывающие потенциал команды: научно-технический потенциал, коммерческий потенциал и лидерство; и три характеристики, показывающие результативность работы команды: опыт проектной работы, устойчивость команды, взаимодействие с окружением.

Модель оценки команд предназначена для регистрации численной оценки состояния по этим шести характеристикам в виде графического профиля, представляющего из себя т.н. лепестковую диаграмму (или радар), аналогично тому, как это показано на *рисунке 1*.

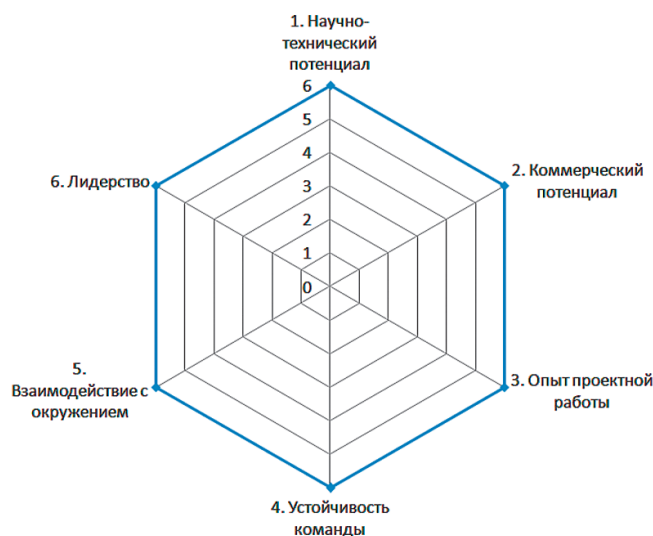


Рисунок 1. Расположение осей характеристик проектной команды

На *рисунке 1* показаны максимальные (идеальные) численные значения характеристик коллектива исполнителей проекта, а для численных оценок характеристик представлена условная шкала от 0 до 6 из-за удобства её использования для анализа команд, выполняющих прикладные научные исследования и экспериментальные разработки (ПНИЭР) в рамках ФЦПИР – до уровня TRL 6 включительно, хотя в общем случае может использоваться шкала от 0 до 9.

Три полуоси (номера 1, 2 и 6) показывают потенциалы команды, а остальные полуоси (3, 4 и 5) – результативность работы команды.

Ось 1–4 в рамках данной модели показывает научно-исследовательскую квалификацию и устойчивость команды.

Ось 3–6 показывает возможность успешного выполнения исследовательского проекта и дальнейшего развития инновации – на основании лидерских качеств и проектного опыта команды.

Ось 2–5 характеризует коммерческие навыки команды, необходимые для развития прикладных результатов проекта, вплоть до появления инновации и выхода на рынок.

В рамках конкретной программы поддержки одного из институтов инновационного развития могут быть выбраны параметры для каждой из полуосей 1–6, которые наиболее оптимальным образом будут соответствовать специфике решаемых данным институтом развития задач. Например, для ФЦП ИИР, в рамках которой поддержку получают проекты, уровень TRL которых от 2–3 до 6, для описания полуоси 1 «Научно-технический потенциал» используются такие параметры как профильное научно-техническое образование, опыт работы по специальности, публикации в изданиях Высшей аттестационной комиссии и в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, учёные степени и звания, результаты интеллектуальной деятельности (РИД).

Поскольку параметры для оценки характеристик для каждой из полуосей 1–6 устанавливаются на основе анализа комплексной модели оценки научно-технологического проекта и их состав, а также коэффициенты расчетных формул, соответствуют уровням технологического развития проекта, то уровень команды оценивается как среднее арифметическое

численных оценок, полученных по каждой из 6 полуосей:

$$S = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 O_i, \quad (1)$$

где

S – уровень команды;

i – номер полуоси;

O_i – оценка характеристики по i -ой полуоси.

Если выполняется правило:

$$S \geq \text{TRL}_p - 0,5, \quad (2)$$

где

TRL_p – уровень (сложность) выполняемого проекта по шкале уровней готовности технологий, оценивается по шкале от 1 до 9, то считается, что уровень команды на момент проведения оценки соответствует уровню сложности выполняемого проекта.

Еще один важный показатель модели [8] – коэффициент сбалансированности проектной команды, расчет которого осуществляется по формуле:

$$\delta = \frac{\max_{i=1,2,3} (O_i + O_{i+3})}{\min_{i=1,2,3} (O_i + O_{i+3}) + 0,1}, \quad (3)$$

где

δ – коэффициент сбалансированности;

i – номер полуоси;

O_i – оценка характеристики по i -ой полуоси.

Коэффициент сбалансированности показывает, насколько команда с рассчитанным уровнем S отличается от идеальной проектной команды уровня S . Чем больше отличие – тем выше риски выполнения проекта, или этапа, заданного уровня сложности.

Набор из двух расчетных величин – S и δ – определяет состояние проектной команды. На основе их анализа можно сделать выводы о возможности выполнения коллективом проекта определенного уровня сложности.

Разработанный на основе этой модели метод оценки команды проекта позволяет не только рассчитывать уровень проектной команды S и коэффициент сбалансированности δ , но и показывать соответствие команды уровню TRL проекта, а также:

- сильные и слабые стороны проектной команды;
- необходимые направления развития коллектива исполнителей для успешного

выполнения конкретного научно-технического проекта и дальнейшего продвижения результатов проекта в сторону инновации;

- динамику развития коллектива в процессе выполнения научно-технологического проекта.

Для расчета значения полуоси 5 «Взаимодействие с окружением» применяется ролевая модель команды проекта, основанная на предположении что для достижения очередного уровня готовности технологии TRL, в команде должны присутствовать специалисты, обладающие определенными компетенциями и квалификацией в одной из следующих групп проектных ролей:

- научно-исследовательские проектные роли – научные сотрудники, инженеры-исследователи и т.д.;
- инженерно-технические проектные роли – инженеры, конструкторы, технологи и т.д.;
- коммерческие проектные роли – аналитики, маркетологи, предприниматели и т.д.;
- управленческие проектные роли – руководитель проекта, директор и т.д.

Используя декомпозицию стадий выполнения проекта в рамках методологии TPRL, нами были сформулированы минимально необходимые перечни ролей для проектов в области обще-технологических исследований и разработок, а также в области разработки программного обеспечения и информационных технологий, в частности такой набор для проектов обще-технологической направленности до уровня TRL 6 представлен в *таблице 1*.

Отметим, что состав ролей определялся с учётом функциональных требований к выполнению различных работ в проекте, причём эти требования могут быть определены, в том числе, и на основе Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих (ЕКСД), утверждённого Постановлением Минтруда РФ [9], а вклад каждой из ролей в итоговую оценку на конкретном уровне TRL проекта определяется весом роли, рассчитываемом исходя из общего объема решаемых задач специалистами, относящимися к ней, на данном уровне TRL.

Расчет коэффициента сбалансированности команды δ позволяет выделить три условные группы, к которым команда уровня S может быть отнесена:

Первая группа: $\delta \geq 3,0$;

Вторая группа: $1,5 \leq \delta < 3,0$;

Третья группа: $1,0 \leq \delta < 1,5$.

В *первой группе*, как правило, оказываются команды, которые обладают высокими показателями научно-технического потенциала и устойчивости, но не представляют реальных перспектив использования результатов проекта и не взаимодействуют с потенциальными потребителями результата. Командам такого типа рискованно давать крупную финансовую поддержку ПНИЭР, но оправданны сравнительно небольшие инвестиции, если идея разработки, которую они предлагают, потенциально может быть действительно интересна рынку.

Ко *второй группе* относятся более сбалансированные команды, но отмечается недостаточность компетенций по некоторым полуосям.

Таблица 1

Состав ролей проектной команды ПНИЭР для TRL=6

Научно-исследовательские проектные роли	Инженерно-технические проектные роли	Коммерческие проектные роли	Управленческие проектные роли
Научный руководитель Научный сотрудник Инженер-исследователь	Эксперт (внешний, отраслевой) Инженер (главный инженер) Инженер-конструктор (конструктор) Инженер-технолог (технолог) Инженер-испытатель (испытатель) Специалист по экологической безопасности Юрист	Коммерческий менеджер Специалист по маркетингу Специалист по интеллектуальной собственности (ИС)	Руководитель (менеджер) проекта

Третья группа – самые успешные команды, которые имеют наибольшие шансы успешно выполнить проект на уровне TRL 4 и подготовить переход на более высокий уровень развития проекта.

Описанная выше модель легла в основу специализированных инструментов оценки команд исполнителей проектов, предназначенных для использования, в первую очередь, во время проведения экспертных процедур. Так как при проведении экспертизы документов, представленных по проекту (как конкурсных, так и отчетных) экспертами могут применяться различные технологии, то авторами были разработаны два инструмента для оценки команд:

- калькулятор оценки потенциала команды научно-технологического проекта;
- программное средство для оценки потенциала команды научно-технологического проекта.

КАЛЬКУЛЯТОР ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА КОМАНД

Данная версия калькулятора разработана на основе табличного процессора Microsoft Excel и используется экспертами при проведении оценки проекта на основе бумажных версий документов, представленных исполнителями, или сканов этих документов в автономных условиях, когда нет возможности использовать различные информационно-аналитические

системы, размещенные сети Интернет (например, <https://rusnti.ru>, или Система Экспертиз ФГБНУ «Дирекция НТП» – <https://sstp.ru>).

Калькулятор представляет собой книгу, содержащую несколько листов:

- лист «Итог»;
- лист «Профессионализм»;
- лист «Опыт проектной работы»;
- лист «Коммерческий потенциал»;
- лист «Устойчивость команды»;
- лист «Взаимодействие с окружением»;
- лист «Лидерство».

Общий вид листа «Итог» представлен на рисунке 2.

На листе «Итог» эксперт вводит общие сведения о проекте – номер Соглашения (для проектов ФЦПИР), наименование проекта, наименование Исполнителя проекта, количественный состав оцениваемой команды проекта, а также уровень TRL/TPRL результатов, который должен быть достигнут в проекте на момент проводимой оценки.

Также на этом листе отображаются численные значения полуосей 1–6 модели оценки команды проекта, описанной выше, индикатор соответствия уровня команды проекта уровню сложности проекта, а также расчетный уровень сложности проекта (1), которому соответствует команда в момент оценки. Кроме этого, отображается коэффициент

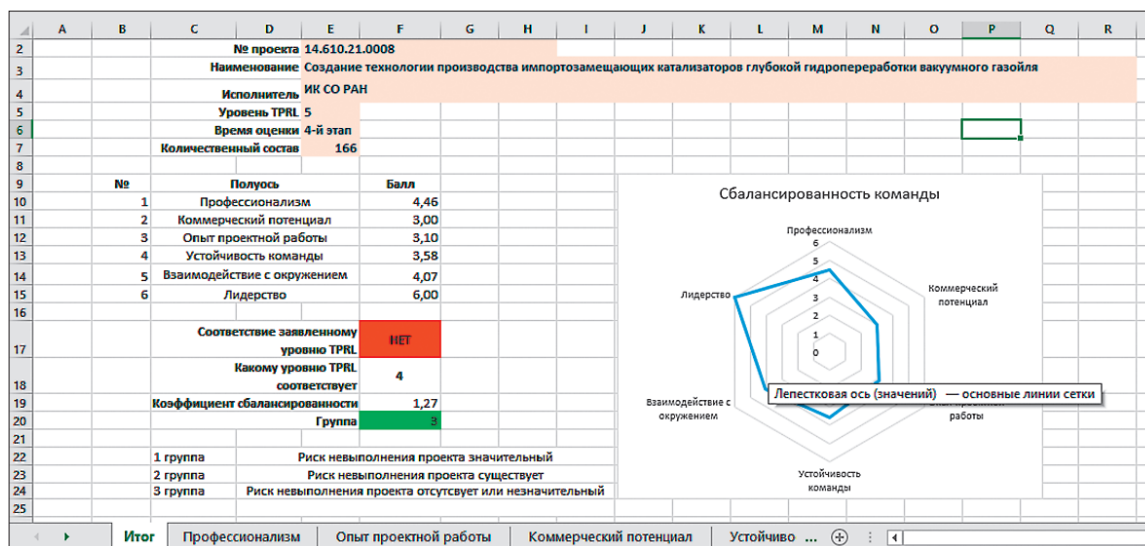


Рисунок 2. Лист «Итог» автономного калькулятора

сбалансированности команды (3), на основе анализа значения которого определяется группа риска недостижения результатов проекта, связанного с различными характеристиками команды проекта.

На листах «Профессионализм», «Опыт проектной работы», «Коммерческий потенциал», «Устойчивость команды», «Взаимодействие с окружением», «Лидерство» представлены шаблоны анкет для ввода количественных значений требуемых параметров в тех случаях, когда от эксперта требуется определить количественные значения, например, количество участников команды, обладающих учеными степенями, или качественных значений в формате «ДА/НЕТ» в тех случаях, когда эксперт должен установить требуемый факт, например, организация-исполнитель – крупный/признанный научный центр по своей специализации.

Вопросы для этих анкет разработаны на основе изучения текстов конкурсной документации проводимых в рамках ФЦИИР конкурсов на предоставление грантов в форме субсидий по различным мероприятиям ФЦПР с учетом требований методологии TPRL. Для исключения произвольности толкования вопроса при формировании ответа экспертом, на каждом из этих листов представлены требования или

комментарии к каждому вопросу, выполнение которых должен установить эксперт. Исходными данными для формирования ответов эксперта являются сведения о команде исполнителей указанные либо в конкурсной документации (например, в форме «Сведения о квалификации»), либо в отчетной документации о проекте во время его исполнения или анкетах, которые могут быть получены при проведении дополнительного анкетирования команды проекта. Важно заметить, что вопросники автономного калькулятора оценки команды проекта составлены таким образом, что для формирования ответов на них эксперту не требуется изучения дополнительных документов или материалов, что, однако, не исключает такой возможности в особых случаях. Отличием автономного калькулятора оценки команды от традиционных способов оценки потенциала команды является то обстоятельство, что для формирования ответов на вопросы анкеты эксперт в определенных случаях должен отобрать только те факты из представленных документов, которые имеют отношение к тематике рассматриваемого проекта. Например, при оценке устойчивости команды могут быть учтены все указанные Исполнителем проекта РИД, в то время как при

В13																Опыт успешного выполнения коллективом ОКР/ОТР																			
		A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O					
8		№ п/п		Наименование характеристики												Значение				Оценка				Что оценивается											
9		1		Опыт участия специалистов проектной команды в прикладных исследовательских проектах												166				1,00				Оценивается количественный состав коллектива, принимавших участие в прикладных исследованиях по профилю проекта (не менее 5 лет до старта проекта)											
10		2		Опыт участия специалистов проектной команды в опытно-конструкторских (опытно-технологических) работах (ОКР/ОТР)												8				0,05				Оценивается количественный состав коллектива, принимавших участие в ОКР(ОТР) по профилю проекта (не менее 5 лет до старта проекта)											
11		3		Опыт участия специалистов проектной команды в проекте запуска (развития) производства												8				0,05				Оценивается количественный состав коллектива, принимавших участие в проекте запуска (развития) производства (не менее 5 лет до старта проекта)											
12		4		Опыт успешного выполнения коллективом прикладных научных исследований и экспериментальных разработок												3				0,50				Оценивается количество ранее выполненных прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по профилю проекта (не менее 5 лет до старта проекта)											
13		5		Опыт успешного выполнения коллективом ОКР/ОТР												3				0,50				Оценивается количество ранее выполненных ОКР (ОТР) по профилю проекта (не менее 5 лет до старта проекта)											
14		6		Опыт успешного выполнения коллективом инновационного проекта, получения инновации и продвижения на рынок												5				1,00				Оценивается количество ранее выполненных проектов по профилю проекта, финансируемых другими институтами развития или фондами											
15																																			
16																																			
17																Итого				3,10															

Рисунок 3. Лист «Опыт проектной работы»

№ п/п	Наименование характеристики	Значение	Оценка	Что оценивается
1	Власть у лидера (лидеров) в организации-исполнителе и проекте.	ДА	1,25	Оценивается факт. Лидеры, в первую очередь: научный руководитель, коммерческий руководитель, руководитель проекта, возможно - главный инженер проекта
2	Награды и премии по научно-технической деятельности и индексы цитирования публикаций у лидера (лидеров) проекта	ДА	16	Оценивается факт наличия наград/премий у лидера проектной команды и его индексы цитирования в международных базах и РИНЦ
3	Опыт управления у лидера (лидеров) высокотехнологичными проектами	ДА	14	Оценивается факт
4	Опыт управления у лидера (лидеров) инновационными проектами, вплоть до производства и продаж инновационной продукции	ДА	14	Оценивается факт
5	Организация-исполнитель - крупный/признанный научный центр по своей специализации	ДА	1,00	Оценивается репутация организации (Значение НЕТ указывается в следующих случаях: не достаточно информации для оценки; известно, что организация-исполнитель не обладает требуемыми признаками)
6	Индустриальный партнер (ИП) - крупный/признанный инновационный (внедренческий) центр по своей специализации	ДА	1,00	Оценивается репутация организации (Значение НЕТ указывается в следующих случаях: не достаточно информации для оценки; известно, что ИП не обладает требуемыми признаками)
Итого			6,00	

Рисунок 4. Лист «Лидерство»

оценке профессионализма следует учитывать только РИД, формирующие научно-технический задел данного конкретного проекта, как это требуется по правилам методологии TPRL.

На рисунках 3–4 представлены листы автономного калькулятора «Опыт проектной работы» и «Лидерство», на которых показаны примеры заполненных анкет с количественными и качественными значениями требуемых параметров для проекта, представленного на рисунке 2.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА КОМАНДЫ НАУЧНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

Программное средство реализовано в форме Windows-приложения, которое может выполняться на любом персональном компьютере, управляемом ОС Windows. Главное окно программного средства показано на рисунке 5.

Программное средство разработано на языке с# и реализовано с использованием

ФЦП ИИР 2014-2020: Оценка команд по уровню TPRL

Выберите заявку по номеру: Создать

Проект

Организация

☐ Организация-исполнитель - крупный/признанный научный центр по своей специализации

Партнер

☐ Индустриальный партнер (ИП) - крупный/признанный инновационный (внедренческий) центр по своей специализации

☐ Имеются письма поддержки ☐ Проект поддержан не только ИП

Действия

Список участников	НТЗ (публикации)	НТЗ (РИД)	НТЗ (проекты)	НТЗ (конференции)	Оценка
Подготовка	Подготовка Экспертиза	Подготовка Экспертиза	Подготовка Экспертиза	Подготовка Экспертиза	Расчет Результаты

Рисунок 5. Главное окно программного средства для оценки потенциала команд научно-технологического проекта

технологии MVC (Mode-View-Controller), в рамках которой осуществляется разделение данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель, представление и контроллер – таким образом, что модификация каждого компонента может осуществляться независимо.

Исходными данными для работы программного средства служит информация, хранящаяся в БД Системы экспертиз, связь с которой осуществляется через сеть Интернет по протоколу HTTP. Схема взаимодействия программного средства с Системой экспертиз показана на *рисунке 6*.

На скриншоте, представленном на *рисунке 5*, видно, что данные, необходимые для проведения расчетов – список участников, сведения о публикациях, РИД, выставках и конференциях, а также выполненных ранее проектах, группируются аналогично тому, как это делается в формах конкурсной документации при проведении конкурсов на предоставление субсидии в форме гранта, проводимых в ФЦПР. Когда эксперт нажимает кнопку «Подготовка» для определенной группы исходных данных, программное средство формирует запрос к API Системы экспертиз, которое на основе обработки сведений, содержащихся в БД и полученных либо от портала регистрации заявок (в случае оценки потенциала команды в момент проведения конкурса), либо от Исполнителей

проектов (в виде заполняемых ими учетных форм по время выполнения проекта), формирует ответ в виде XML- файла, пример которого показан на *рисунке 7*.

После получения данного файла (*рисунк 7*) эксперту необходимо ответить всего на один вопрос: формируют ли результаты каждого ранее выполненного проекта научно-технический задел для представленного проекта или нет (*рисунк 8*). Такие же ответы эксперт должен дать в отношении заявленных публикаций, РИД и материалов конференций и выставок.

На скриншоте, представленном на *рис. 8*, в списке «Участники проектной команды» автоматически выделяются те участники проектной команды, которые принимали участие и в ранее выполненном проекте (XML-Node <AuthorsFromProposal> на *рисунке 7*).

После проведения экспертной оценки всех групп данных, полученных из Системы экспертиз, осуществляется автоматический расчет потенциала команды научно-технологического проекта, результаты которого показываются в отдельном окне программного средства так, как это показано на *рисунке 9*.

Данное программное средство может использоваться и для самооценки исполнителями проекта как на этапе подготовки конкурсной заявки, так и во время выполнения проекта. В этом случае, программное средство работает



Рисунок 6. Схема взаимодействия программного средства с Системой экспертиз

```

<?xml version="1.0"?>
<ArrayOfProject xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <Project>
    <ProjectID>212f5a87-a680-42a0-aaa9-830fb32389c0</ProjectID>
    <ProjectType>NIR</ProjectType>
    <ProjectName>Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределителем, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп п накаливания</ProjectName>
    <ProjectSource>Не указан</ProjectSource>
    <PYear0>2014</PYear0>
    <PYear1>2016</PYear1>
    <AuthorsFromProposal>
      <string>9cecf85a-92b3-4485-ae48-864282c3387c</string>
      <string>0b3d9c9d-15a3-4d76-be0f-37673622e6e4</string>
      <string>6ac78516-f0a0-4263-9506-22f6517b091c</string>
      <string>3e8ddebcb47a-4883-a867-b80a5ce2a928</string>
      <string>f3112926-ea41-4d7d-906f-07cf9718a7c7</string>
    </AuthorsFromProposal>
    <NTZ>false</NTZ>
  </Project>
  .....
</ArrayOfProject>

```

Рисунок 7. Фрагмент файла, полученного из Системы экспертиз для ранее выполненных проектов

Ранее выполненные проекты

Тип проекта:
☒ НИР / ПНИЗР
☐ ОКР
☐ Проект внедрения

Название: Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределителем, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп п накаливания

Источник финансирования: Не указан

Год начала: 2014 Год окончания: 2016

☒ Результаты проекта формируют НТЗ проекта в заявке

Участники проектной команды:
☐ ДАВЫДОВ В.Н.
☒ ИВАНОВ А.А.
☒ НЕЗНАМОВА Е.
☒ СОЛДАТКИН ...
☐ ТЕРЩЕНКО Н.И.
☒ ТУЕВ В.И.
☒ ХОМЯКОВ А.Ю.

Название	Год начала	Год оконча...	Вид проекта
Разработка прототипов передовых технологических решений роботизированного ин...	2017	2020	НИР / ПНИЗР
Разработка технологии изготовления объединительных коммутационных плат на осн...	2016	2019	ОКР
Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым ок...	2014	2016	НИР / ПНИЗР

Кнопки: Новый, Удалить, Изменить, Сохранить список

Рисунок 8. Окно оценки ранее выполненных проектов

автономно от Системы экспертиз и исходные данные должны быть подготовлены вручную, т.е. при нажатии кнопки «Подготовка» (рисунк 5) вместо формирования запроса к API Системы экспертиз раскрывается соответствующее окно, в котором необходимые сведения могут быть введены вручную, как, например, на рисунке 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны специализированные инструменты для оценки потенциала команды научно-технологического проекта, позволяющие оценивать состояние команды на старте и прогресс развития во время выполнения проекта как в автономном режиме работы, так и на основе интеграции с информационной

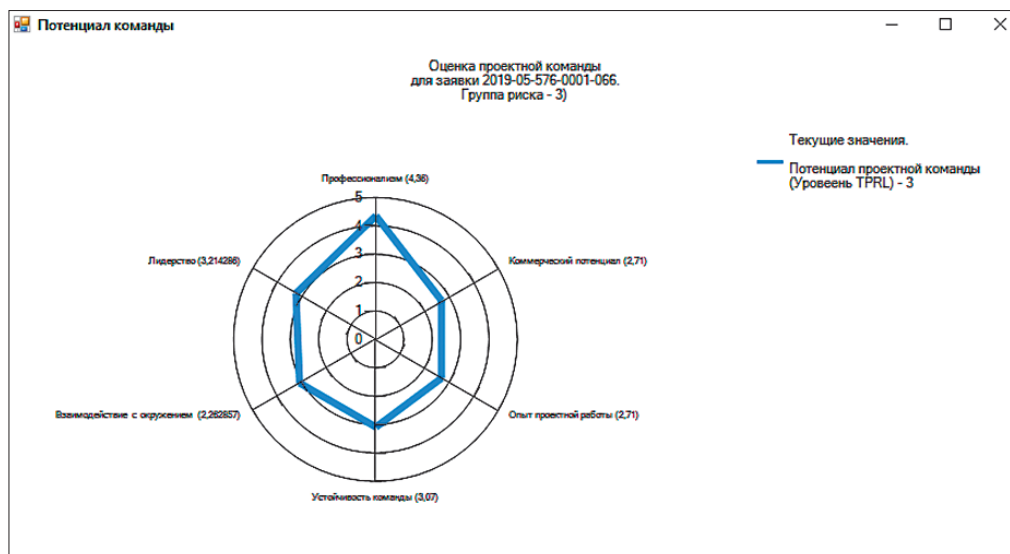


Рисунок 9. Окно результат расчета потенциала команды научно-технологического проекта

РИД

Тип РИД:
☐ Изобретение
☒ Полезная модель
☐ Промышленный образец
☐ KNOW - HOW
☐ Топология микросхем
☐ Программа для ЭВМ
☐ База данных

Название: Светодиодная лампа

Охраняемый документ: Патент на полезную модель РФ 185874

Год приоритета: 2018

Авторы из проектной команды:
☐ ДАВЫДОВ В.Н.
☐ ИВАНОВ А.А.
☐ НЕЗНАМОВА Е.Г.
☒ СОПЛАТКИН ...
☒ ТЕРЕЩЕНКО Н.И.
☒ ТУЕВ В.И.
☐ ХОМЯКОВ А.Ю.

☒ РИД формирует НТЗ проекта

Название	Год приори...	Вид РИД
Высвечивающее органическое люминесцентное устройство	2016	Изобретение
Импульсный источник питания для светодиодной лампы	2016	Полезная модель
Источник питания для светодиодной лампы	2014	Полезная модель
Корректор коэффициента мощности	2018	Полезная модель
Метод комбинированного освещения, орошения и поддержания температурно-влаж...	2017	Ноу-Хау
Светодиодная лампа	2018	Полезная модель
Светодиодная лента для лампы	2019	Полезная модель
Светодиодная лента для лампы	2017	Полезная модель
Светодиодная лента для лампы	2016	Изобретение
Светодиодный облучатель (для растениеводства)	2019	Полезная модель
Способ выращивания льна-долгунца	2016	Изобретение
Способ выращивания льна-долгунца	2016	Изобретение
Способ предпосадочной обработки клубней картофеля	2017	Изобретение
Способ предпосадочной обработки семян зерновых (варианты)	2017	Изобретение

Кнопки: Новый, Удалить, Изменить, Сохранить список

Рисунок 10. Окно для редактирования сведений о РИД

базой системы мониторинга выполняемых проектов.

Специализированные инструменты основаны на применении модели оценки команды, которая дает количественные оценки уровня команды, его соответствия текущему уровню TRL проекта и степень сбалансированности команды, а также ролевой модели команды, позволяющей определить соответствие между составом команды (специализация участников) и необходимыми с точки зрения достижения определённого уровня TRL ролями проектной команды.

Работоспособность специализированных инструментов была продемонстрирована на проектах ФЦПИР. Полученные результаты показали, что разработанные инструменты могут быть использованы для анализа состояния команды на всех стадиях выполнения проекта в рамках ФЦПИР: от подачи заявки до его завершения.

Разработанные инструменты могут быть использованы в следующих случаях:

- для рейтингования команд по общему уровню или относительно конкретной темы проекта/лота при проведении отбора проектов во время конкурсных процедур ФЦПИР;
- для определения необходимого направления развития команды поддержанного в ФЦПИР проекта с целью успешного и эффективного выполнения, в том числе для формирования состава проектной команды на основе ролевой модели;
- для анализа динамики развития коллектива в процессе выполнения научно-технологического проекта;
- при принятии решения об инвестировании и дальнейшем коммерческом развитии прикладных результатов проекта.

Использование специализированных инструментальных средств оценки потенциала команды научно-технологического проекта в институтах инновационного развития позволит:

- оценить соответствие между уровнем проекта и уровнем команды;
- понять какие проблемы существуют в данной команде, оценить риски вложения средств в проект, выполняемый этой командой;
- разобраться каких ролей, какого опыта, каких компетенций не хватает для достижения целей проекта;
- дать рекомендации команде по развитию, чтобы повысить возможности, снизить риски, увеличить вероятность успеха данной команды в конкретном проекте.

Разработанные инструментальные средства могут также использоваться проектными командами для проведения самооценки и ответа на такие вопросы как:

- каков потенциал команды по технологическому уровню выполнения проектов (по TRL/TPRL);
- на каком уровне находится команда в различные моменты времени выполнения конкретного проекта;
- в каком направлении необходимо наращивать характеристики команды;
- каких ролей в команде не хватает для выполнения конкретного проекта;
- в чем сильные и слабые стороны команды;
- какова собственная конкурентоспособность;
- в чем состоят дефициты в команде;
- кем необходимо дополнить команду для успеха проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конкурсная документация по проведению конкурсного отбора на предоставление грантов в форме субсидий по мероприятию 2.2 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (2019) / ФЦПИР. <http://fcpir.ru/upload/iblock/7c1/Konkursnaya-dokumentatsiya.pdf>.
2. Маркина Г.Л., Шлей М.Д., Кузнецова О.В., Мазур Я.В., Маркина Т.А., Леонтьева В.Д. (2017) Оценка потенциала научной деятельности коллектива исполнителей при подаче заявок на участие в конкурсном отборе // Наукоедение. Т. 9. № 1.
3. Скуратов А.К., Зубарев А.П., Михайлец В.Б., Петров А.Н., Кокорев А.О., Шуртаков К.В. (2015) Коллективы исполнителей проектов и успешность конкурсных заявок федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020

- годы» // Наука. Инновации. Образование. № 18. С. 24–41.
4. *Mankins J.C.* (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
 5. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20.02.2016 г. № 60-ст (2016) ГОСТ Р 56861–2016. Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200132491>.
 6. *Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В.* (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
 7. *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.
 8. *Комаров А.В., Слепцова М.А., Четкин Е.В., Шуртаков К.В., Третьякова М.В.* (2017) Оценка команды исполнителей научно-технологического проекта // Экономика науки. Т. 3. № 4. С. 250–61.
 9. Постановление Минтруда России от 21.08.1998 г. № 37 (1998) Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/58839553>.

REFERENCES

1. Tender documentation for the competitive selection of grants in the form of subsidies for event 2.2 FTP «Research and development in priority areas for the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020» (2019) / fcpir. <http://fcpir.ru/upload/iblock/7c1/Konkursnaya-dokumentatsiya.pdf>.
2. *Markina G.L., Shley M.D., Kuznetsova O.V., Mazur Y.V., Markina T.A., Leontiev V.D.* (2017) Assessment of the potential of the scientific activity of the team of performers when applying for participation in the competitive selection // Naukovedenie. Vol. 9. № 1.
3. *Skuratov A.K., Zubarev A.P., Mikhalets V.B., Petrov A.N., Kokorev A.O., Shurtakov K.V.* (2015) Project execution teams and the success of competitive applications of the federal target program «Research and development in priority areas for the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020» // Science. Innovation. Education. № 18. P. 24–41.
4. *Mankins J.C.* (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
5. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 20.02.2016 № 60-st (2016) GOST R56861–2016. Life cycle management system. Product and technology concept development / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200132491>.
6. *Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V.* (2016) A comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness // The Economics of Science. Vol. 2. № 4. P. 244–260.
7. *Komarov A.V., Petrov A.N., Sartori A.V.* (2018) The model of integrated assessment of technological readiness of innovative scientific and technological projects // The Economics of Science. Vol. 4. № 1. P. 47–57.
8. *Komarov A.V., Slepцова M.A., Chechetkin E.V., Shurtakov K.V., Treťjakova M.V.* (2017) Performance evaluation of the scientific-technical project's executive team // The Economics of Science. Vol. 3. № 4. P. 250–61.
9. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 21.08.1998 № 37 (1998) Unified qualification directory of positions of managers, specialists and employees / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/58839553>.

UDC 338.28

Komarov A.V., Slepцова M.A., Chechetkin E.V., Komarov K.A. Specialized tools for assessing the potential of a research and technology project team (Directorate of State Scientific and Technical Programmes, Presnensky Val Street, 19, building 1, Moscow, Russia, 123557)

Abstract. The article describes specialized tools for assessing a team of executors of a scientific and technological project based on the information contained in the project documentation, developed within the framework of the methodology for assessing the readiness of an innovative scientific and technological project, and increasing the objectivity of expert evaluation of projects. These tools can be used to determine if a team is in line with a planned or ongoing project. The application of the proposed tools allows us to assess the risks of failure to achieve project results associated with various characteristics of the project team and formulate recommendations for the development of the project team aimed at reducing them. Specialized tools have been tested for projects of the federal target program «Research and development in priority areas of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020».

Keywords: *scientific and technological project, R&D, project team, competence, qualification, technology readiness level, TPRL, TRL, assessment, software.*

А.Н. ПЕТРОВ,

к.х.н., генеральный директор ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России,
г. Москва, Россия, petrov@fcntp.ru

А.В. КОМАРОВ,

старший научный сотрудник ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России,
г. Москва, Россия, abkom@fcntp.ru

ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ КОНКУРСНЫХ ЗАЯВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ TPRL¹

УДК 338.28

Петров А.Н., Комаров А.В. *Оценка уровня технологической готовности конкурсных заявок с использованием методологии TPRL* (ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, ул. Пресненский вал, д. 19, стр. 1, г. Москва, Россия, 123557)

Аннотация. В статье описана модель оценки уровня технологической готовности проектов, представленных на конкурс для получения финансирования, построенная с использованием методологии TPRL. Модель может использоваться наряду с другими инструментами оценки конкурсных заявок для повышения точности и объективности экспертной оценки конкурсных проектов. На основе результатов, получаемых при использовании предложенной модели, могут составляться ранжированные списки участвующих в конкурсе проектов для последующего отбора проектов-победителей конкурса. Разработанная модель оценки уровня развития технологии апробирована для проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы».

Ключевые слова: научно-технологический проект, конкурс, ПНИЭР, модель, уровень готовности технологии, TPRL, TRL, УГТ, оценка.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-88-99

Цитирование публикации: Петров А.Н., Комаров А.В. (2020) Оценка уровня технологической готовности конкурсных заявок с использованием методологии TPRL // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 88–99.



ВВЕДЕНИЕ

Появление в конце прошлого столетия 9-ти уровневой шкалы TRL (Technology Readiness Level) [1], которую стали использовать для понимания того, насколько технология, разрабатываемая в научно-технологическом проекте продвинулась от научной идеи до практического применения полученных результатов, позволило по-новому классифицировать этапы разработки, что оказалось полезно для определения масштаба проекта, хода и сроков выполнения, требований к ресурсам при его выполнении. По сути, шкала TRL (в отечественном аналоге – уровень готовности технологии, УГТ) является важнейшим инструментом управления проектами, который помогает институтам инновационного развития, промышленным партнерам и коллективам разработчиков отслеживать и координировать осуществляемые при выполнении научно-технологических проектов действия.

Уровни готовности технологии – это важная концепция, которую следует понять и использовать в своей практической деятельности

коллективам исследователей по многим причинам, одной из главных среди которых является та, что знание уровня TRL разрабатываемого исследователями проекта поможет правильно подготовить заявку на финансирование своих разработок, и самое главное – правильно определить источник такого финансирования, выбрав соответствующий институт инновационного развития.

Действительно, в современной практике многие фонды и программы поддержки научно-технологически разработок, реализуемые институтами инновационного развития, как у нас в стране, так и за рубежом, используют значения шкалы TRL в качестве индикатора (например, программа Horizon 2020 [2]), чтобы лучше позиционировать и рейтинговать предлагаемые к поддержке проекты, т.е. если в заявке на финансирование заявителями указывается высокое значение TRL, то от такого проекта ожидается решение, готовое к практическому внедрению, и, наоборот, если в заявке указывается низкое значение TRL, то означает, что проект направлен на проведение исследований, возможно даже фундаментальных.

Другое использование шкалы TRL при подаче заявок на конкурсы, направленные на поддержку проектов – определение точки «входа», т.е. уровня зрелости технологии/продукта в начале выполнения проекта. Такое применение обусловлено тем, что деятельность ряда фондов и институтов инновационного развития, по своему предназначению и целям направлена на оказание поддержки проектам, уровень технологического развития которых не ниже определенного значения. Например, в конкурсе, проводимом Российским фондом развития информационных технологий в ноябре 2019 г., на предоставление грантов на государственную поддержку проектов по внедрению отечественных продуктов, сервисов и платформенных решений, созданных на базе «сквозных» цифровых технологий, могли участвовать проекты, текущий уровень развития технологии предлагаемых решений которых был не ниже УГТ7 [3].

Еще один способ использования шкалы TRL/УГТ в фондах поддержки и институтах инновационного развития заключается в том, что

размер оказываемой ими финансовой поддержки и схема финансирования находятся в явной зависимости как от текущего значения уровня технологической готовности предложенного решения, так и от уровня готовности получаемых в проекте результатов. Так, например, в 2017 г. Министерство образования и науки РФ для федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (ФЦПИР) рекомендовало шкалу, определяющую долю (в процентах) бюджетного финансирования проектов по отношению к требуемому финансовому обеспечению предлагаемого к участию в конкурсах проектов, в зависимости от уровня готовности их технологии [4]. В частности, проекты, обладающие УГТ2 могли рассчитывать на бюджетное финансирование в размере не более 90% от общего объема финансирования, а проекты с УГТ6 уже в размере не более чем 60%.

Естественно, что при подаче конкурсной заявки следует определить и уровень технологической готовности получаемых результатов. Даже если к конкурсной документации не указываются значения точек «входа», то, оценив уровень TRL получаемых результатов, можно более качественно спланировать этапы разработки и ресурсы, а также контрольные точки для определения динамики разработки проекта.

Как известно, метод TRL не охватывает достаточно много аспектов, которые следовало бы учитывать при оценке научно-технологического проекта в целом, в рамках которого разрабатывается инновационная технология (см., например, [5], [6]). Поэтому в ФЦПИР на основе метода TRL была разработана методология TPRL (Technology Project Readiness Level) [8] для оценки проектов, учитывающая такие ценности проекта, как:

- Технологическая готовность (TRL);
- Производственная готовность (MRL);
- Инженерная готовность (ERL);
- Организационная готовность (ORL);
- Преимущества и риски (BRL);
- Рыночная готовность и коммерциализация (CRL).

Преимуществом данной методологии является то обстоятельство, что при оценке уровня готовности проектов используются не только критерии, характеризующие тот или иной уровень готовности (как это принято в методе TRL), а и документы, на основании которых подтверждается выполнение данных критериев, причем эта оценка делается независимыми экспертами.

Методология TRPL является достаточно универсальной. Это подразумевает, что ее структура не связана с определенной технической дисциплиной и конкретным разделом науки, и она может быть использована для оценки технологической готовности проектов специалистами различных институтов инновационного развития и фондов поддержки, т.к. методология TPRL использует унифицированные подходы и требования к формированию системы критериев для экспертной оценки проектов на основе максимально полного и точного учета требований современных технологий и стандартов разработки с учетом жизненного цикла инновационного проекта.

С точки зрения особенностей анализа и обобщения информации при определении достижимости определенного уровня технологической готовности проекта в методологии TPRL, модель комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов представляется в виде

иерархической структуры. Схема формирования базисных уровней иерархической модели технологического уровня проекта представлена на *рисунке 1*.

Высший уровень иерархии содержит дискретный уровень технологической готовности проекта (TPRL), значение которого изменяется от 1 до 9. Если в отношении проекта не подтвержден ни один из показателей, характеризующий уровень TPRL равный 1, то значение уровня TPRL принимается равным 0. Это позволяет помимо уровня технологической готовности проекта определять дробный индекс технологической готовности проекта, целая часть которого равна достигнутому уровню технологической готовности (или 0), а дробная часть характеризует динамику выполнения проекта на малых временных интервалах.

На следующем уровне иерархии определяются показатели TPRL $\{A\}$ и маркеры, позволяющие проверить правильность полученных значений показателей TPRL. Показатели TPRL определяют этапы развития проекта в пределах одного уровня технологической готовности. Маркеры определяют взаимосвязь показателей, построенную на основе анализа требований нормативных документов к выполнению проекта по разработке инновационной продукции.

Каждый показатель TPRL имеет характеристики $\{N\}$, определяющие требования к перечню



Рисунок 1. Схема формирования базисных уровней иерархической модели технологического уровня проекта

задач, которые должны быть решены разработчиками для того, чтобы подтвердить выполнение этого показателя.

Решение каждой из задач для определения характеристики показателя TPRL, должно иметь фиксируемый результат $\{R\}$.

В свою очередь, каждый из результатов должен быть подтвержден в виде некоторого набора подтверждающих свидетельств $\{F\}$.

Каждое из подтверждающих свидетельств должно быть документально зафиксировано, т.е. описание данного свидетельства должно быть представлено разработчиком в каком-либо документе, входящем в состав представляемой по проекту документации $\{D\}$, причем к этим документам могут быть предъявлены, в свою очередь, определенные требования, например, отчет о научно-исследовательской работе должен удовлетворять требованиям ГОСТ 7.32–2001.

Подобный подход отражает общую последовательность оценки состояния проекта

в конкретный момент времени, представленную на *рисунке 2*.

В *таблице 1* показан пример построения модели технологической готовности проекта для одного из показателей уровня TPRL4.

Анализируя данные, представленные в *таблице 1*, можно сделать вывод, что методология TPRL, которая с успехом используется при мониторинге выполняемых проектов ФЦПИР, не может быть применена для оценки уровня технологии для проектов, представленных на конкурс, в явном виде, т.е. в ее полном формате, т.к. объем требуемой информации для подтверждения уровня технологического развития проекта, представленного на конкурс, может быть слишком значителен, а объем конкурсной заявки зачастую ограничен.

Покажем далее, каким образом используя основные элементы методологии TPRL может быть разработана модель оценки уровня научно-технологического проекта, представленного на конкурс.

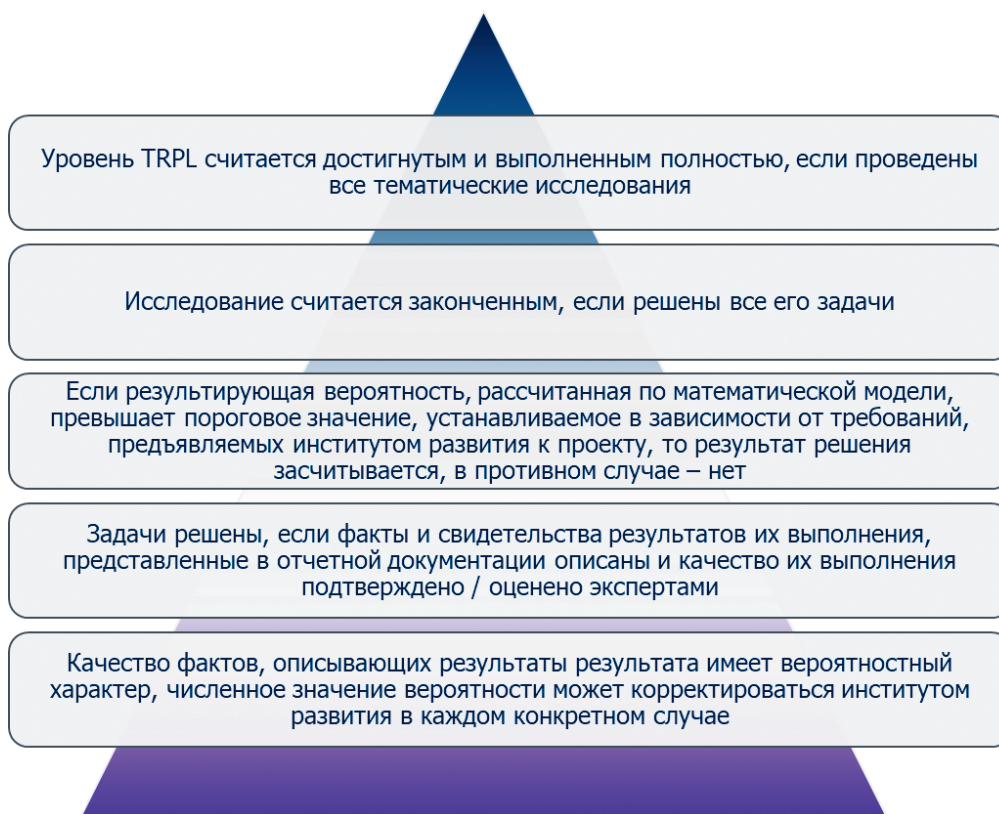


Рисунок 2. Последовательность оценки состояния проекта

Таблица 1

Пример построения модели комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов (TPRL = 4)²

Показатель А ₃ . Составлена программа и методика испытания модели, сформулированы ожидаемые результаты				
Характеристика показателя Н ₃₁ . Определены требования к лабораторному/стендовому тестированию, вытекающие из системных требований, а также требования к фиксации результатов, их обработке и анализу				
Тип результатов	Фиксируемые результаты	Свидетельство	Требования	Документ
ERL	R ₃₁₁ . Требования к проведению испытаний модели	F ₃₁₁₁ . Определены характеристики конечной технологии/продукта, подлежащие проверке F ₃₁₁₂ . Определены требования к результатам F ₃₁₁₃ . Определена тестовая окружающая среда F ₃₁₁₄ . Определены основные процедуры проведения испытаний, в т.ч. проведения испытаний, фиксации результатов испытаний, обработке результатов и их анализу	1. Испытания должны быть комплексными с точки зрения совместной работы различных элементов технологии (п. 11.8, п. 11.9 ГОСТ 2.106-96) 2. Должна быть описана тестовая окружающая среда, в которой будет испытываться модель (п. 11.8 ГОСТ 2.106-96) 3. Должен быть определен вид испытаний (ГОСТ 16504-81) 4. В ТЗ должен быть представлен перечень проверяемых характеристик с указанием их диапазонов (в разделе ТЗ «Технические требования») – п. 6.1.4 ГОСТ 15.016-2016) 5. Должны быть определены требования к процедурам испытаний, результатам испытаний и их анализу (п. 11.6 ГОСТ 2.106-96)	1. ТЗ на модель 2. ПМИ
Характеристика показателя Н ₃₂ . Подготовлено основное лабораторное исследовательское оборудование для проверки физических принципов				
Тип результатов	Фиксируемые результаты	Свидетельство	Требования	Документ
ERL	R ₃₂₁ . Перечень необходимого оборудования	F ₃₂₁₁ . Перечень оборудования для воспроизведения условий испытаний F ₃₂₁₂ . Перечень измерительного оборудования	1. Утвержденный перечень оборудования (п. 11.6 ГОСТ 2.106-96) 2. Перечень оборудования должен в полной мере покрывать потребности в необходимых технических/лабораторных устройствах для воспроизведения испытаний и проведения необходимых измерений (на основе п. 11.6 ГОСТ 2.106-96) 3. Необходимо указывать, какие характеристики и диапазоны их изменения могут быть испытаны с использованием конкретных образцов лабораторного и измерительного оборудования (на основе п. 11.8 ГОСТ 2.106-96)	1. Раздел в отчете (ГОСТ 15.101-98) или документ по требованиям п. 11.11 ГОСТ 2.106-96
Характеристика показателя Н ₃₃ . Изготовлен лабораторный испытательный стенд/платформа				
Тип результатов	Фиксируемые результаты	Свидетельство	Требования	Документ
TRL	R ₃₃₁ . Изготовленный стенд	F ₃₃₁₁ . Изготовленный стенд	1. В качестве доказательства могут быть представлены фотографии стенда (на основе п. 11.11 ГОСТ 2.106-96)	1. Акт о приемке стенда.

² В таблице использованы обозначения, соответствующие аналогичным в работе [6].

Продолжение таблицы 1

Характеристика показателя H_{34} . Подготовлен квалифицированный персонал для тестирования и анализа результатов				
Тип результата	Фиксируемые результаты	Свидетельство	Требования	Документ
ORL	R_{341} . Перечень лиц, участвующих в испытаниях	F_{3411} . Приказ о проведении испытаний F_{3412} . Состав участников испытаний в полной мере отвечает целям и задачам испытаний	1. Необходимо установить наличие Приказа о проведении испытаний (локальный акт Исполнителя) 2. Должны быть определены функциональные требования к каждому участнику испытаний (локальный акт Исполнителя) 3. В приказе о проведении испытаний необходимо указать сведения о допусках к работе на испытательном оборудовании или соответствующий пункт должностных инструкций (локальный акт Исполнителя, Требования ОТ) 4. В перечень лиц, участвующих в испытаниях, могут быть включены представители Заказчика/Инвестора/Партнера	1. Приказ о проведении испытаний. 2. Функциональные обязанности (Должностные инструкции). 3. Допуски к работе на оборудовании
ORL	R_{342} . Требования к участникам испытаний	F_{3421} . В тексте Программы и методики испытаний (ПМИ) определены квалификационные требования к участникам испытаний F_{3422} . Участники испытаний имеют подтверждающие сертификационные допуски, подтверждающие выполнение квалификационных требований	1. Квалификационные требования обладают полнотой и определяют необходимый набор компетенций участников испытаний (локальный акт Исполнителя) 2. Должны быть представлены документы, подтверждающие соответствие участников испытаний установленным требованиям (форма устанавливается Исполнителем)	1. ПМИ 2. Сертификаты о квалификации 3. Лист соответствия участников испытаний требованиям, заверенный руководителем проекта
Характеристика показателя H_{35} . Подготовить Программу и методику испытаний, в т.ч. с учетом испытания основных связей между элементами модели и сочетании важнейших внешних условий (например, «температура – давление»)				
Тип результата	Фиксируемые результаты	Свидетельство	Требования	Документ
ERL	R_{351} . Программа и методика испытаний	F_{3511} . Программа испытаний F_{3512} . Методика испытаний	1. ПМИ должны соответствовать требованиям ГОСТ 2.106-96 2. ПМИ могут быть разработаны как отдельные документы (п. 11.12 ГОСТ 2.106-96) 3. Необходимо удостовериться, что разработана методология интерпретации результатов измерений (на основе п. 11.8 ГОСТ 2.106-96) 4. В ПМИ обязательно должны быть испытания для подтверждения диапазонов изменения ключевых характеристик разрабатываемой технологии/продукта/услуги (п. 11.8 ГОСТ 2.106-96) 5. Необходимо удостовериться, что исследуются связи между элементами технологии/модели (п. 11.9 ГОСТ 2.106-96) 6. Необходимо удостовериться, что исследуется влияние внешних условий на поведение элементов модели (п. 11.9 ГОСТ 2.106-96) 7. Методика испытаний должна предусматривать исследование модели в различных режимах её функционирования, определяемых обликом конечной системы (п. 11.9 ГОСТ 2.106-96) 8. ПМИ могут быть согласованы Заказчиком/Партнером/Инвестором (требование института инновационного развития)	1. Утвержденный документ ПМИ

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТА, ПРЕДСТАВЛЕННОГО НА КОНКУРС

Основываясь на практике применения методологии TPRL [7], можно сформулировать общие требования, которым должна удовлетворять модель оценки конкурсных заявок. Модель:

1. должна основываться на 9-ти уровневой шкале оценки TRL или УГТ [8];
2. должна быть построена таким образом, что ее можно было бы применять для оценки технологической готовности проектов специалистами различных институтов инновационного развития и организаций и ее структура не должна быть связана с определенной технической дисциплиной и конкретным разделом науки;
3. включать критерии и показатели для оценки уровня технологической готовности, содержание которых должно максимально соответствовать набору критериев и показателей оценки уже применяемым различными институтами инновационного развития при конкурсном отборе проектов;
4. учитывать наряду с характеристиками, присущими непосредственно TRL, и другие аспекты комплексной оценки проекта – т.е. в ней должны проводиться оценки и других свойств проекта, входящих в шкалу TPRL;
5. использовать подтвержденный набор сведений о проекте, представленном на конкурс, для обеспечения оценки уровня технологической готовности конкурсной заявки;
6. результаты оценки уровня технологической готовности выполняемого проекта в определенный момент времени, полученные с использованием данной модели, не должны противоречить результатам оценки, сделанной с помощью полной модели TPRL [6].

Требования 1–5 практически совпадают с требованиями, следуя выполнению которых была разработана полная модель оценки научно-технологического проекта [6]. Поэтому они могут быть выполнены аналогично тому, как это было сделано при построении полной модели. В нашем случае создаваемая модель имеет особенность – она должна позволять проводить оценку уровня технологической готовности на ограниченном наборе информации о проекте,

т.е. том наборе информации, который может быть потенциально указан в конкурсных документах и не может быть подтвержден с использованием детальных сведений, а это означает, что модель должна обеспечивать получение корректных результатов (требование 6) при ее использовании на ограниченном наборе данных о проекте.

Не ограничивая общности, опишем далее процесс построения модели оценки уровня технологической готовности конкурсной заявки с использованием методологии TRPL для проектов, представляемых на конкурсы в рамках ФЦПИР.

Для построения модели будем использовать:

- представленные в *таблице 2* обобщенные описания параметров проекта, которые оцениваются в методологии TPRL: TRL, MRL, ERL, ORL, BRL, CRL, и впервые введены в рассмотрение в работе [5];
- описание показателей уровня TRPL, их характеристик, результатов и свидетельств, используемых в полной модели оценки научно-технологического проекта;
- содержание критериев конкурсного отбора проектов, представленное в методических рекомендациях, разрабатываемых для экспертов;
- методические рекомендации заявителям по заполнению форм конкурсной документации.

Анализируя эти информационные источники, а также группируя отдельные информационные показатели, входящие в них, мы выделили 9 групп параметров проекта, которые могут быть использованы как для описания большинства параметров выполняемого проекта, так и конкурсной заявки:

1. Состояние проекта;
2. Научная проработка проекта;
3. Отличия от существующих решений;
4. Обращение с интеллектуальной собственностью;
5. Патентные исследования;
6. Потенциальный объем рынка;
7. Экономика проекта;
8. Производственная реализуемость;
9. Компетенции команды (совместно с индустриальным партнером).

Таблица 2

**Обобщенное описание ключевых состояний параметров проекта
по шкале TPRL**

Уровень TPRL	Допустимые значения индекса готовности TPRL	Технологическая готовность, TRL	Инженерная готовность, ERL	Производственная готовность, MRL	Организационная готовность, ORL	Преимущества и риски, BRL	Рыночная готовность и коммерциализация, CRL
9	[8,9]	Улучшение и эволюция изделия	Рабочая документация	Основное и вспомогательное производство	Поддержка производства, сервиса, снижение издержек	Мониторинг конкурентов	Выход на рынок
8	[7,8]	Продукт в составе системы	Доработка моделей	Отработка стабильного пилотного производства	Оргподготовка производства и сервиса	Подписаны соглашения с партнерами	Отработка замечаний заказчиков
7	[6,7]	Продукт в составе макета системы	Конструкторская подготовка CAD/CAM	Технологическая подготовка производства	Соглашения с заинтересованными организациями	Подписаны лицензионные договоры	Предварительный вывод на рынок
6	[5,6]	Полнофункциональный образец	Изготовление пилотной линии	Состав пилотной производственной линии	Обученный персонал	Заявки на патенты. Технические риски сняты	Точные спецификации продукта
5	[4,5]	Образец в реальном масштабе	Режимы пилотного производства отработаны	Изготовление в реальных условиях	Уточненная бизнес-модель	Уточненные преимущества	Уточненная модель ценообразования
4	[3,4]	Лабораторный образец	Интеграционные интерфейсы	Базовая технология производства	Требования к сервисной поддержке	Стратегия защиты ИС	Поставщики и партнеры, ценовая политика
3	[2,3]	Макетный образец	Проверка совместимости	Выбор производить/заказывать	Уточненные технические требования к продукту	План снижения рисков	Конкурентное окружение
2	[1,2]	Области применения	Анализ влияния на конечную систему	Оценка доступности материалов и процессов	Партнерское окружение	Патентные анализ	Ценностное предложение
1	[0,1]	Фундаментальная концепция	Требования к инженерным ресурсам	Базовые требования к производству	Схема базовых бизнес-процессов	Первоначальная оценка преимуществ и рисков	Оценка полезности

Сущность этих параметров зависит от текущего уровня технологической готовности проекта. Например, цели проведения патентных исследований на разных уровнях технологической готовности разные, поэтому определяя эти сущности для каждой из 9 вышеприведенных групп параметров в зависимости от уровня технологической готовности, мы можем сформировать экспертную анкету, порядок вопросов в которой будет соответствовать шкале TPRL. В таблице 3 представлен пример анкеты оценки технологического уровня конкурсных заявок для

проектов, у которых уровень технологического развития не больше, чем TPRL4.

Обработка полученных ответов на вопросы анкеты, представленной в таблице 3, производится с использованием следующей формулы:

$$TPRL = i, \text{ если } a_i \leq \lg \left(\prod_{j=1}^9 (N_j - 1) \right) \leq b_i, i = \overline{1,4} \quad (1)$$

В выражении (1) символ N_j обозначает номер выбранного ответа на j -ый вопрос анкеты, а на процедуре расчета интервальных

Таблица 3

Пример экспертной анкеты для определения уровня технологической готовности конкурсной заявки (TPRL≤4)

№ п/п	Содержание вопроса	Варианты ответов	Тип ответа
1	Состояние проекта	1. Генерация идеи 2. Сформулированы цели проекта, его задачи, дано краткое описание результатов, лежащих в основе разрабатываемой технологии/продукта для последующей коммерциализации, определены области ее применения 3. Сформулировано техническое предложение, предложены варианты предполагаемого практического использования, выбрана система управления проектом 4. Разработан макет для проведения испытаний отдельных элементов технологии/продукта с целью подтверждения достижимости их значений в определённых диапазонах 5. Создан лабораторный образец, интегрирующий базовые элементы технологии/продукта, и исследовательский стенд для его испытаний с целью подтверждения совместной работы базовых элементов технологии/продукта, проведена подготовка к созданию экспериментального образца	Один из
2	Научная проработка проекта	1. Не применимо 2. Теоретически сформулирована концепция, выбраны методы исследования, выполнены теоретические обоснования 3. Построены аналитические/эмпирические модели, проведены численные оценки (моделирование), результаты показали возможность реализации 4. Проведены лабораторные испытания отдельных элементов продукта/технологии, результаты подтверждают правильность выбранных научных методов 5. Проведены экспериментальные испытания исследовательском стенде, результаты которых подтверждают совместную работу базовых элементов продукта	Один из
3	Отличия от существующих решений	1. Не отличается 2. Выявлены аналоги разрабатываемой технологии/продукта, определены основные функциональные, технические и потребительские характеристики технологии/продукта, которые могут пользоваться спросом на рынке и обеспечат конкурентные преимущества разрабатываемого продукта/технологии 3. Выбраны и описаны численно критические элементы технологии, обеспечивающие решение, востребованное потенциальным потребителем 4. Данные испытаний подтверждают, что ключевые преимущества технологии/превышают известные характеристики аналогов (прямо или при обоснованном пересчете) 5. Данные испытаний подтверждают, что заявленные в проекте характеристики и показатели, обеспечивающие ключевые преимущества конечного продукта достижимы и дают новое качество по сравнению с доступными на рынке продуктами	Один из
4	Обращение с интеллектуальной собственностью (ИС)	1. Не применимо 2. Наличие РИД (собственных, третьих лиц), публикаций и т.п., формирующих ИТЗ проекта 3. Определены варианты использования предшествующей ИС в проекте 4. Определён порядок передачи предшествующей ИС, определён порядок защиты получаемых РИД, определён порядок доступа к ИС во время выполнения проекта 5. Заявки на базовые РИД поданы в патентные ведомства (Россия, международное патентование, в т.ч. через систему PCT – Patent Cooperation Treaty)	Один из
5	Патентные исследования	1. Не проводились 2. Проведены с целью выявления перспективных направлений развития науки и техники 3. Проведены с целью установления требований к разрабатываемому продукту 4. Проведены с целью оценки перспектив патентования разрабатываемой продукции с точки зрения патентной чистоты 5. Проведены с целью оценки технического уровня разрабатываемой продукции и определения ее патентоспособности	Один из
6	Потенциальный объём рынка	1. Не оценивался 2. Проведена оценка рынка PAM (Potential Available Market) в натуральном и стоимостном выражениях 3. Проведена оценка рынка TAM (Total Available Market) в натуральном и стоимостном выражениях 4. Уточнена оценка рынка TAM (Total Available Market) в натуральном и стоимостном выражениях по сегментам, включая глобальные рынки 5. Проведена оценка рынка SAM (Served/Serviceable Available Market) в натуральном и стоимостном выражениях	Один из

Продолжение таблицы 3

7	Экономика проекта	1. Использование только субсидии и средств индустриального партнера (ИП) 2. Оценена вероятность положительного денежного потока от реализации результатов проекта в долгосрочной и среднесрочной перспективах 3. Оценена экономика на разных стадиях жизненного цикла нового продукта (план использования финансовых средств по стадиям жизненного цикла нового продукта) 4. Сделана оценка стоимости владения, в т.ч. оценена себестоимость производства технологии/продукта по промышленной технологии, предложена модель ценообразования, оценена стоимость установки, развертывания и обслуживания, включая обновления, а также проведены оценки стоимости утилизации 5. Выполнен предварительный анализ мероприятий по выводу продукта на рынок, в т.ч.: ценовая политика, политика продаж, программа продвижения нового товара, наличие бюджета на вывод продукта на рынок, прогноз финансовых показателей.	Один из
8	Производственная реализуемость	1. Не применимо 2. Собственное опытное производство или экспериментальная база 3. Определён Индустриальный партнёр 4. Разработана предварительная схема производства, в т.ч. в кооперации 5. Представлен прогноз сроков коммерческой готовности разрабатываемой технологии, а также проведены расчёты по обоснованию оценки обеспеченности основных производственных процессов материальными, финансовыми и другими ресурсами	Один из
9	Компетенции команды (совместно с ИП)	1. Не применимо 2. Преобладают научно-исследовательские компетенции 3. В состав команды входят специалисты по управлению ИС и патентованию, а также инженерно-технический состав 4. В состав команды входят специалисты в области маркетинга и инженеры-конструкторы 5. В состав команды входят специалисты в области организации производства	Несколько

коэффициентов a_i и b_i остановимся ниже. Как можно заметить, в анкете, представленной в таблице 3, на каждый вопрос предлагается 5 вариантов ответа. 1 вариант ответа характеризует так называемый «отсекающий» параметр, т.е., если выбирается ответ с номером 1, то это означает, что оцениваемый проект не соответствует условиям и требованиям конкурсной документации и может быть отклонен от участия в конкурсе.

Для расчета интервальных коэффициентов a_i и b_i мы используем уже известные значения уровней технологических проектов ФЦПИР, которые были получены в результате практической апробации методологии TPRL [7]. Действительно, проводя новую оценку уровня технологической готовности проекта по анкете таблицы 3 на основании информации, содержащейся в отчетной документации, представленной в информационной базе Системы экспертиз (<https://sstp.ru>), мы можем определить полученные значения $\lg(\prod_{j=1}^9 (N_j - 1))$. Считая, что уровень технологической готовности проекта равен тому значению, которое было получено с использованием специального программного средства [9], мы можем определить границы интервалов, в которые попадает значение выражения $\lg(\prod_{j=1}^9 (N_j - 1))$ для каждого из уровней

технологической готовности TPRL1–TPRL4. Например, для уровня TPRL4 в модели используется рассчитанное таким образом значение $a_i = 4,3$. Естественно, что коэффициенты a_i и b_i могут уточняться по мере появления большего количества проведенных оценок проектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описана модель оценки уровня технологической готовности инновационных научно-технологических проектов, представляемых на конкурс на получение финансовой поддержки, разработанная в рамках методологии TPRL. Данная модель построена с использованием единых метрик оценки проектов как в ходе их выполнения, так и на этапе проведения конкурсного отбора проектов.

Модель разработана на основе требований, выполнение которых обеспечивает непротиворечивость результатов расчетов, полученных с ее использованием, результатам расчетов по ранее разработанной модели комплексной оценки готовности научно-технологических проектов.

Модель может быть адаптирована под требования различных институтов инновационного развития и фондов поддержки научно-технологической деятельности за счет специфики учета

системы формирования системы критериев конкурсного отбора и учета ключевых состояний описаний параметров TRL, MRL, ERL, ORL, BRL, CRL, используемых для оценки проектов в методологии TPRL.

Полученные с помощью модели количественные оценки уровня технологической готовности конкурсной заявки проекта могут быть использованы для принятия различных

управленческих решений, например, для определения «точек входа» в проводимый конкурс, ранжирования проектов по значениям уровней технологической готовности, а также определения соотношения долей бюджетного и внебюджетного финансирования в рамках программ, реализуемых различными институтами инновационного развития, а также других решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mankins J.C.* (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
2. What are Technology Readiness Levels (TRLs) and to which Horizon 2020 call topics are they applicable? (2019) / An official EU website. 06.09.2019. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/support/faq/2890>.
3. Решение Правления РФРИТ протокол № 6 от 05.11.2019 г. (2019) Конкурсная документация / Российский фонд развития информационных технологий. <https://рфрит.рф/attachment/80/download/081119-KD>.
4. Методика определения уровней готовности технологии в рамках проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (2017) / ФЦП Ии Р. http://fcpir.ru/upload/medialibrary/955/gt_57_14vn_metodika-ugt_002_.pdf.
5. *Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В.* (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
6. *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.
7. *Комаров А.В., Шуртаков К.В., Комаров К.А., Гришина М.С., Миронова Я.С.* (2020) Практическое применение методологии комплексной оценки научно-технологических проектов на примере оценки проектов ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 100–117.
8. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2017 г. № 2128-ст (2017) ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
9. *Жебель В.В., Комаров А.В., Комаров К.А., Шуртаков К.В.* (2018) Программное средство для комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов // Экономика науки. Т. 4. № 1. С. 58–68.

REFERENCES

1. *Mankins J.C.* (1995) Technology readiness levels / Artemis Innovation. http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf.
2. What are Technology Readiness Levels (TRLs) and to which Horizon 2020 call topics are they applicable? (2019) / An official EU website. 06.09.2019. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/support/faq/2890>.
3. Decision of the RFRIT Board of Ministers, Minutes № 6 dated 05.11.2019 (2019) Tender documentation / Russian Fund for the Development of Information Technologies. <https://рфрит.рф/attachment/80/download/081119-KD>.
4. Methodology for determining the levels of technology readiness in the framework of the projects of the federal target program «Research and development in priority areas for the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020» (2017) / fcpir. http://fcpir.ru/upload/medialibrary/955/gt_57_14vn_metodika-ugt_002_.pdf.
5. *Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V.* (2016) A comprehensive assessment of the state of scientific

and technical projects through the level of technology readiness // The Economics of Science. Vol. 2. № 4. P. 244–260.

6. Komarov A.V., Petrov A.N., Sartori A.V. (2018) The model of integrated assessment of technological readiness of innovative scientific and technological projects // The Economics of Science. Vol. 4. № 1. P. 47–57.
7. Komarov A.V., Shurtakov K.V., Komarov K.A., Grishina M.S., Mironova Ya.S. (2020) Practical application of the methodology for the comprehensive assessment of scientific and technological projects using the example of the evaluation of the federal target programs «Research and Development in Priority Directions for the Development of the Russian Scientific and Technological Complex for 2014–2020» // The Economics of Science. Vol. 6. № 1–2. P. 100–117.
8. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 29.12.2017 № 2128-st (2017) GOST R58048–2017. Technology transfer. Guidelines for assessing the maturity level of technology / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
9. Jebel V.V., Komarov A.V., Komarov K.A., Shurtakov K.V. (2018) A software tool for a comprehensive assessment of technological readiness of innovative scientific and technological projects // The Economics of Science. Vol. 4. № 1. P. 58–68.

UDC 338.28

Petrov A.N., Komarov A.V. **Assessment of the technology readiness level of tender applications using the TPRL methodology** (Directorate of State Scientific and Technical Programmes, Presnensky Val Street, 19, building 1, Moscow, Russia, 123557)

Abstract. The article describes a model for assessing the level of technological readiness of projects submitted to the competition for funding, built using the TPRL methodology. The model can be used along with other tools for evaluating competitive applications to increase the accuracy and objectivity of the expert evaluation of competitive projects. Based on the results obtained using the proposed model, ranked lists of participating projects can be compiled for the subsequent selection of winning projects. The developed model for assessing the level of technology development has been tested for projects of the federal target program «Research and Development in Priority Directions for the Development of the Russian Scientific and Technological Complex for 2014–2020».

Keywords: scientific and technological project, competition, R&D, model, technology readiness level, TPRL, TRL, assessment.

А.В. КОМАРОВ,

старший научный сотрудник ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, abkom@mail.ru

К.В. ШУРТАКОВ,

руководитель отдела ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, shurtakov@fcntp.ru

Е.В. ЧЕЧЁТКИН,

главный специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, echechetkin@fcntp.ru

К.А. КОМАРОВ,

ведущий специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, kirill.080789@gmail.com

М.А. СЛЕПЦОВА,

ведущий специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, msleptsova@yandex.ru

М.С. ГРИШИНА,

ведущий специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, grishina@fcntp.ru

Я.С. МИРОНОВА,

специалист ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, г. Москва, Россия, mironova@fcntp.ru

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ ФЦП «ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ НА 2014–2020 ГОДЫ»¹

УДК 338.28

Комаров А.В., Шуртаков К.В., Чечёткин Е.В., Комаров К.А., Слепцова М.А., Гришина М.С., Миронова Я.С.
Практическое применение методологии комплексной оценки научно-технологических проектов на примере оценки проектов ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (ФГБНУ «Дирекция НТП» Минобрнауки России, ул. Пресненский вал, д. 19, стр. 1, г. Москва, Россия, 123557)

Аннотация. В статье приведены примеры практического применения методологии комплексной оценки научно-технологических проектов для оценки результатов выполняемых проектов, а также для оценки уровня технологического развития проектов, предлагаемых для участия в конкурсах, проводимых по программным мероприятиям федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Методология комплексной оценки научно-технологических проектов расширяет существующие возможности используемых в современной повседневной практике методов оценки как отдельных проектов, так и совокупного портфеля проектов, реализуемых

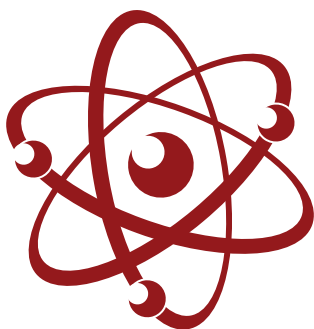
¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации за счёт средств субсидии на выполнение государственного задания (проект № 075-01395-20-00).

в институтах инновационного развития в рамках различных программ поддержки научно-технической деятельности. Разработанные специальные инструментальные средства, реализующие методы, модели и алгоритмы методологии комплексной оценки дают возможность наряду с определением уровня научно-технологической готовности проекта в целом определять отдельные параметры готовности проекта, такие, например, как TRL, а также оценивать уровень команды проекта и ее соответствие сложности выполняемого проекта. Применение специальных инструментов в органах управления институтов инновационного развития позволит повысить эффективность реализуемых программ поддержки.

Ключевые слова: научно-технологический проект, конкурс, ПНИЭР, модель, уровень готовности технологии, TPRL, TRL, УГТ, оценка.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-100-117

Цитирование публикации: Комаров А.В., Шуртаков К.В., Чечёткин Е.В., Комаров К.А., Слепцова М.А., Гришина М.С., Миронова Я.С. (2019) Практическое применение методологии комплексной оценки научно-технологических проектов на примере оценки проектов ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 100–117.



ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач, которые приходится решать органам государственного управления, является оценка эффективности использования бюджетных средств, направленных на государственную поддержку инновационной деятельности [1]. Как правило, существующие методы такой оценки основываются на определении степени соответствия поддерживаемых институтами инновационного развития проектов целям и задачам института инновационного развития, правильности обоснования размеров и схемы финансирования проектов, а также вклада каждого поддержанного проекта в итоговые результаты программы поддержки научно-технической деятельности, в счет выполнения целевых индикаторов таких программ поддержки.

Подобные индикаторы программ поддержки, имеющие количественный характер, дают возможность определить макроэкономические показатели программ поддержки, такие, например, как:

- полнота выполнения программы;
- результативность и эффективность программы;
- влияние программы поддержки на социально-экономическое развитие страны.

Все эти показатели рассчитываются на основе сравнения плановых и текущих значений индикаторов. Но, как показывает анализ программ поддержки, в частности федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (далее ФЦПИР) [2], существующие индикаторы, а также методы оценки результативности, предложенные, например, в работе [3], не дают возможности сопоставить получаемые в проектах результаты с результатами проектов, поддерживаемых другими инновационного развития, а, значит оценить в целом уровень текущего состояния научно-технологического комплекса России с точки зрения готовности полученных результатов к практическому использованию в реальных секторах экономики.

Отчасти это объясняется тем, что в программах поддержки отсутствуют необходимые для такой оценки целевые показатели

и индикаторы, т.к. на этапе разработки этих программ отсутствовали необходимые методы и инструменты для комплексной оценки научно-технологических проектов.

Появление методологии комплексной оценки научно-технологических проектов или, другими словами, методологии TPRL (Technology Project Readiness Level), основные положения которой изложены в работе [4], а также разработанные для ее практического использования модели, методы, алгоритмы и специальные программные инструменты [5–9], уже сейчас позволяют расширить возможности используемых методов оценки результативности научно-технологических проектов, в т.ч. за счет:

- позиционирования выполняемых проектов на шкале технологической готовности;
- оценки уровня технологической готовности портфеля проектов, поддерживаемых институтом развития, с точки зрения использования получаемых в проектах результатов в реальных секторах экономики;

причем для этого не требуется существенного изменения сложившихся в институтах инновационного развития практик.

Подтверждение этого тезиса продемонстрируем далее на примере практического

применения методологии комплексной оценки научно-технологических проектов, выполняемых в рамках программных мероприятий ФЦПР.

ПОРЯДОК КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ КОНКУРСНЫХ ЗАЯВОК И ВЫПОЛНЯЕМЫХ ПРОЕКТОВ ФЦПР

В ходе практической апробации методологии TPRL была проведена комплексная оценка готовности выполненных научно-технологических проектов, а также оценка уровня готовности технологий, предлагаемых для выполнения в рамках мероприятий 1.2, 1.3 и 1.4 ФЦПР, основные требования которых к получаемым в проектах результатам представлены в *таблице 1*. Кроме этого была проведена оценка потенциала команды исполнителей проекта с точки зрения готовности выполнить проект заявленного уровня и группа риска выполнения проекта на основе оценки полноты набора профессиональных компетенций членов команды, необходимых для выполнения проекта заявленного уровня.

Все получаемые в ходе практической апробации методологии TPRL количественные

Таблица 1

Ожидаемые результаты проектов

Программное мероприятие	Наименование мероприятия	Ожидаемые результаты проектов
Мероприятие 1.2	Проведение прикладных научных исследований для развития отраслей экономики	а) новые технические (технологические) решения и результаты интеллектуальной деятельности, полученные при исследовании свойств и (или) особенностей функционирования и (или) применения материалов (устройств, процессов) с использованием созданных макетов, моделей, экспериментальных образцов, отраженные в научно-методической, нормативно-технической, эскизной технической (конструкторской, программной, технологической) документации и направленные на решение практических задач б) проекты технических заданий на последующие прикладные научные исследования и (или) опытно-конструкторские (опытно-технологические) работы для создания новых видов продукции и технологий
Мероприятие 1.3	Проведение прикладных научных исследований и разработок, направленных на создание продукции и технологий	а) аналогичны пункту (а) мероприятия 1.2, но рассматривают в качестве возможного результата также и опытные образцы б) аналогичны пункту (б) мероприятия 1.2 в) комплект технической документации, отражающий новые технические (технологические) решения, подтвержденные результатами исследовательских и других испытаний моделей, макетов, натурных составных частей изделий и экспериментальных образцов продукции в целом в условиях, как правило, имитирующих реальные условия эксплуатации (потребления), и предназначенный для использования в последующем промышленном внедрении
Мероприятие 1.4	Проведение прикладных научных исследований, направленных на решение комплексных научно-технологических задач	

Таблица 2

Шкала уровней технологического готовности проектов TPRL (уровни 1–6)

Уро- вень	Наименование уровня	Содержание уровня
1	Выявлены и опубликованы фундаментальные принципы	Сформулирована идея решения той или иной физической или технической проблемы, произведено ее теоретическое и/или экспериментальное обоснование
2	Сформулированы технологическая концепция и/или применение возможных концепций для перспективных объектов	Обоснованы необходимость и возможность создания новой технологии или технического решения, в которых используются физические эффекты и явления, подтвердившие уровень TRL1. Подтверждена обоснованность концепции, технического решения, доказана эффективность использования идеи (технологии) в решении прикладных задач на базе предварительной проработки на уровне расчетных исследований и моделирования
3	Даны аналитические и экспериментальные подтверждения по важнейшим функциональным возможностям и/или характеристикам выбранной концепции	Проведено расчетное и/или экспериментальное (лабораторное) обоснование эффективности технологий, продемонстрирована работоспособность концепции новой технологии в экспериментальной работе на мелкомасштабных моделях устройств. На этом этапе в проектах также предусматривается отбор работ для дальнейшей разработки технологий. Критерием отбора выступает демонстрация работы технологии на мелкомасштабных моделях или с применением расчетных моделей, учитывающих ключевые особенности разрабатываемой технологии, или эффективность использования интегрированного комплекса новых технологий в решении прикладных задач на базе более детальной проработки концепции на уровне экспериментальных разработок по ключевым направлениям, детальных комплексных расчетных исследований и моделирования
4	Компоненты и/или макеты проверены в лабораторных условиях	Продемонстрированы работоспособность и совместимость технологий на достаточно подробных макетах разрабатываемых устройств (объектов) в лабораторных условиях
5	Компоненты и/или макеты подсистем испытаны в условиях, близких к реальным	Основные технологические компоненты интегрированы с подходящими другими («поддерживающими») элементами, и технология испытана в моделируемых условиях. Достигнут уровень промежуточных/полных масштабов разрабатываемых систем, которые могут быть исследованы на стендовом оборудовании и в условиях, приближенных к условиям эксплуатации. Испытывают не прототипы, а только детализированные макеты разрабатываемых устройств
6	Модель или прототип системы/подсистемы продемонстрированы в условиях, близких к реальным	Прототип системы/подсистемы содержит все детали разрабатываемых устройств. Доказаны реализуемость и эффективность технологий в условиях эксплуатации или близких к ним условиях и возможность интеграции технологии в компоновку разрабатываемой конструкции, для которой данная технология должна продемонстрировать работоспособность. Возможна полномасштабная разработка системы с реализацией требуемых свойств и уровня характеристик

значения уровня технологической готовности TPRL, а также индекса TPRL (см. [5]), основывались на шкале TPRL, адаптированной к шкале УГТ, приведенной в ГОСТ [10]. В таблице 2 шкала TPRL представлена до 6 уровня включительно².

Комплексная оценка выполненных проектов ФЦПИР проводилась для программного мероприятия 1.4, в рамках которого в 2014–2016 гг. выполнялись комплексные проекты, которые можно рассматривать как прообраз проектов полного цикла, выполняемых в комплексных

научно-технических программах и проектах. Последовательность оценки приведена на схеме, представленной на рисунке 1. Специализированный инструментарий представляет собой Web-приложение, размещенное в сети Интранет ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ», доступ к которому осуществляется по протоколу HTTP. Подробнее используемый для оценки проектов Специализированный инструментарий описан в [9]. Итогом оценки проектов являлись:

- уровень TPRL – TPRL;
- индекс TPRL–I;
- значения уровней готовности параметров TRL, MRL, ERL, ORL, BRL, CRL [4].

² По оценке авторского коллектива паспорт ФЦПИР предполагает поддержку проектов начиная со 2-го до 5–6-го уровня TPRL включительно.



Рисунок 1. Последовательность оценки выполненных проектов в рамках программного мероприятия 1.4 ФЦПИР

Оценка уровней технологической готовности конкурсных заявок проводилась для состоявшихся в конце 2019 г. конкурсов по программным мероприятиям 1.2 и 1.3 (лоты 2019-05-576-0001 и 2019-05-579-0001), а также для выполненных проектов по программному мероприятию 1.4 ФЦПИР, оцениваемым по схеме, представленной на *рисунке 1*. На *рисунке 2* показана последовательность проводимой оценки технологической готовности конкурсных заявок.

Итогом проводимой оценки конкурсных заявок являлись:

- оценочное значение начального уровня TPRL проекта (уровень TPRL проекта на этапе проведения конкурса) – tprl;
- прогнозное значение ожидаемого уровня TPRL проекта (уровень TPRL перед окончанием выполнения проекта) – TPRL;
- оценка потенциала команды проекта с точки зрения уровня TPRL проекта (TPRL команды), который команда,



Рисунок 2. Последовательность проводимой оценки технологической готовности конкурсных заявок

представленная в заявке, может достичь в принципе;

- значение группы риска выполнения проекта с точки зрения полноты обладания членами команды необходимыми компетенциями (Баланс команды): 0 группа – команда не соответствует сложности проекта, 1 группа – высокий риск, 2 группа – средний риск, 3 группа – незначительный риск или риск отсутствует.

Для оценки значений начального и прогнозного уровней TPRL использовался разработанный авторами Специализированный инструментарий в виде приложения табличного процессора Microsoft Excel, реализующий модель, описанную в [6], а для оценки потенциала команды проекта и баланса команды – калькулятор оценки потенциала команд [7].

Источниками информации, содержащими подтверждение необходимых фактов о проектах и конкурсных заявках, требуемыми методологией TPRL, являлись документы, хранящиеся в базе данных Системы экспертиз (<https://sstp.ru>), состав которых приведен в таблице 3.

Экспертные заключения и заключения организаций-мониторов использовались для оценки качества представленных фактов об основных результатах выполненных работ по проекту или основных положениях конкурсного проекта, а остальные документы служили источником дополнительных детальных сведений, которые требуются методологией TPRL, однако не содержались в экспертных заключениях и заключениях организации-монитора, т.к. формат этих документов не требовал указания этих сведений.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В РАМКАХ ПРОГРАММНОГО МЕРОПРИЯТИЯ 1.4

Ниже представлен пример оценки уровня готовности по оцениваемым параметрам одного из научно-технологических проектов по теме «Создание на основе полногеномного анализа и метаболической инженерии промышленных штаммов микроорганизмов – суперпродуцентов незаменимых аминокислот и их использование в технологиях производства кормовых добавок для сельского хозяйства» (соглашение № 14.626.21.0003, Головной исполнитель – ФГБУ «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» («ГосНИИгенетика»), Индустриальный партнер – Закрытое акционерное общество «Завод Премиксов № 1» (Белгородская область)). Приведем краткую характеристику выполненного проекта.

Основным прикладным результатом проекта является промышленный штамм-суперпродуцент лизина, важнейшей кормовой добавки для животноводства на основе продуктов глубокой переработки зерна.

Полученный штамм обладает высокой стабильностью генетической структуры при хранении и использовании в ферментационных процессах, и позволяет получать конечный продукт с содержанием L-лизин сульфата 75%, не имеющий аналогов на мировом рынке кормовых добавок.

Таблица 3

Состав документов, используемых для оценки уровня технологической готовности проектов и конкурсных заявок

Документы, используемые для оценки уровня технологической готовности выполненных проектов	Документы, используемые для оценки уровня технологической готовности конкурсных заявок
1. Отчетная документация, представляемая Исполнителями проектов на всех этапах выполняемого проекта. 2. Заключения организации-монитора на отчетную документацию (для каждого этапа). 3. Экспертные заключения (для каждого этапа). 4. Сведения об исполнителях проектов (для каждого этапа).	1. Техническое задание. 2. Пояснительная записка. 3. План-график выполнения работ. 4. Сведения о квалификации. 5. Экспертные заключения.

В ходе выполнения проекта подтверждена эффективность использования L-лизин сульфата для кормления различных сельскохозяйственных животных, включая свиней и птиц, в производственных условиях ЗАО «Белгородский бройлер» и СПК «Агрофирма Красная Звезда» (Вологодская область). Установлено, что использование этой добавки в рационах кур улучшает их продуктивные качества, позволяет увеличить на 4% среднюю массу и среднесуточные привесы свиней, повысить их сохранность на 1,3–2,9%.

Созданная кормовая добавка превосходит по эффективности импортную – лизин гидрохлорид, применяемую до сих пор в хозяйствах страны.

Специально для условий ЗАО «Завод премиксов № 1» разработан способ длительного хранения промышленного штамма и создан криобанк рабочих партий. Уже в 2017 г. (через год после завершения проекта) произведено свыше 45 тыс. тонн кормовой добавки «Лизин сульфат». В 2018 г. произведено 55 тыс. тонн лизина сульфата в год (это предполагаемая проектная мощность завода) и сопутствующие продукты, коммерциализация продуктов в настоящее время составляет свыше 3,3 млрд. руб. Налоги и отчисления в бюджеты всех уровней – более 155 млн. руб. Всего создано 700 высокотехнологичных рабочих мест. В 2019 г. объемы производства лизина сульфата достигли 80 тыс. тонн.

Отметим также, что, если в 2016 г. доля импорта лизина составляла 100%, а доля импорта кормовых ферментов 70–80%, то в итоге создания отечественного производства кормовой добавки «Лизин сульфат» доля импорта лизина

снизилась до 50%, а доля импорта кормовых ферментов (фитаза, ксиланаза, глюканаза) – до 30%.

За ряд работ по разработке и промышленному освоению технологии микробного синтеза лизина группа сотрудников головного исполнителя («ГосНИИГенетика») и индустриального партнера («Завод Премиксов № 1») удостоены Премии Правительства Российской Федерации 2018 г. в области науки и техники (распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2018 г. № 2827-р).

На основе изучения конкурсной заявки этого проекта были определены начальный и ожидаемый уровни технологической готовности проекта. Нами было также проведено моделирование процесса мониторинга и оценки уровня технологической готовности проекта, причём контрольные временные точки оценки были выбраны в следующей последовательности: начало проекта – середина проекта (конец 3-го этапа плана-графика выполнения проекта) – конец проекта (5-й этап плана-графика). На основе имеющихся в Системе экспертиз экспертных заключений и отчетной документации по нему, были проведены вычисления количественных значений уровня технологической готовности проекта (TPRL), индекса зрелости проекта (I), уровней готовности отдельных параметров проекта: технологической готовности (TRL), производственной готовности (MRL), инженерной готовности (ERL), организационной готовности (ORL), преимуществ и рисков (BRL), коммерческой готовности (CRL). Результаты вычислений, в сравнении с планируемыми значениями, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Планируемые и фактические значения индикаторов уровней технологической готовности проекта 14.626.21.0003

Контрольные точки		Критерии оценки зрелости проекта							
		TPRL	I	TRL	MRL	ERL	ORL	BRL	CRL
Начало проекта	план	3	3	3	3	3	3	3	3
	факт	3	3	3	3	3	3	3	3
3-й этапа	план	4	4	4	4	4	4	4	4
	факт	4	4	4	4	4	4	4	4
Конец проекта	план	5	5	5	5	5	5	5	5
	факт	4	4,71	4,88	4,19	4,5	4,82	4,65	4,86

Данные фактических значений индикаторов уровней зрелости (таблица 4) TRL, MRL, ERL, ORL, BRL, CRL для контрольных точек в середине проекта и его конце представлены в графическом виде на рисунке 3.

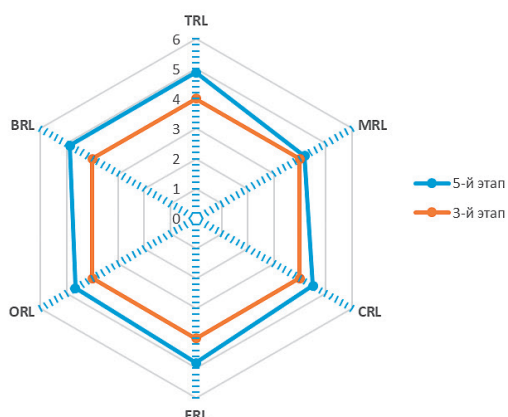


Рисунок 3. Динамика изменения индикаторов уровней готовности отдельных параметров проекта

Из графика, представленного на рисунке 3, видно, что проект развивался сбалансированно, т.е. исполнители проекта выполняли весь необходимый состав работ, а, следовательно, проект не требовал мер оперативного реагирования со стороны Заказчика.

Оценивая результаты проекта в целом, можно сделать вывод о том, что во время его выполнения уровень технологической готовности проекта не достиг требуемого значения, однако значение индекса технологической готовности

почти достигло требуемого значения, и, в целом, данные таблицы 4 подтверждают, что данный проект является весьма успешным, причем его результаты уже используются в реальном секторе экономики.

Покажем далее какие возможности предоставляет методология TPRL для оценки портфеля проектов в органах управления институтами инновационного развития. Проведя расчёты индикаторов показателей уровней готовности для каждого из отобранных проектов, выполненных в рамках программного мероприятия ФЦПИР 1.4 аналогично тому, как это было сделано выше, мы можем определить распределение проектов в портфеле проектов по начальным и ожидаемым уровням технологической готовности на этапе проведения конкурсных процедур, а также распределение проектов по достигнутым значениям уровней технологической готовности, пример которых представлен на рисунке 4.

Для начальных уровней готовности на рисунке 4 использовано обозначение tprl. Анализируя диаграммы, представленные на рисунке 4, можно сделать вывод, что все проекты, отобранные по итогам проведенного конкурса, соответствовали паспорту ФЦПИР в отношении программного мероприятия 1.4, т.е. должны были выполняться в пределах уровней готовности 2–6, что и было подтверждено по их завершению.

Для подведения итогов выполнения программного мероприятия 1.4, мы можем определить, в какой степени были выполнены прогнозы по достижению уровней готовности проектов,

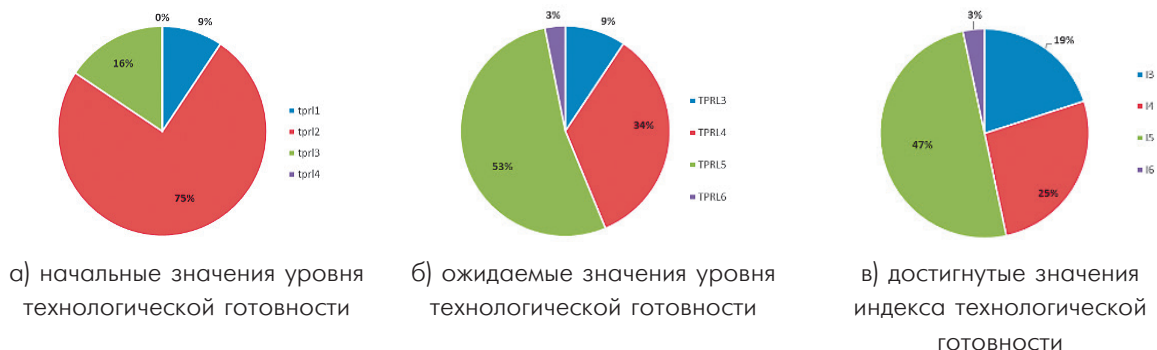


Рисунок 4. Распределение проектов в портфеле проектов по уровням технологической готовности (на этапе конкурса) и индексам технологической готовности (после завершения)

входящих в портфель проектов. Такой анализ может быть проведен с использованием распределений, примеры которых приведены на рисунках 5–6.

При построении графиков на рисунке 6 к группе In ($n=1, 2, \dots, 6$) были отнесены все проекты, значения фактических индексов технологической готовности по проекту (I) которых удовлетворяли соотношению: $n-0,5 \leq I < n+0,5$.

Из данных, представленных на рисунке 5, можно сделать вывод о том, планируемые

показатели для рассматриваемого портфеля проектов не выполнены. Действительно, проекты, у которых ожидаемые значения уровней технологической готовности имели значения 5 и 6, «перераспределились», и их уровень понизился, что может трактоваться как определенное невыполнение намеченных целей для рассматриваемого портфеля проектов. В то же время, известны оценки результативности ФЦПИР, например [3], по которым более чем в 90% выполненных проектов были получены

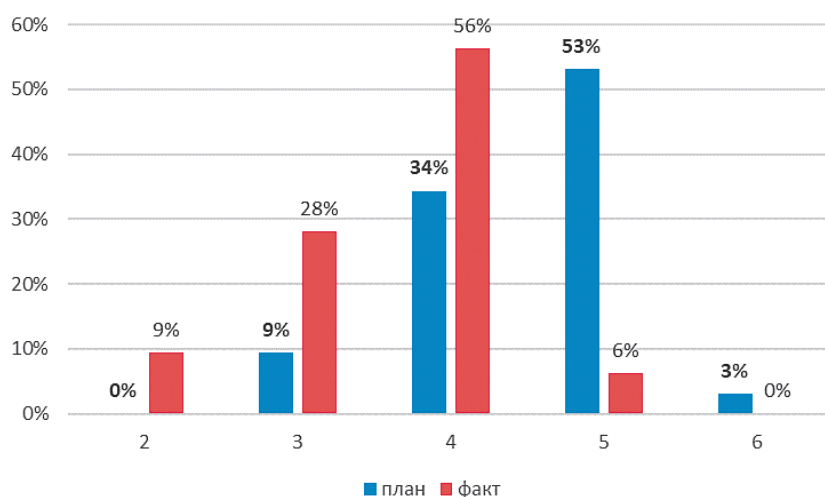


Рисунок 5. Соотношение планируемых и фактических уровней технологической готовности

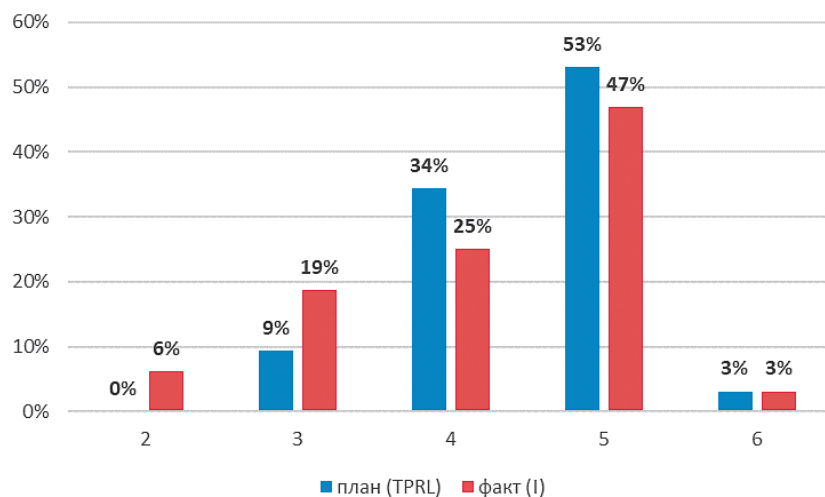


Рисунок 6. Соотношение планируемых уровней технологической готовности и достигнутых индексов технологической готовности

требуемые результаты. Вспоминая, однако, что уровень технологической готовности представляет собой целочисленное значение и дает нижнюю оценку индекса технологической готовности, проанализируем данные, представленные на *рисунке 6*. Из графиков следует, что для проектов с ожидаемыми уровнями технологической готовности 4–6 прогноз практически оправдался, произошло увеличение доли проектов с более низкими значениями уровней технологической готовности 2–3. В данной работе мы не ставим перед собой задачу провести подробный анализ причин, по которым отдельные проекты ФЦПИР не достигают ожидаемых результатов, как это сделано, например, в работе [3], однако следует отметить, что во время выполнения анализируемого портфеля проектов в рамках программного мероприятия 1.4 произошли существенные изменения в схеме финансирования проектов со стороны Заказчика, что, естественно, не могло не отразиться на достигнутых результатах по сравнению с теми, которые были представлены исполнителями в конкурсных заявках.

Рассмотрим еще один график, анализ которого может оказаться полезен при оценке портфеля проектов. На *рисунке 7* показан прогресс проектов с точки зрения увеличения

уровня и индекса технологической готовности за все время выполнения проекта.

Из данных, представленных на *рисунке 7*, видно, что, в основном, в проектах должно было произойти увеличение уровня технологической готовности на 2 или 3 единицы (т.е. с 2 до 4 или с 2 до 5). Однако, на самом деле произошло перераспределение с сторону уменьшения, так, например, значительно выросла доля проектов, уровень и индекс технологической готовности которой вырос всего на 1.

Представленные выше графики позволяют также определить ряд вспомогательных величин, которые могут оказаться востребованными как при планировании портфеля проектов, так и при мониторинге хода его выполнения. Из данных, представленных на *рисунке 7* следует, что средневзвешенное изменение индекса технологической готовности за все время выполнения проекта составляет величину $\Delta I = 2.16$, а учитывая, что время в течение которого выполняли проекты, входящие в рассматриваемый портфель проектов составляет 2,5 года, мы можем получить оценочное значение изменение индекса технологической готовности в течение одного календарного года выполнения проекта, равное 0,9/год. Естественно, что точность определения этого параметра существенным образом зависит от объема

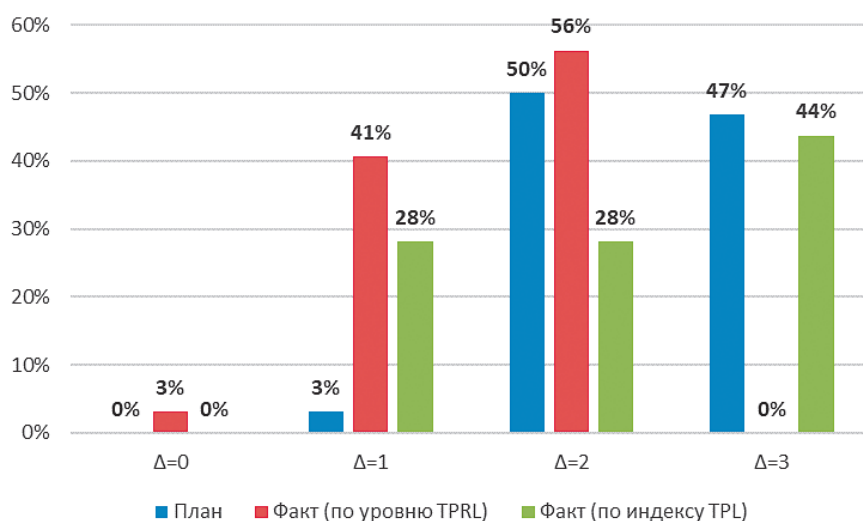


Рисунок 7. Распределение проектов по величине изменения уровня технологической готовности

накопленной статистической информации об уже выполненных проектах. Однако для оценочных расчетов полученное значение может использоваться при решении различных задач, например, для оценки потенциального риска невыполнения проекта, связанного с чрезмерным запланированным ростом уровня технологической готовности проекта, представленного на конкурс, при весьма незначительном времени его выполнения.

Отметим еще один вывод, который может быть сделан по итогам оценки портфеля проектов по программному мероприятию 1.4 ФЦПР. При оценке конкурсных заявок, как было показано в работе [6], можно только лишь дать оценку ожидаемого значения уровня технологической готовности проекта. Поэтому, анализируя график, представленный на *рисунке 5*, мы можем увидеть, что в значительной доле проектов ожидаемый уровень технологической готовности не был достигнут. Составной частью оценки конкурсных заявок и оценки уровня технологической готовности проектов является оценка научно-технологического потенциала команд проектов. Проводя такой анализ для проектов, входящих в рассматриваемый портфель, нами было установлено, что 95%³ проектов, для которых было определено несоответствие уровня команды заявленному уровню технологического развития, попали в группы проектов, представленные на *рисунке 5*, для которых ожидаемый уровень технологической готовности не был достигнут. Это означает, что уже на этапе проведения конкурсных процедур по отбору проектов, могут быть выявлены проекты, в которых уровень научно-технологического потенциала команды проекта не соответствует заявленному уровню технологической готовности проекта, которые, в случае признания их победителями, требуют дополнительных мер контроля за ходом их выполнения, т.к. весьма вероятно, что ожидаемый уровень технологической готовности достигнут не будет.

³ В остальных 5% проектов за счет использования кадрового потенциала Индустриальных партнеров во время выполнения проекта ожидаемый уровень технологической готовности был достигнут.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ КОНКУРСНЫХ ЗАЯВОК, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА КОНКУРСЫ ПО ПРОГРАММНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ 1.2 И 1.3 ФЦПР

Оценка технологического уровня конкурсных заявок была проведена для заявок, поданных для участия в конкурсе по программным мероприятиям ФЦПР 1.2 (лот 2019-05-576-0001 – http://fcpir.ru/participation_in_program/contests/list_of_contests/6_competitionfinished/2019-05-576-0001/) и 1.3 (лот 2019-05-579-0001 – http://fcpir.ru/participation_in_program/contests/list_of_contests/6_competitionfinished/2019-05-579-0001/). Для участия в конкурсе по лоту 2019-05-576-0001 были поданы 382 заявки, а по лоту 2019-05-579-0001-202 заявки.

Для оценки уровня технологического развития конкурсной заявки использовалась анкета, соответствующая упрощенной модели оценки технологического уровня, изложенной в [6]. Оценка проводилась по следующим критериям:

1. Состояние проекта;
2. Научная проработка проекта;
3. Отличия от существующих решений;
4. Обращение с интеллектуальной собственностью;
5. Патентные исследования;
6. Потенциальный объем рынка;
7. Экономика проекта;
8. Производственная реализуемость;
9. Компетенции команды (совместно с индустриальным партнером).

Каждая заявка в зависимости от полноты достижения критерия, оценивалась по 5-ти балльной шкале для каждого критерия. Рассчитанные с помощью модели [6] значения затем определяли оценки уровней TPRL и TRL. Отметим, что, если в результате вычислений оказывалось, что рассчитанное значение равно, например, 2, то это означало, что уровень технологического развития оцениваемой конкурсной заявки не ниже TPRL3 (TRL3). Для каждой конкурсной заявки также была проведена оценка научно-технического потенциала

конкурсной заявки с использованием калькулятора оценки потенциала команд [7].

В рамках разработанной в [6] модели можно определять уровни готовности отдельных параметров TRL, MRL, ERL, ORL, BRL, CRL, используемых для оценки проектов в методологии TPRL за счет использования комбинаций вышеуказанных критериев и методов для расчета полученных значений. Учитывая, что на выполнение проекта победителями конкурсов отводится всего 1 год, ожидать от них значительного прогресса по шкале TPRL не приходится, поэтому нами также была проведена оценка параметра TRL по следующей комбинации критериев: критерии № 1–4 и № 9.

Результаты оценки заносились в таблицу в формате Microsoft Excel (таблица 5).

В таблице 5 используются следующие параметры:

- статус (0 – отклонена от участия в конкурсе, 1 – принята, 2 – победитель);
- потенциал команды с точки зрения ожидаемого уровня TPRL проекта (TPRL команды), который команда, представленная в заявке, может достичь в принципе;
- группа риска выполнения проекта с точки зрения полноты обладания членами команды необходимыми компетенциями (баланс команды) (0 группа – команда не соответствует уровню сложности проекта, 1 группа – высокий риск, 2 группа – средний риск, 3 группа – незначительный риск или риск отсутствует);
- оценка начальных уровней технологического развития по шкале TPRL/TRL (таблица 1) на этапе проведения конкурса (Заявка);
- оценка ожидаемых (прогнозных) значений TPRL/TRL по окончании проекта (Прогноз).
- Кроме этого, в таблице автоматически рассчитываются значения изменений показателей TPRL и TRL – $\Delta TPRL$ и ΔTRL .

Аналогично тому, как мы это делали ранее, покажем, какие возможности предоставляет методология TPRL для оценки совокупности

конкурсных заявок в органах управления институтов инновационного развития на этапе проведения конкурсного отбора проектов для оказания финансовой поддержки.

Все приведенные далее иллюстрации и примеры относятся только к заявкам, допущенным к участию в конкурсе (по лоту 2019-05-576-0001 допущено 308 заявок, по лоту 2019-05-579-0001 допущено 157 заявок), в т.ч. отдельные примеры для заявок победителей (по лоту 2019-05-576-0001-58 заявок-победителей, по лоту 2019-05-579-0001-38 заявок-победителей), во всех примерах и иллюстрациях для удобства сравнения приводятся относительные величины. Выше мы уже отмечали кратковременность выполнения проекта, поэтому для демонстрации возможностей методологии TPRL целесообразно остановиться на оценке уровня готовности технологии TRL (УГТ), предложенной для выполнения в проекте.

Как и ранее, определим распределение начальных и ожидаемых значений уровней технологического развития конкурсных заявок, в т.ч. для заявок-победителей. Подобные распределения для программных мероприятий 1.2 и 1.3 представлены на рисунках 8–11.

На диаграммах, представленных на рисунках 8–9 для начальных уровней технологической готовности, использовано обозначение trl, которое мы будем применять и далее.

Анализируя данные представленных на рисунках 8–11 диаграмм, заметим, что распределение заявок-победителей как по начальным уровням готовности технологии, так и для ожидаемых уровней, практически совпадает с аналогичными распределениями для всей совокупности заявок, как по программному мероприятию 1.2 ФЦПИР, так и по программному мероприятию 1.3 ФЦПИР. Подавляющее число заявок, в т.ч. заявок-победителей, для обоих программных мероприятий ФЦПИР имеет начальный уровень технологического развития trl1, что, конечно,

Таблица 5

Форма сведений для расчета технологического уровня конкурсной заявки

№ заявки	Статус заявки	TPRL команды	Баланс команды (группа)	Заявка		Прогноз		Δ TPRL	Δ TRL
				TPRL	TRL	TPRL	TRL		

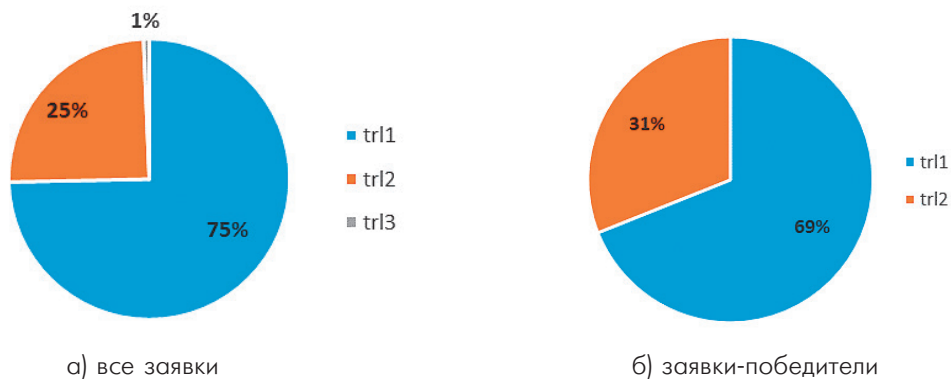


Рисунок 8. Распределение конкурсных заявок по уровню готовности технологии на этапе конкурса (программное мероприятие 1.2)

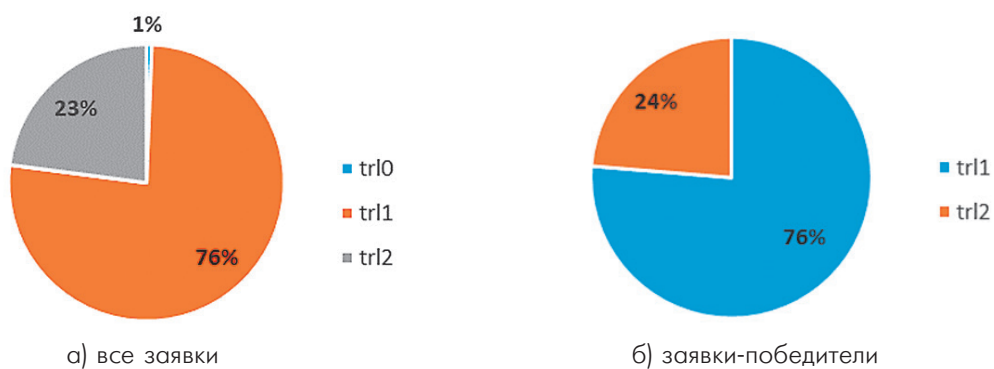


Рисунок 9. Распределение конкурсных заявок по уровню готовности технологии на этапе конкурса (программное мероприятие 1.3)

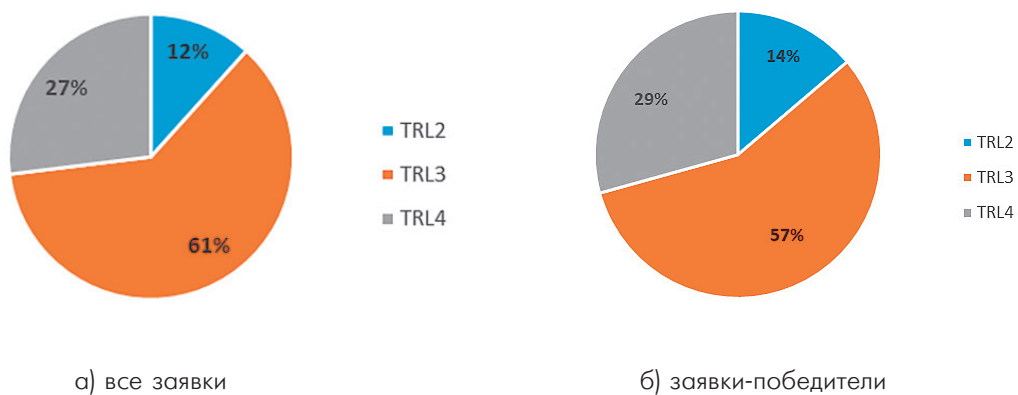


Рисунок 10. Распределение конкурсных заявок по ожидаемому уровню готовности технологии (программное мероприятие 1.2)

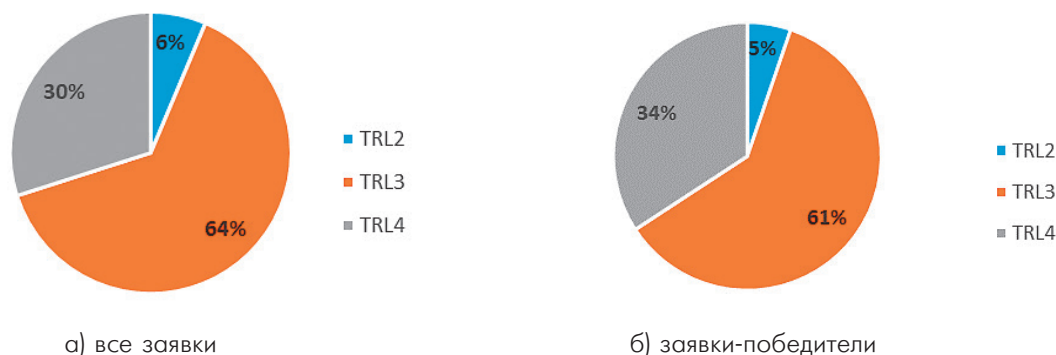


Рисунок 11. Распределение конкурсных заявок по ожидаемому уровню готовности технологии (программное мероприятие 1.3)

выходит за рамки ФЦПИР, т.к. данный уровень характеризует проекты, в которых еще требуются существенные фундаментальные и поисковые исследования. Вместе с тем, по ожидаемым уровням готовности технологий, конкурсные проекты в подавляющем большинстве удовлетворяют паспорту ФЦПИР в отношении программных мероприятий 1.2 и 1.3. Из рисунков 10–11 видно, что для программного мероприятия 1.3 доля проектов с ожидаемым уровнем готовности технологии trl2 существенно ниже, чем доля таких же проектов по программному мероприятию 1.2. Отметим еще один выявленный казусный случай, который относится к проекту, допущенному к участию в конкурсе и имеющим нулевой уровень готовности технологии. Этот пример говорит о том, что поданная конкурсная заявка имеет все признаки формального составления требуемых документов в надежде на то, что проект может одержать случайную победу в конкурсе.

Рассмотрим далее, как распределились конкурсные заявки по ожидаемым уровням готовности технологий в зависимости от начальных значений уровней готовности технологий конкурсных заявок. Полученные зависимости для рассматриваемых в данном разделе конкурсных заявок представлены на графиках на рисунках 12–13.

Графики, представленные на рисунках 12–13, показывают, какой прогресс может быть достигнут в проектах с точки зрения роста уровня готовности разрабатываемых в них технологий. Учитывая, что ранее мы определили средневзвешенный рост уровня технологической готовности проектов в ФЦПИР, равный величине 0,9/год, можно предположить, что рост уровня готовности технологии, равный 2, показанный на рисунках 12б) и 13б), характеризует несколько завышенные обещания победителей конкурсов по соответствующим программным мероприятиям, или, по крайней мере, к этим проектам

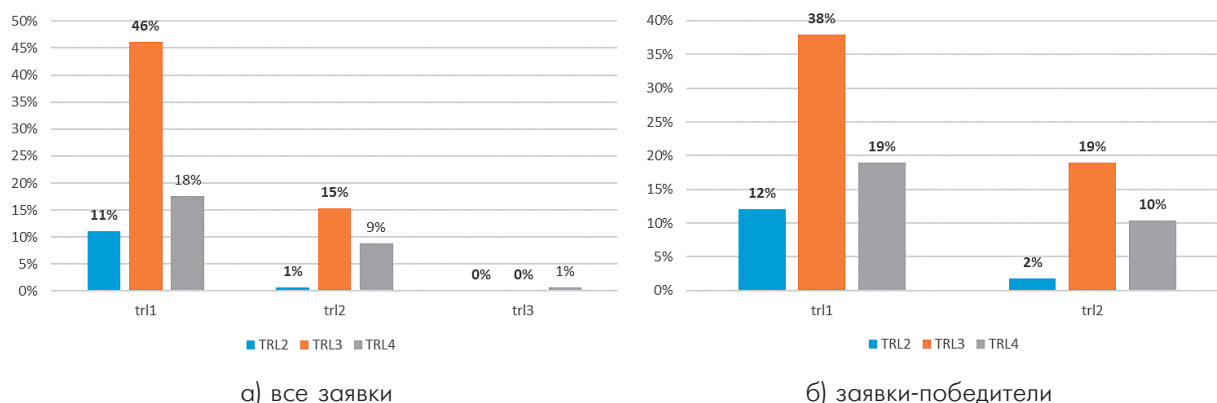


Рисунок 12. Зависимость ожидаемых уровней готовности технологий конкурсных заявок от их начальных значений (программное мероприятие 1.2)

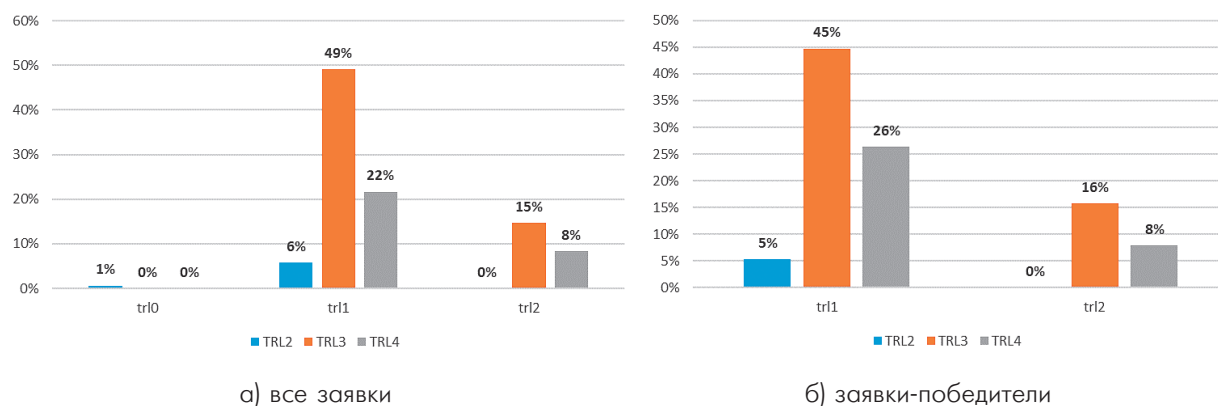


Рисунок 13. Зависимость ожидаемых уровней готовности технологий конкурсных заявок от их начальных значений (программное мероприятие 1.3)

должно быть уделено повышенное внимание, т.к. существует вероятность получения результатов, не обладающим качеством, которое должно соответствовать требованиям как методологии TPRL, так и метода TRL (УГТ).

Еще один способ применения методологии TPRL с точки зрения проведения аналитических исследований при оценке технологического уровня конкурсных заявок связан с оценкой научно-технологического потенциала команд проектов, представленных в заявках.

На рисунках 14–15 показаны распределения конкурсных заявок по группам риска невыполнения проектов из-за «дефектов» команд проектов.

Анализируя диаграммы, представленные на рисунках 14–15, можно сделать вывод, что несмотря на то, что при определении победителей по программным мероприятиям 1.2 и 1.3 были отобраны проекты с более высоким

качеством команд проектов (были отсеяны проекты, в которых команды были отнесены к группе с высоки риском невыполнения проекта), среди победителей имеются команды, уровень научно-технологического потенциала которых не соответствует сложности решаемых задач, а, значит, такие проекты также требуют к себе повышенного внимания во время их выполнения. Отметим также, что команды большинства проектов по обоим программным мероприятиям были отнесены к группе с низким риском невыполнения проекта, что свидетельствует о том, что при планировании этих проектов вопросы формирования команды решались на достаточно высоком уровне.

И, наконец, рассмотрим зависимости, описывающие распределение команд проектов по группам риска невыполнения проекта в зависимости от сложности решаемых задач или, другими словами, от ожидаемых уровней

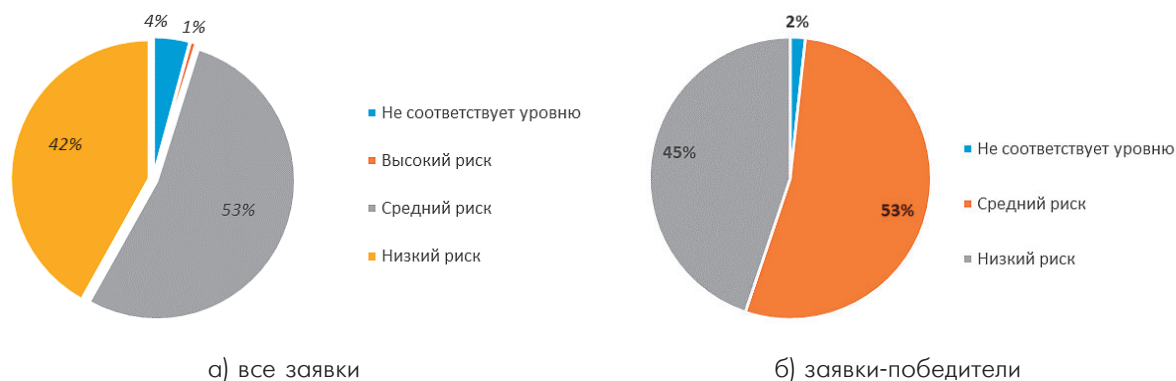


Рисунок 14. Распределение конкурсных заявок по группам риска (программное мероприятие 1.2)

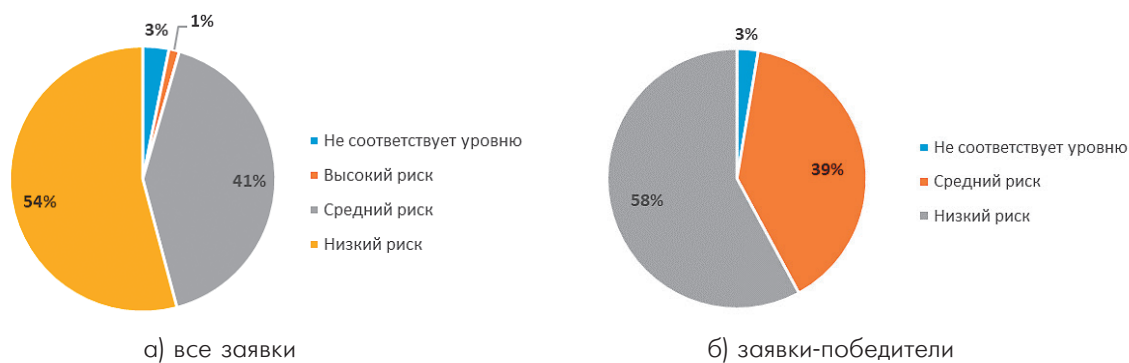


Рисунок 15. Распределение конкурсных заявок по группам риска (программное мероприятие 1.3)

готовности разрабатываемых в проектах технологий. Примеры таких зависимостей представлены на рисунках 16–17.

Анализ таких зависимостей помогает понять, в каких именно заявках существует высокий риск невыполнения проекта из-за «дефектов» команд или же команда проекта вообще не соответствует уровню сложности решаемых задач.

Например, как в программном мероприятии 1.2 и 1.3 ФЦПИР (рисунки 16б), 17б)), в заявках, направленных на разработку технологий 4 уровня, существуют команды, научно-технический потенциал которых не соответствует этому уровню, в частности, в командах подобных проектов имеется дисбаланс необходимых компетенций, у команд нет опыта выполнения

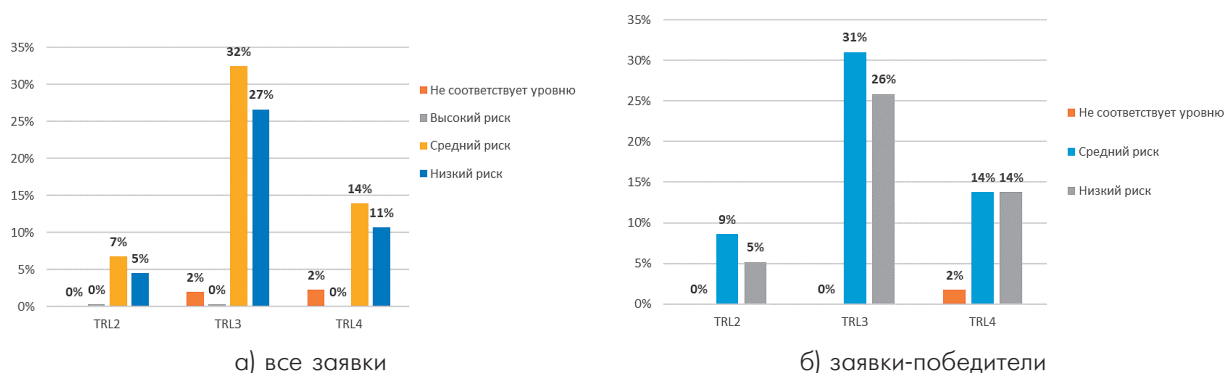


Рисунок 16. Распределение конкурсных заявок по группам риска в зависимости от ожидаемых уровней готовности технологии (программное мероприятие 1.2)

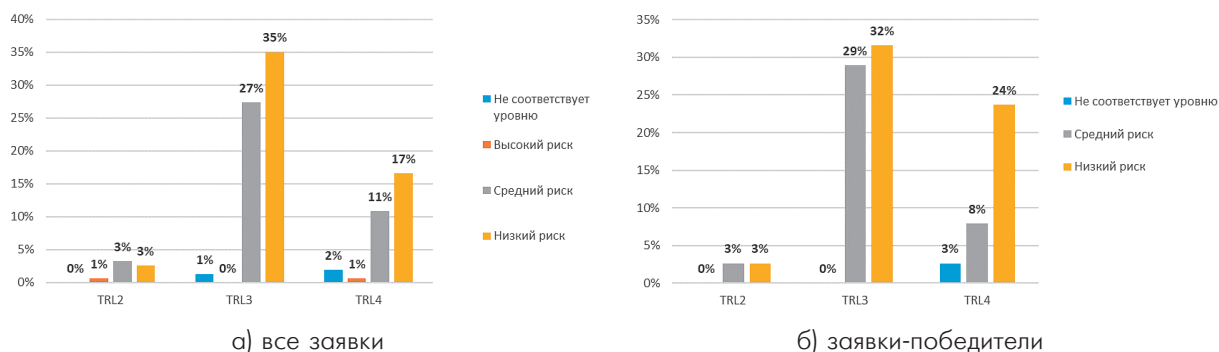


Рисунок 17. Распределение конкурсных заявок по группам риска в зависимости от ожидаемых уровней готовности технологии (программное мероприятие 1.2)

проектов такого уровня сложности, нет устойчивых и подтвержденных связей с Индустриальными партнерами, или же научный и технический уровень конкретных участников команд не достаточно высок.

Анализ графиков, представленных на *рисунках 16–17*, также дает основу для реверсивного анализа полученных при анализе технологического уровня каждой из конкурсных заявок параметров. Действительно, учитывая данные графиков, представленных на *рисунках 12–13*, с одной стороны, и *рисунках 16–17* с другой, мы можем определить конкретные проекты, которые требуют повышенного к ним внимания (по номерам конкурсных заявок). В рассматриваемых нами случаях, команды не соответствующие сложности решаемых задач, должны получить результаты, развивающие в проектах уровни готовности технологии не менее чем на 2 единицы, а это, как мы указали ранее, с высокой степенью уверенности позволяет считать, что их ожидания являются завышенными.

Естественно, что полученные с использованием Специализированных средств оценки технологического уровня конкурсных заявок, позволяют провести рейтингование конкурсных заявок, как отдельно по возрастанию/убыванию значений TPRL/TRL, так и в сочетании этих параметров с другими, которые могут использоваться в конкретных институтах инновационного развития, например, с учетом срока выполнения проекта, объема финансирования и ряда других.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны некоторые результаты практического применения методологии комплексной оценки научно-технологических проектов TPRL на примере оценки проектов и конкурсных заявок, представляемых на конкурсы по программным мероприятиям ФЦПир. Использование данной методологии в повседневной практике органов управления институтами инновационного развития в значительной степени повышает возможности проведения ими различных аналитических исследований, а также дает исходную информацию для разработки новых способов оценки эффективности их деятельности в сфере поддержки выполнения научно-технологических проектов как за счет оценки результативности отдельных проектов, так и совокупности поддерживаемых проектов.

Разработка таких способов не требует существенных усилий и ресурсов, т.к. методология TPRL в значительной степени ориентирована на использование критериев, показателей и индикаторов, применяемых для оценки результативности проектов и программ поддержки, которые широко используются в современной практике.

Описанные примеры показывают, как можно получать и анализировать различные зависимости и распределения проектов и конкурсных заявок при решении задач отбора проектов и мониторинга за ходом их выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 31.03.2018 г. № 392 (2018) Об утверждении правил оценки эффективности, особенностей определения целевого характера использования бюджетных средств, направленных на государственную поддержку инновационной деятельности, а также средств из внебюджетных источников, возврат которых обеспечен государственными гарантиями, и применяемых при проведении такой оценки критериев / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/557014306>.
2. Постановление Правительства РФ от 21.05.2013 г. № 426 (2013) О федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» / Гарант. <http://base.garant.ru/70385450>.
3. Чеченкина Т.В. (2017) Оценка результативности проектов прикладных исследований, финансируемых в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» // Научное ведение. Т. 9. № 3.
4. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
5. 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.

6. Петров А.Н., Комаров А.В. (2020) Оценка уровня технологической готовности конкурсных заявок с использованием методологии TPRL // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 88–99.
7. Комаров А.В., Слепцова М.А., Чечеткин Е.В., Комаров К.А. (2020) Специализированные инструменты для оценки потенциала команды научно-технического проекта // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 75–87.
8. Комаров А.В., Слепцова М.А., Чечеткин Е.В., Шуртаков К.В., Третьякова М.В. (2017) Оценка команды исполнителей научно-технологического проекта // Экономика науки. Т. 3. № 4. С. 250–61.
9. Жебель В.В., Комаров А.В., Комаров К.А., Шуртаков К.В. (2018) Программное средство для комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов // Экономика науки. Т. 4. № 1. С. 58–68.
10. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2017 г. № 2128-ст (2017) ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.

REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation dated 31.03.2018 № 392 (2018) On the approval of the rules for evaluating the effectiveness of determining the target value of the use of budgetary funds, state support funds and innovative activities, as well as funds from extrabudgetary sources that provide a state guarantee and are used during such criteria evaluations / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/557014306>.
2. Decree of the Government of the Russian Federation dated 21.05.2013 № 426 (2013) On the federal target program «Research and development in priority areas for the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020» / Garant. <http://base.garant.ru/70385450>.
3. Chechenkina T.V. (2017) Evaluation of the effectiveness of applied research projects funded under the federal target program «Research and development in priority areas for the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020» // Naukovedenie. Vol. 9. № 3.
4. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. (2016) A comprehensive assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness // The Economics of Science. Vol. 2. № 4. P. 244–260.
5. Komarov A.V., Petrov A.N., Sartori A.V. (2018) The model of integrated assessment of technological readiness of innovative scientific and technological projects // The Economics of Science. Vol. 4. № 1. P. 47–57.
6. Petrov A.N., Komarov A.V. (2020) Assessment of the technology readiness level of tender applications using the TPRL methodology // The Economics of Science. Vol. 6. № 1–2. P. 88–99.
7. Komarov A.V., Sleptsova M.A., Chechetkin E.V., Komarov K.A. (2020) Specialized tools for assessing the cooperation of a team of a scientific and technical project // The Economics of Science. Vol. 6. № 1–2. P. 75–87.
8. Komarov A.V., Slepcova M.A., Chechetkin E.V., Shurtakov K.V., Tret'jakova M.V. (2017) Performance evaluation of the scientific-technical project's executive team // The Economics of Science. Vol. 3. № 4. P. 250–61.
9. Jebel V.V., Komarov A.V., Komarov K.A., Shurtakov K.V. (2018) A software tool for a comprehensive assessment of technological readiness of innovative scientific and technological projects // The Economics of Science. Vol. 4. № 1. P. 58–68.
10. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 29.12.2017 № 2128-st (2017) GOST R58048–2017. Technology transfer. Guidelines for assessing the maturity level of technology / Tekhekspert. <http://docs.cntd.ru/document/1200158331>.

UDC 338.28

Komarov A.V., Shurtakov K.V., Chechetkin E.V., Komarov K.A., Sleptsova M.A., Grishina M.S., Mironova Y.S. *Practical application of the methodology for the comprehensive assessment of scientific and technological projects using the example of the evaluation of the federal target programs «Research and development in priority areas for the development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020»* (Directorate of State Scientific and Technical Programmes, Presnensky Val Street, 19, building 1, Moscow, Russia, 123557)

Abstract. The article provides examples of the practical application of the methodology for the integrated assessment of scientific and technical projects to assess the results of completed projects, as well as to assess the level of technological development of projects carried out according to the program activities of the federal target program “Research and development in priority areas of the Russian scientific and technological complex for 2014–2020 years”. A methodology for the comprehensive assessment of scientific and technical projects and integrated project portfolios, including integrated innovative development programs as part of various programs to support scientific and technical activities. The developed special tools, algorithms and integrated assessment algorithms make it possible to determine the level of project requirements, for example, TRL, as well as assess the level of the project team and its complexity. ongoing project. The use of special tools in the management bodies of innovation development institutions will increase the effectiveness of ongoing support programs.

Keywords: scientific and technological project, competition, R&D, model, technology readiness level, TPRL, TRL, assessment.

А.В. САРТОРИ,

к.ф.-м.н., советник АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, sartoriandrey@gmail.com

А.Р. ГАРЕЕВ,

директор Центра управления технологическим развитием НТИ АО «РВК», г. Москва, Россия, Gareev.AR@rvc.ru

Н.А. ИЛЬИНА,

к.т.н., директор по управлению научно-техническими программами и проектами – директор Департамента научно-технических программ и проектов Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», NAllyina@rosatom.ru

Н.М. МАНЦЕВИЧ,

д.т.н., руководитель направления АО «Наука и инновации», г. Москва, Россия, nmman1@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДА УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В БЕРЕЖЛИВОМ НИОКР

УДК 338.28

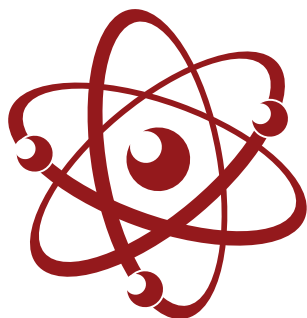
Сартори А.В., Гареев А.Р., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. *Применение подхода уровней готовности для различных предметных направлений в бережливом НИОКР* (АО «Наука и инновации», Старомонетный переулок, д. 26, г. Москва, Россия, 119180; Российская венчурная компания, ул. Нобеля, д. 1, г. Москва, Россия, 121205; Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», ул. Большая Ордынка, д. 24, г. Москва, Россия, 119017)

Аннотация. Предложено дальнейшее развитие методологии TPRL как инструмента коммерциализации инноваций. Представлены формулировки метрик уровней готовности для бережливого НИОКР. Показана целесообразность декомпозиции описания уровней готовности на предметный и проектный уровни для различных технологических/предметных направлений, а также для сложных систем. Предложены формулировки начальных уровней шкалы научной готовности SciRL для использования в исследованиях по получению новых знаний.

Ключевые слова: инновационный проект, бережливый НИОКР, коммерциализация, уровни готовности TPRL/ПИНГ, научная готовность SciRL, оценка уровня готовности проекта ОУП/TRA.

DOI 10.22394/2410-132X-2020-6-1-2-118-134

Цитирование публикации: Сартори А.В., Гареев А.Р., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2020) Применение подхода уровней готовности для различных предметных направлений в бережливом НИОКР // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 118–134.



© А.В. Сартори, А.Р. Гареев,
Н.А. Ильина, Н.М. Манцевич,
2020 г.

*Бессмысленно продолжать делать
то же самое и ждать других результатов
А. Эйнштейн*

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК – ТРЕНД РАЗВИТИЯ

Значимым трендом последних лет формирования научных программ и проектов в стране, определяющим экономическое развитие общества в рыночных условиях и вхождение в первую пятерку мировых экономик, является требование коммерциализации результатов исследований и разработок научных организаций, вузов, компаний и корпораций. Запрос на эффективные

инструменты коммерциализации результатов научных разработок содержится в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Целевые показатели Национального проекта «Наука» предусматривают опережающий темп роста внутренних затрат на исследования и разработки за счет всех источников к темпу роста валового внутреннего продукта.

Конкуренция на современных рынках предполагает использование передовых технологических решений в производстве, ориентированных в том числе на новые глобальные рынки. Процесс коммерциализации результатов исследований и разработок (далее НИОКР) в рамках механизмов государственной поддержки научно-исследовательской деятельности как правило связывают напрямую с промышленными партнерами, не рассматривая потенциал открытого рынка. Такой подход сужает перспективы коммерциализации, ограничивает возможности получения финансового результата, превосходящего необходимые затраты на весь жизненный цикл продукта, в том числе его разработку, производство, сервисное обслуживание.

Вопрос выстраивания взаимодействия между научными организациями, вузами, коммерческими компаниями и потребителями является одним из важнейших, дискуссия по путям решения которого ведется в обществе постоянно на протяжении многих лет. Как организовать экономически эффективную кооперацию между учеными, предпринимателями, индустрией и финансовыми институтами (в том числе венчурными фондами)? Ответ на этот вопрос зависит от многих факторов, некоторые существенные из которых обсуждаются в данной статье.

Ограничение доли государственного финансирования на исследования и разработки отмечается как тенденция экономик ряда развитых стран, для преодоления которой требуются контрмеры, пока сложно решаемые в рамках устоявшихся административных шаблонов управления. Современная российская практика выделения государственных субсидий на выполнение НИОКР предполагает в большинстве случаев наличие софинансирования индустриальных партнеров, что по идее должно поддерживать интерес к внедрению разработок

и коммерциализации их результатов, и соответствующую этому этапу инвестиционную активность. Однако на практике мотивация индустриальных партнеров оказывается недостаточной для их активного вовлечения в процесс инноваций. Нетехнологические риски, присущие по природе разработке любого инновационного продукта, не определены как по величине, так и по составу, непонятны менеджерам из индустрии, особенно на ранних уровнях готовности TRL2–5. Как при строительстве Вавилонской башни, участники процесса коммерциализации часто разговаривают на разных языках.

Можно назвать следующие вызовы развития научно-производственной кооперации:

- несоответствие гибкости системы принятия решений по определению ключевых направлений научно-исследовательской деятельности динамике технологического развития в приоритетных областях;

- высокие транзакционные издержки взаимодействия организаций реального сектора экономики с вузами и научными организациями, связанные, в том числе, с недостаточным уровнем проработанности соответствующих бизнес-процессов, а также с административными издержками использования результатов интеллектуальной деятельности, в том числе, созданных за счет бюджетных средств;

- отсутствие проработанных бизнес-моделей деятельности вузов и научных организаций, охватывающих несколько уровней технологической готовности разработок и позволяющих систематизировать научно-исследовательскую деятельность в формате управления портфелем проектов.

Сам термин «коммерциализация» как по целям, так и по месту в бизнес-процессе трактуется участниками процесса по-разному. Следствием является сниженная мотивация и устойчивое нежелание разработчиков брать на себя ответственность за создание инновационных продуктов, рассматривая коммерциализацию как задачу коммерческих подразделений (в случае внутренних разработок) или коммерческих компаний.

Существующая в стране практика реализации инноваций по отношению к первоначальным идеям, как ранее отмечалось в [1],

показывает результативность на уровне начальных процентов. При этом статистика по IT-стартапам демонстрирует вероятность коммерциализации на порядок выше, чем для hardware-стартапов. Такая статистика подтверждается практикой работы промышленных акселераторов, например приводимых далее.

На *рисунке 1* приводятся подтверждающие общую статистику данные АО «Кировский завод», на базе которого успешно работает акселератор технологических проектов российских предприятий. Данные представлены на отраслевой конференции «Управление инновациями Росатома» в октябре 2019 г. [2]. Выход успешных пилотных проектов составляет 6 из 150 идей, попадающих в воронку интересов этого акселератора.

Аналогичную актуальную статистику приводит PwC Russia Accelerator по Программе ускоренного роста для стартапов с глобальными амбициями (в основном по IT-тематике): по результатам первого набора из 250 заявок – 14 выпускников и только 3 завершённых пилота [3].

Почему так происходит? Почему доля разработок, которые приводят к появлению коммерциализуемых инновационных продуктов, столь невелика?

Исходя из нашей практики, при традиционном подходе к управлению НИОКР могут быть отмечены следующие основные причины:

- а. низкая осведомленность о запросах рынка и присутствии конкурентных решений;
- б. переоценка готовности результатов к коммерциализации/недооценка рисков проекта;
- с. отсутствие ясных количественных критериев достигнутых результатов;
- д. неэффективное планирование: постановка нереальных целей, неверная оценка необходимых ресурсов;
- е. отсутствие стратегии обращения с IP;
- ф. разная терминология разработчиков и потребителей: нет понимания уровня готовности разработки к внедрению;
- г. отсутствие критериев необходимых компетенций проектной группы и часто понимания самих компетенций для достижения результатов в режиме «бережливый НИОКР».

В целом существенная часть проблемы заключается в том, что разработчики часто слабо представляют себе какие проблемы потенциальных потребителей разработки они решают, и какие ключевые преимущества имеет разработка по сравнению с уже существующими на



* Примечание: рисунок цитируется по презентации О. Бочарева на отраслевой конференции «Управление инновациями Росатома» 17 октября 2019 г. [2]

Рисунок 1. Воронка промышленного акселератора АО «Кировский завод»

рынке решениями, а часто даже и не задумываются о внедрении результатов, ограничиваясь содержанием научно-технического описания результата в форме традиционного отчета.

Эффективным средством преодоления негатива явилось создание концепции оценки потенциала коммерциализации результатов НИОКР в научных организациях и вузах, конкретизация состава работ с оценкой рисков и бизнес-процесса коммерциализации результатов исследований [1]. Этой работе предшествовало создание единой метрики измерения рисков TPRL/ПИНГ [4] (Technology Project Readiness Level, что в русском переводе можно представить термином «Параметры инновационной готовности», далее сокращенно – ПИНГ). Если сегодня в практике российских ученых критерий технологической готовности результата TRL начинает использоваться все с большей уверенностью, то применение полного спектра параметров TPRL/ПИНГ находится только в начале пути.

Важнейшим фактором успеха проекта является наличие компетенций команды технологического проекта по всему спектру параметров TPRL/ПИНГ [4–5], достаточных для достижения очередного уровня готовности. Наличие компетенций по производственной MRL, рыночной CRL, организационной ORL готовности, конкурентным преимуществам и нетехнологическим рискам BRL, а также инженерной готовности ERL может быть сформировано заранее, если развитие проекта идет по принципам TPRL/ПИНГ. Целесообразно и возможно набирать недостающие компетенции в том числе за счет привлечения партнеров, дополняющих пул собственных компетенций команды проекта, особенно в случае междисциплинарного содержания инновационной разработки [6].

Термин «коммерциализация результатов НИОКР/инновационного проекта» в работе [1] определен следующим образом – это «разработка и систематическая реализация владельцем прав востребованного рынком продукта, выручка от производства и реализации которого существенно превышает затраты на весь жизненный цикл, включая затраты, понесенные на этапе НИОКР». Такое определение вполне совпадает с ожиданиями индустрии от внедрения инновационных продуктов, а именно

обеспечением значимого экономического эффекта от инновации. Термин «инновационный проект» определен как «совокупность процессов по коммерциализации результатов НИОКР».

Однако практика показала, что постановка задачи коммерциализации как цели инновационной разработки, требует существенной трансформации традиционного процесса управления НИОКР. С этой целью в работе [5] было предложен подход, сфокусированный на существенном повышении выхода коммерциализуемых результатов НИОКР. Этот подход получил название «бережливый НИОКР» и определен как комплекс процессов, обеспечивающий кратчайший путь к коммерциализации для выбранных проектов, включающий в общих чертах следующее:

1) Активное управление выполнением НИОКР путем поэтапной оценки рисков и ресурсов для их преодоления (формулировка ценностного предложения, гибкое детальное планирование с фокусом на результат с использованием адаптированных формализованных параметров инновационной готовности, объективный цифровой контроль на коротких промежутках времени, отбор конкурентоспособных гипотез путем анализа ценностного предложения, мотивация команды проекта, реализация стратегии интеллектуальной собственности), приводящее к получению коммерциализуемого результата при сокращении сроков и требуемых ресурсов проекта.

2) Равномерное (равнорисковое) развитие проекта по всем применимым параметрам инновационной готовности (TPRL/ПИНГ).

3) Поэтапное подтверждение востребованности результата рынком, адаптация облика продукта и технологии его производства под запросы рынка, обеспечивающая его последующее внедрение и коммерциализацию.

Реализация такого подхода соответствует концепции вектора коммерциализации НИОКР [1], позволяющей выстраивать оптимальную целевую траекторию развития инновационного проекта.

Важнейшим обстоятельством в реализации бережливого НИОКР является формальная детализация бизнес-процессов, позволяющая поэтапно в единых критериях для всех участников

инновационного процесса оценивать риски и гибко адаптировать процесс разработки продукта к запросам рынка в случае подтверждения конкурентоспособности ценностного предложения и целесообразности затрат на его коммерциализацию. Тем самым выстраивая необходимую связку результата с предпринимателями, индустрией и финансовыми институтами.

ВЕРИФИКАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДХОДА «БЕРЕЖЛИВЫЙ НИОКР»

Верификация эффективности подхода «бережливый НИОКР» с применением методологии TPRL/ПИИГ проводится на представительном портфеле проектов в различных предметных областях от идеи до коммерциализации, при условии, что разработчики владеют в полной мере методикой бережливого НИОКР. С учетом этого при значении средней динамики развития проектов один уровень TRL в год (см. рисунки 3б, 4б), процесс верификации может составить более десятка лет.

Очевидно, что откладывать внедрение бережливого НИОКРа до окончания полной верификации нецелесообразно. Можно и нужно начинать верификацию с экспресс-методов определения эффективности.

С этой целью проведена первая фаза верификации с наиболее привычных и зарекомендовавших себя на практике параметров TRL и CRL. Остальные параметры (MRL, ERL, ORL, BRL) применяются для формирования технических заданий исследований и разработок, результаты по которым будут проанализированы до конца 2020 г.

Эффективность применения подхода «бережливый НИОКР» подтверждена следующими практическими результатами:

1. Применение оценки уровня готовности технологий при разработке стратегий центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций, финансируемых в рамках национального проекта «Наука» (далее – Центры компетенций НТИ), позволило сформировать типовые модели коммерциализации результатов исследовательской деятельности, а также выявить ранее неучтенные

риски и барьеры развития Центров компетенций НТИ, препятствующие внедрению результатов научно-исследовательских проектов. Выявленные в ходе экспертного обсуждения в рамках разработки стратегий риски совпали с рисками, отработке которых посвящена группа параметров TPRL/ПИИГ (TRL, ORL, BRL, CRL).

2. Проведена и верифицирована на практике адаптация метрик технологической готовности к различным технологическим/предметным направлениям.

3. Проведена оценка отношения числа НИОКР, проводимых с применением подхода «бережливый НИОКР», к общему числу проектов, по которым при оценке результатов текущих этапов принято решение о продолжении финансирования. Существенно более высокий процент поддержанных заказчиками работ в первом случае свидетельствует об эффективности подхода.

РОЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ В КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТОК ЦЕНТРОВ КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ

Действующим положительным примером использования подхода уровней готовности при выполнении научных проектов, ориентированных на разработку новых продуктов и научно-технических услуг, является практика Центров компетенций НТИ. Центры представляют собой инженерно-образовательные консорциумы на базе российских университетов и научных организаций, осуществляющее комплексное развитие «сквозных» технологий Национальной технологической инициативы совместно с членами консорциума на основании договора о формировании консорциума. Государственная поддержка Центров компетенций НТИ осуществляется по линии Минобрнауки России в рамках реализации Национального проекта «Наука» в форме грантового софинансирования программ развития центров в течение не более пяти лет. Сопровождение и мониторинг деятельности осуществляет Российская венчурная компания – государственный институт развития, наделенный функциями проектного офиса НТИ.

Ключевыми задачами Центров компетенций НТИ являются:

- трансляция результатов фундаментальной науки в инженерные приложения;
- технологический трансфер через кооперацию с индустриальными партнерами;
- подготовка лидеров разработки новых технологий через реализацию образовательных программ.

По итогам мониторинга результатов первого года деятельности Центров компетенций НТИ была поставлена задача разработать стратегии развития, включающие, в том числе, подходы к обеспечению деятельности после окончания государственной поддержки. Опыт экспертно-методической поддержки коммерциализации разработок центров в 2019 г. (15 проектов от TRL-2 до TRL-9) показал следующее:

- коммерческие компании заинтересованы в проектах TRL6+, при этом компании готовы передавать внешним исполнителям (в том числе университетам и научным организациям) актуальные задачи, но предъявляют высокие требования к качеству администрирования проектов (как в части выполнения научно-исследовательских задач, так и в части коммерциализации);
- венчурные фонды рассматривают в качестве объекта инвестирования не только сам проект, сколько команду проекта, поэтому предъявляют требования к наличию в команде проекта носителей предпринимательских компетенций;
- при продвижении проектов на международном уровне необходимо наличие и надлежащая защита интеллектуальной собственности.

При разработке стратегий Центров компетенций НТИ, в целях обеспечения их стабильного дохода как минимум на горизонте трех лет после завершения государственной поддержки, в методических рекомендациях по разработке стратегии каждого центра было предложено описать текущий и целевой портфель проектов,

сгруппированный по уровням технологической готовности, а также определить модель коммерциализации. Были рекомендованы четыре типовые модели («исследовательский центр», «инжиниринговый центр», «центр трансфера технологий», «бизнес-инкубатор»), при этом часть центров выбрали оригинальные модели коммерциализации («методический центр», «образовательный центр», «держатель платформенного решения»).

Применение инструментария методологии TPRL/ПИНГ при разработке стратегий развития Центров компетенций НТИ позволяет обеспечить эффективное планирование исследовательской деятельности и сформировать корректную траекторию получения результата, а также оценить возможности коммерциализации, обеспечивающей существование и развитие центра после завершения этапа бюджетного субсидирования.

В стратегии развития ЦК НТИ проводится оценка результатов отдельных проектов по уровню технологической готовности, что при правильном планировании позволяет сформировать корректную траекторию получения результата и оценить возможности коммерциализации, обеспечивающей существование и развитие центра после прекращения бюджетного субсидирования. Однако при этом необходимо учитывать, что общие (верхнего уровня) формулировки параметра TRL не смогут эффективно применяться для различных продуктов и технологий. Требуется не только адаптация формулировок уровней готовности к технологическим/предметным направлениям, в рамках которых создаются инновационные продукты, но и детальное описание шагов, определяющих ход разработки и подтверждающих достижение конкретного уровня, что является существенным инструментом администрирования хода реализации проекта. При этом уже сегодня можно с уверенностью отметить, что использование на практике только единственного параметра TRL является точно недостаточным, поскольку требуется сбалансированное управление развитием проекта и его рисками в целом в рамках концепции вектора коммерциализации НИОКР [1, 4].

РАЗВИТИЕ ПОДХОДА TPRL/ПИНГ В ПРАКТИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

Что дает наличие цифровой линейки уровней готовности для оценки этапов развития инновационного проекта, создания нового продукта и вывода его на рынок? В первую очередь понимание слабых участков, выгод и рисков разработки, на которых нужно сосредоточиться, а также требуемых компетенций команды проекта.

Ранее в [1] мы уже определили общие верхнего уровня формулировки уровней готовности для двух параметров TRL и CRL применительно к результатам исследований и разработок (НИОКР). Эти определения явились сущностным развитием формулировок уровней готовности параметров, предложенных в упрощенном виде в определившей основные положения концепции TPRL/ПИНГ работе [4].

Практика авторов в применении методологии TPRL/ПИНГ для оценки уровней готовности инновационных проектов показывает смысловое структурирование шести параметров по следующим блокам.

Блок технологических параметров

— включает метрики готовности, в том числе шаги в пределах уровней готовности:

- технологической TRL,
- производственной MRL (готовность производства и себестоимость),
- инженерной ERL (интеграция в финальный продукт/систему).

Блок вопросов, включенных в параметр организационной готовности ORL

— включает метрику готовности ORL, в том числе обоснование возможности команды разработчиков довести решение до коммерциализации; разработку модели организации бизнеса, наличие/приобретение необходимых и достаточных компетенций, организацию процесса финансирования, мотивацию, формирование компании, состав и заключение соглашений между учредителями, выбор формы управления компанией; стратегическое планирование и оперативное управление проектом, ресурсы, инфраструктуру, бюджеты.

Блок вопросов, включенных в параметр преимуществ, рисков и интеллектуальной собственности BRL

— включает метрику готовности BRL, в том числе пошаговую формулировку критических преимуществ, идентификацию рисков (переоценка критических преимуществ, технологических, производственных, интеграционных, конкурентных, нормативных, правовых, экологических, организационных, экономических, рисков отсутствия и/или утраты компетенций команды) и реализацию компенсирующих мероприятий, разработку стратегии защиты интеллектуальной собственности и ее пошаговую реализацию.

Блок вопросов, включенных в параметр рыночной готовности CRL

— включает метрику готовности CRL, в том числе формирование ценностного предложения на основе сопоставления конкурентных и эквивалентных технологий с критическими преимуществами, численные характеристики эффективности решения нерешенных задач потребителя, мониторинг активности конкурентов, пошаговую идентификацию потребительских секторов и их объема, обоснование финансирования, оценку границы/корректировку себестоимости производства продукта на разных стадиях TRL, выстраивание каналов коммуникации с потенциальными пользователями, партнёрами, инвесторами; ценообразование и ценовая политика, выбор каналов продвижения и продаж; эволюция каналов взаимодействия с потребителями/рынком, дальнейшая поддержка продукта по жизненному циклу.

Изложенный выше подход в значительной степени оспаривает часто звучащий тезис об отсутствии методики системного рассмотрения жизненного цикла и выведения разработки технически сложного продукта на рынок. Такая методика не только существует, но и уже активно используется на практике.

Направление детализации метрик готовности, изложенное как идея в [4], трансформируется в декомпозицию описания верхних уровней на шаги — результаты реальных действий, из которых состоит процесс разработки продукта или инновационного проекта с учетом специфики его создания и вывода на рынок. При этом необходима адаптация описания уровней

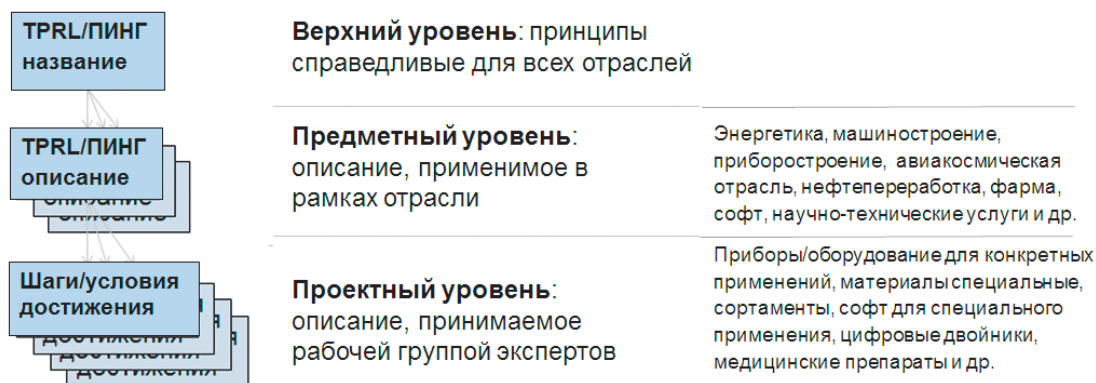


Рисунок 2. Декомпозиция описания уровней готовности

готовности для технологических/предметных направлений конкретной отрасли при сохранении формулировок параметров верхнего уровня (рисунок 2).

Определения уровней готовности параметров MRL, ORL и BRL, сформулированные на основе практики авторов, приведены ниже. Тем самым мы фактически дополняем описание верхнего уровня всех параметров TPRL/ПИНГ, начатое в [1] для TRL и CRL, которое при практическом использовании подтвердило актуальность и применимость для российской практики. Описание параметра инженерной готовности ERL, тесно связанного с параметром интеграции IRL, в статье не приводится, поскольку является предметом самостоятельного обсуждения.

Метрика параметра MRL

MRL1 Сделаны выводы относительно основных производственных потребностей.

MRL2 Определена концепция производства.

MRL3 Подтверждена производственная концепция.

MRL4 Достигнута возможность изготовления технических средств в лабораторных условиях.

MRL5 Достигнута возможность изготовления прототипов компонентов систем в соответствующих производственных условиях.

MRL6 Достигнута возможность изготовления прототипов систем и подсистем при наличии готовых элементов основного производства.

MRL7 Достигнута возможность изготовления систем, подсистем или их компонентов в условиях, близких к реальным, завершены конструктивные расчеты.

MRL8 Испытана пилотная производственная линия, достигнута готовность к началу мелко-серийного производства.

MRL9 Успешно продемонстрирована возможность мелкосерийного производства, подготовлена база для полномасштабного производства.

MRL10 Налажено полномасштабное производство (в том числе, с участием субподрядчиков в случае необходимости).

Метрика параметра ORL

ORL1 Определена необходимость и достаточность ресурсов и компетенций для начала проекта, подготовлен план верхнего уровня до TRL3, включая бюджет, принято решение о старте проекта.

ORL2 Определен бизнес-процесс разработки (участники/роли), определены партнеры, зафиксированы договоренности, включая принцип распределения доходов от коммерциализации интеллектуальной собственности (далее – ИС), команда укомплектована до TRL4.

ORL3 Валидировано текущее ценностное предложение, определены каналы получения обратной связи от потенциальных пользователей, налажено планирование и оперативное управление, определены базовые условия сотрудничества с партнерами.

ORL4 Согласованы базовые условия сотрудничества с партнерами, уточнен финансовый план и план разработки, подтверждено финансирование до уровня TRL6, команда укомплектована для уровня TRL6.

ORL5 Выбраны поставщики, подготовлены ТЭО, планы и бюджеты до уровня TRL9.

ORL6 Подготовлен план вывода продукта на производство. Заключены все необходимые соглашения по созданию опытного производства и пробных поставок Продукта конечным заказчиком. Команда доукомплектована для начала коммерциализации.

ORL7 Налажена система контроля качества производства. Разработаны регламенты служб продаж и поддержки конечных клиентов.

ORL8 Организовано промышленное производство на уровне MRL8–9, система продаж, сервиса.

ORL9 Организовано промышленное производство на уровне MRL10, система продаж, сервиса.

Метрика параметра BRL

BRL1 Проведена первоначальная оценка преимуществ и рисков.

BRL2 Проведен предварительный патентный анализ, анализ рисков, влияющих на успешное завершение проекта.

BRL3 Разработаны проекты и предложения по стратегии защиты ИС, плану снижения рисков.

BRL4 Разработана стратегия защиты ИС, поданы заявки, проведен анализ принятых мер по снижению рисков.

BRL5 Зафиксирована стратегия защиты ИС, план снижения рисков.

BRL6 Сформулированы критические преимущества, поданы заявки на патенты РСТ, технические риски сняты.

BRL7 Подписаны лицензионные договоры. Обеспечена защита от претензий третьих сторон.

BRL8 Подписаны соглашения с партнерами.

BRL9 Мониторинг конкурентов, развитие продукта.

Приведем также несколько конкретных примеров декомпозиции на шаги для различных предметных направлений в соответствии с подходом, представленным на *рисунке 2*. Возможно ниже представленные примеры могут показаться читателю чрезмерными для формата статьи, но они принципиально важны для понимания предлагаемого подхода и демонстрации его возможностей.

Метрика TRL для предметного направления «Приборы, установки, технологии, технологические системы»

Уровень TRL3. Изготовлен макет и продемонстрированы его ключевые характеристики.

Шаги уровня

T3.1. Эскизная конструкторская документация на макет.

T3.2. Изготовлен макет, подготовлена программа и методика испытания макета.

T3.3. Продemonстрированы ключевые характеристики макета.

T3.4. Анализ результатов испытаний макета.

T3.5. Отчет о патентных исследованиях, публикации.

T3.6. Отчет о научно-исследовательской работе (НИР).

T3.7. Презентация в формате инновационного проекта.

Метрика TRL для предметного направления «Новые материалы»

Уровень TRL 3. Изготовлен макет и продемонстрированы его ключевые характеристики.

Шаги уровня

T3.1. Образцы материалов-кандидатов изготовлены на лабораторном оборудовании с учетом особенностей и ограничений технологии массового производства.

T3.2. Образцы протестированы по стандартной методике, на эксперименте подтверждены прогнозные данные по основным характеристикам (механические характеристики, технологичность, пр.).

T3.3. По результатам выбраны материалы для продолжения работ на уровне TRL4.

Как видим из приведенных примеров, для разных продуктов описание шагов и условия достижения одинакового уровня одного и того же параметра технологической готовности существенно отличаются при сохранении существа метрики для TRL3. Далее приведем примеры описания того же третьего уровня готовности для параметров MRL, CRL и BRL в части детализации шагов и условий достижения.

Метрика MRL «Производственная готовность»

Уровень MRL3. Подтверждена производственная концепция.

Шаги уровня

М3.1. Технологии доведены до уровня не ниже уровня TRL3.

М3.2. Проведена проверка производственных концепций с помощью аналитических, расчетных или лабораторных экспериментов.

М3.3. Материалы и процессы предварительно охарактеризованы с точки зрения технологичности и доступности (требуется уточненная характеристика на следующих уровнях готовности).

М3.4. Макеты продукта разработаны и изготовлены в лабораторных условиях на доступном оборудовании (макеты могут обладать ограниченными функциональными возможностями и не быть интегрированными в единой конструкции).

М3.5. Идентифицированы критические производственные переделы/процессы.

М3.6. Определены потенциальные источники материалов и компонентов с учетом логистики.

М3.7. Разработана предварительная модель стоимости для критических процессов.

Метрика CRL «Рыночная готовность»

Уровень CRL3. Проведены конкурентный анализ, анализ поставщиков, уточнены характеристики продукта, способы монетизации (анализ рынка опирается на собственные «полевые» исследования и включает прогнозирование будущих потребностей).

Шаги уровня

К3.1. Проведены конкурентный анализ по прямым аналогам и эквивалентным продуктам, анализ поставщиков компонентов/материалов, уточнены ключевые характеристики продукта, сформирована гипотеза о способах монетизации.

К3.2. На основе достигнутого уровня TRL3 по ключевым характеристикам уточнен анализ и проведен выбор наиболее привлекательных для потенциальных заказчиков технико-экономических параметров. При этом отдельно могут быть рассмотрены разные варианты продукта.

К3.3. Сформулированы количественные экономические преимущества для потребителя.

К3.4. Проведены мероприятия по отработке отзывов ограниченного числа потребителей (customer development).

К3.5. Уточнена ниша продукта и доля рынка по сегментам, включая глобальный рынок. Оценен доступный объем рынка SAM (Serviceable Available Market) – клиентский сегмент или объем рынка, в рамках которого потребитель готов купить продукты или услуги такие же, как разрабатываемый продукт.

К3.6. Проведено сопоставление выбранных для маркетинга вариантов продукта с параметрами предложений основных конкурентов, выявлены конкурентные преимущества и недостатки. Определены способы смягчения или устранения выявленных конкурентных недостатков.

К3.7. Сформулированы цели разработки/доработки продукта. Определены направления исследований и разработок по техническому развитию и совершенствованию продукта.

К3.8. Проведена проверка патентной чистоты выбранного оптимального варианта продукта, по результатам которой установлено, что риск нарушения прав правообладателей минимален и приемлем, либо проработаны механизмы снижения этого риска до приемлемого значения (приобретение лицензий, вступление в альянсы с правообладателями и т.д.). Разработана стратегия защиты прав на интеллектуальную собственность.

К3.9. Оценена численно совокупная стоимость владения продуктом.

К3.10. Проработана концептуальная бизнес-модель поддержки жизненного цикла продукта, в том числе производство, продвижение, продажи, послепродажный сервис, утилизация.

К3.11. Определены компании/организации, не заинтересованные на данный момент в продукте, сформулированы и проанализированы причины отсутствия интереса, проработаны способы дополнительной мотивации. При необходимости скорректирована программа разработки продукта.

К3.12. Доказательная база подтверждения концепции продукта (TRL3) позволяет принять на себя риски, включая репутационные, перехода на уровне CRL4 к переговорам

с потенциальными заказчиками по технико-экономическим характеристикам и ключевым коммерческим условиям возможной поставки продукта (как минимум, индикаторы ключевых характеристик, сроки готовности, объёмы, ограничения по цене).

К3.13. Оптимальность выбранных по результатам внутреннего анализа вариантов и технических параметров продукта подтверждена со стороны ограниченного числа конкретных потенциальных заказчиков.

К3.14. Проанализированы аргументы «за» и «против» продолжения проекта. Принято решение о переходе на уровень TRL4.

Метрика BRL «Преимущества и риски»

Уровень BRL3. Разработаны проекты и предложения по стратегии защиты ИС, плану снижения рисков.

Шаги уровня сгруппированы в три подраздела и 15 шагов.

Критические технологические преимущества

В3.1. По итогам выполнения уровня В2, с учетом масштаба технологических преимуществ ожидаемого результата проекта и патентных ограничений, выбраны наиболее перспективные применения технологии.

В3.2. Уточнены целевые технические параметры, сформулированы требования к результатам подтверждения концепции на уровне TRL3.

Риски

В3.4. На основе уровня В2 актуализированы основные риски выполнения проекта.

В3.5. Разработан план работ по выявлению конкурирующих технологий/продуктов на момент выхода продукта на рынок.

В3.6. Разработаны мероприятия по изменению вероятности и степени влияния наиболее значимых рисков. Подготовлен проект плана снижения выявленных рисков.

В3.7. Учтены результаты разработки упреждающих мероприятий по реагированию на риски в связанных с ними планах.

В3.8. Приняты меры по предотвращению утечки интеллектуальной собственности в организации разработчика.

В3.9. Определены требования регуляторов, необходимые для получения разрешения.

В3.10. План проекта согласован всеми вовлеченными лицами, принимающими решения: соисполнителями, администрацией, заказчиками/потребителями.

Интеллектуальная собственность

В3.11. Проведена актуализация поискового запроса. Патентный поиск выявил новизну, актуальность, практическую значимость, патентуемость, наличие и характеристики эквивалентных решений.

В3.12. Уточнена патентная формула по результатам уровня В2. Определены независимые пункты формулы изобретения.

В3.13. Определена принадлежность предшествующей и вновь созданной ИС. Определены условия ее использования.

В3.14. Проведена проверка патентной чистоты выбранного оптимального варианта продукта. Разработана стратегия защиты прав на интеллектуальную собственность.

В3.15. Принят план охраны коммерческой информации.

Различное количество шагов параметров одинакового уровня готовности (в приведенных примерах третьего уровня готовности) определяются содержанием параметров готовности. Из приведенных примеров видно, что различные параметры не существуют отдельно друг от друга, а тесно взаимосвязаны, что позволяет согласованно рассматривать риски инновационного проекта и пути их преодоления.

Несмотря на комплексный многофакторный характер подхода TPRL/ПИНГ, ведущим параметром в технологическом инновационном проекте является уровень готовности TRL, детально разработанный сегодня для приборов/установок/технологических систем, новых материалов, IT-продуктов, цифровых двойников, биоактивных добавок, био-фармакологических препаратов и некоторых других предметных направлений. На рисунках 3–5 показаны примеры анализа уровня готовности TRL для отраслевого портфеля проектов НИОКР, в том числе с разделением на технологические/предметные направления (рисунки 4–5).

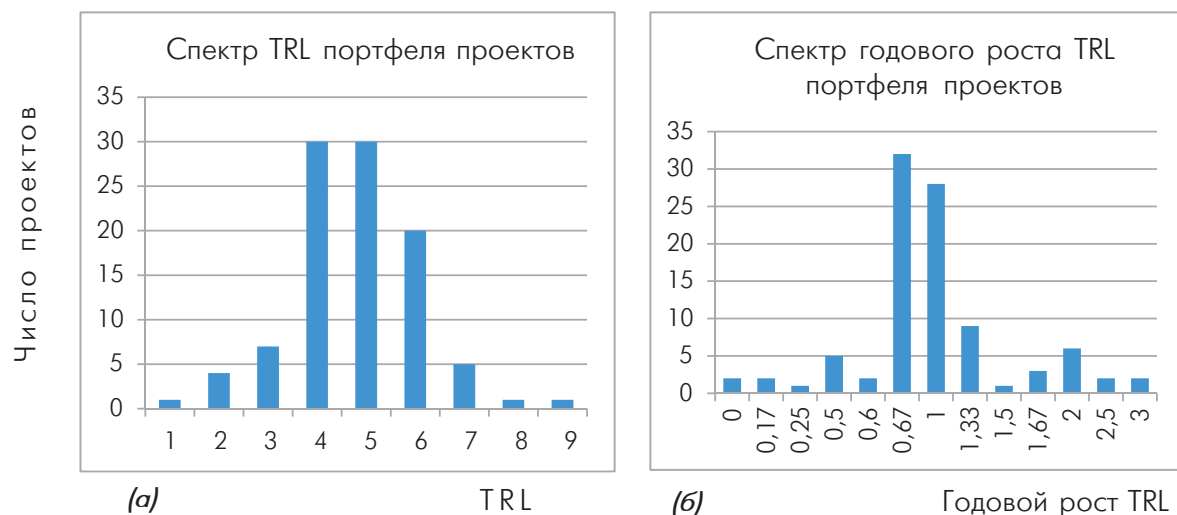


Рисунок 3. Спектры конечных уровней готовности результатов проектов НИОКР (а) и среднего ежегодного роста TRL (б) для портфеля проектов по десяти предметным направлениям

Основная часть разработок портфеля (рисунок 3а) ориентирована на достижение результата с TRL 4–6, что определяет его прикладную направленность. Анализ годового роста TRL в целом по портфелю проектов (рисунок 3б) находится в диапазонах 0,7–1,3 (70% проектов) и 1,5–2,0 (10% проектов), что является для отрасли хорошим показателем на уровне требований Минобрнауки России к научно-исследовательским проектам федеральных целевых программ, с учетом специфики отраслевых разработок с высокой продолжительностью жизненного

цикла создаваемых продуктов. Темпы получения результатов и начальный уровень технологической готовности определяют сроки готовности продуктов к внедрению и выводу на рынок.

Детализация данных рисунка 3 по отдельным предметным направлениям приведена на рисунках 4 и 5. Спектры несколько отличаются как от общего по портфелю проектов, так и друг от друга. Это связано как с особенностями продуктов разработки, так и конкретными решаемыми задачами в рамках коммерциализации разработок по секторам рынка.

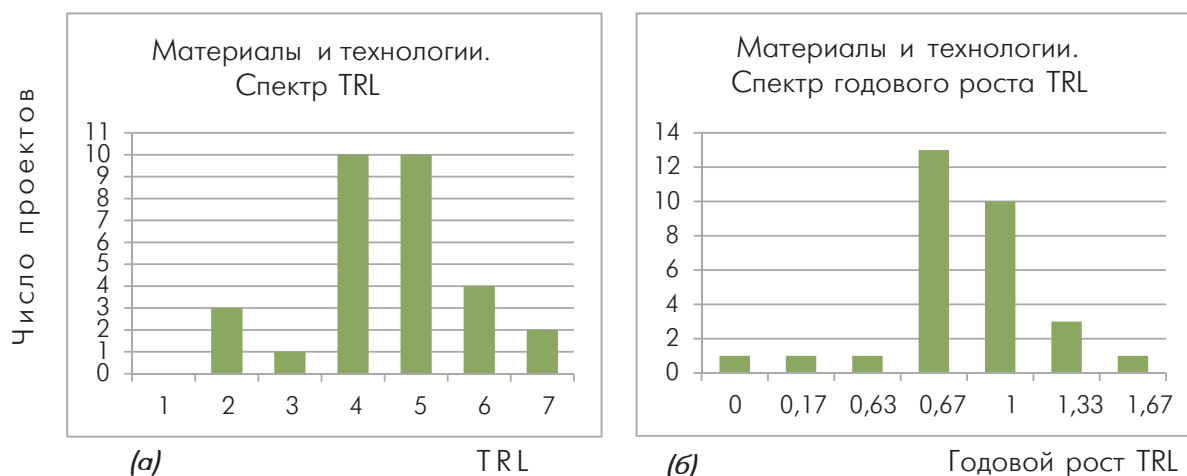


Рисунок 4. Спектры конечных уровней готовности результатов проектов НИОКР (а) и среднего ежегодного роста TRL (б) для проектов по направлению «Материалы и технологии»

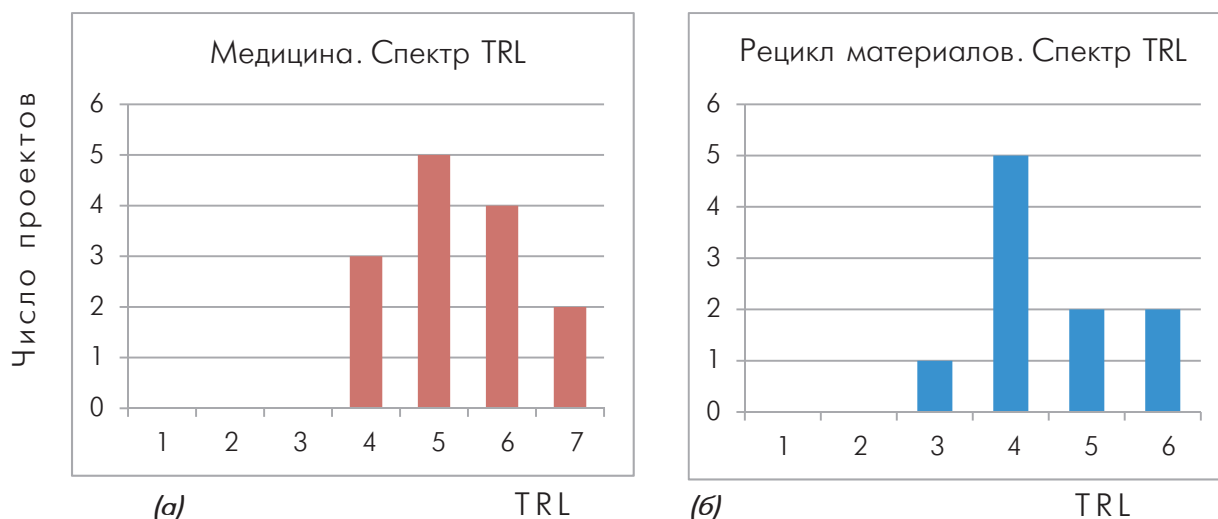


Рисунок 5. Спектры конечных уровней готовности TRL результатов проектов НИОКР для проектов по направлениям «Медицина» (а) и «Рецикл материалов» (б)

Анализ годового роста TRL для проектов по разработке материалов и технологий их получения (рисунок 4б) находится в диапазоне 0,7–1,0 (75% проектов), что позволяет при наличии научного задела достигнуть уровень использования материала в изделии-демонстраторе в течение трех-четырех лет для основного количества результатов, приведенных на рисунке 4а.

Приведенный на рисунках 4 и 5 анализ спектров уровней технологической готовности и их годовой динамики роста для разных предметных направлений демонстрирует универсальность подхода, но для более детального анализа и использования в управлении разработками требуется адаптация в соответствии со схемой рисунка 2 и утверждение описания системы параметров оценки готовности квалифицированным экспертным органом, а не только описания уровней параметров самими исполнителями.

Для проведения оценки уровней готовности разработки с учетом специфики технологического/предметного направления и создания сложных систем целесообразно задать следующие бизнес-процессы:

1. Определение критических элементов системы – элементов, от успешной реализации которых зависит достижение проектных характеристик:

а. впервые применяемые технологии (нет референций);

б. известные технологии в неизвестном окружении (нет референции).

2. Определение уровней готовности по каждому критическому элементу в отдельности.

3. Экспресс оценка: уровень готовности системы определяется по минимальному уровню готовности критических элементов.

4. Оценка уровня готовности системы экспертным органом с учетом предметной специфики (референций по аналогам, масштабируемости технологии, наличия альтернативных решений).

ОЦЕНКА УРОВНЯ ГОТОВНОСТИ ПРОЕКТА И БЕРЕЖЛИВЫЙ НИОКР

Оценка уровней готовности инновационного проекта, определяющая решение по его управлению и выводу нового продукта на рынок, требует наличия квалифицированного экспертного органа, поскольку исполнитель работ может быть не корректен при самооценке результата не только из-за недостаточной квалификации в использовании методологии, но и в желании любым путем получить дальнейшее финансирование на следующие этапы проекта. Процедура корректного выполнения экспертизы уровней готовности в мировой практике названа TRA (Technology Readiness Assessment). В практике авторов она получила название «Оценка уровня готовности инновационного

проекта/продукта (ОУГП)» [7]. Определим термин ОУГП следующим образом: это процесс объективной оценки инновационного продукта как объекта коммерциализации путем предоставления документальных доказательств того, что создаваемый инновационный продукт по техническим и экономическим характеристикам соответствует целевым значениям и запросам рынка с определенной для каждого уровня готовности достоверностью.

Внедрение новой инновационной технологии в производство продукта вносит неопределенность, которая влечет за собой риск для ее разработчиков, производителей, поставщиков, операторов и конечных пользователей. Данная методика показывает, как можно управлять этими рисками, предоставляя последовательно доказательства для управления рисками и уменьшения неопределенности. Цель процесса ОУГП – получить объективное заключение о том, что разработка инновационного продукта развивается успешно, поэтапно преодолевая технологические и иные риски, либо должна быть остановлена с целью сохранения ресурсов. Поэтому в процесс оценки включены все параметры ПИНГ, а не только TRL как в TRA.

В качестве заказчика оценки могут выступать владелец технологии, покупатель или третье лицо. Детальное описание методики оценки уровней готовности как экспертной процедуры является предметом отдельного обсуждения вне рамок данной статьи.

Также нужно отметить, что выполнение ОУГП дает обоснованную по результатам этой процедуры возможность прекращения любого проекта при отсутствии плановой динамики при движении по уровням готовности TPRL/ПИНГ. Разработка может оказаться невостребованной по разным причинам.

Комплексный подход TPRL/ПИНГ для оценки развития проекта и его результатов является одним из инструментов бережливого НИОКР, принципиально отличающегося от широко известного термина «бережливое производство» следующим:

- риски как ключевой элемент исследований и разработок;
- неповторяемость процесса;
- капитализация знаний как результат;

– сложность оценки результатов.

Как отмечено выше, в определении бережливого НИОКР ключевым является синтез эффективного выполнения, наличия востребованного рынком результата и проектируемой возможности его коммерциализации.

НАУЧНАЯ ГОТОВНОСТЬ SCIRL: ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОПИСАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ

Существенный пласт выполняемых научными организациями исследований и объем бюджетных затрат на них относится к традиционному понятию «фундаментальные исследования», результатом которых является генерация новых знаний, для которых еще не идентифицирована область практического применения. Выше, в частности в задачах центров компетенций НТИ, сформулирована необходимость трансляции результатов фундаментальной науки в инженерные приложения и далее в рыночные продукты. В связи с этим возникает вопрос о применимости подхода уровней готовности к процессам получения новых знаний, в первую очередь, в области естественных наук и ее отнесение со шкалой технологической готовности TRL.

По мнению авторов, методика бережливого НИОКР может быть применима и к этим работам. Задача состоит в том, чтобы описать метрику научной готовности, а процесс управления разработкой, включая процедуру оценки уровня готовности проекта, будет аналогичен процессу разработки инновационной продукции.

Ниже предложены определения разработанных нами нескольких начальных уровней шкалы научной готовности SciRL. Данная шкала описывает критерии верхнего уровня и в дальнейшем требует развития для различных научных направлений, используя показанный на *рисунке 2* подход декомпозиции.

SciRL1. Формулировка изучаемого явления. Постановка задачи исследования.

Содержание уровня 1: проведена постановка задачи научного исследования. Формулировка изучаемого явления имеется. Возможности прогнозирования явления отсутствуют или сильно ограничены, однако возможно определить группу физических/химических

процессов/моделей, которые предположительно определяют изучаемое явление для более детального изучения и понимания.

SciRL2. Определены базовые процессы/модели.

Содержание уровня 2: из группы физических/химических процессов/моделей отображены наиболее релевантные базовые процессы/модели, лежащие в основе изучаемого явления. Однако для характеристики и подтверждения выбора базовых процессов необходимо получить подтверждение. Сформулированы измеряемые следствия, описываемые моделью, как по процессам, так и по значениям вычисляемых параметров.

SciRL3. Базовые процессы/модели явления подтверждены в ограниченной области параметров.

Содержание уровня 3: Базовые процессы/модели явления определены, однако проверка проведена без учета взаимодействия исходных/входных параметров. Для соответствия модельных прогнозов экспериментальным данным требуется делать значительные допущения для основных параметров, характеризующих процессы. Сформулирована детальная программа научных исследований, необходимых для обоснования таких допущений. Подготовлена дорожная карта продвижения исследований по уровням SciRL.

По нашим оценкам и представлениям, для полноценного описания шкал научной готовности SciRL потребуются формулировка еще четырех уровней до SciRL7 включительно. При этом с учетом относительной независимости шкал SciRL и TRL целесообразно формулирование уровней SciRL6–7 в отнесении к достижению уровней TRL3–4 при условии формулировки идеи о практической целесообразности применения описываемого шкалой SciRL изучаемого явления/процесса, получаемого нового знания.

Таким образом можно говорить не только о высокой степени адаптации методики TPRL/ПИНГ к различным результативным этапам исследований, разработок и проектам инновационного характера, но и практическом понимании возможных путей коммерциализации результатов научных исследований, подтверждаемых существующей практикой российских и зарубежных высокотехнологических компаний.

РЕЦЕПТ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ НАУЧНОЙ РАЗРАБОТКИ

Показанная методология уровней готовности предполагает формирование на уровне TRL1 идеи/облика нового продукта. Часто на этой стадии невозможно в полной мере указать все параметры конечного решения и способы его достижения, особенно при выполнении НИОКР, характеризующихся высокими рисками и несколькими решениями, из которых предстоит сделать выбор. Поэтому необходима гибкая схема формирования и развития в ходе инновационного проекта исходных данных, формализованных в техническое задание на разработку. Схема основывается на движении по уровням параметров готовности создания продукта с анализом достигаемых результатов в ходе выполнения работ. Результатом такого анализа являются решения команды проекта и его заказчика (при наличии) о корректности выполнения работ и календарного плана или необходимости их изменения. Собственно наличие возможности изменения задания по мере получения новой информации в ходе разработки определяет эффективность бережливого НИОКР. Отчасти на этом принципе основан SCRUM-подход, который успешно применяется в первую очередь для IT-продуктов.

Важным компонентом мониторинга инновационного проекта являются компетенции и полномочия экспертного органа, как и самой команды проекта.

Практика авторов показывает, что при квалифицированном выполнении начальных этапов разработки (ранние уровни готовности) с уточнением задания проекта вероятность достижения пригодного для внедрения результата разработки существенно выше, чем при отсутствии детальной проработки начального этапа инновационного проекта. Вероятность удовлетворения запроса потенциального потребителя разработки в таком случае достигает 60%, а формирование технического задания без достижения TRL1–2 удовлетворяет не более 10% грамотных заказчиков (по данным мониторинга реализации отраслевого портфеля проектов, представленного на рисунке 3).

Поэтому простой рецепт коммерциализации в сумме компонентов такой:

- мотивация команды проекта получить результат,
- высокие научно-технические компетенции команды проекта и экспертизы, дополненные подтвержденной практикой по остальным параметрам TPRL/ПИНГ на старте инновационного проекта,
- управление проектом по принципам уровня готовности результатов разработки и самооценка ОУГП с документированным подтверждением результатов по шагам,
- гибкость исходных данных и технического задания на разработку, возможность их совершенствования по ходу проекта и движения результатов по уровням готовности параметров TPRL/ПИНГ,
- наличие независимого экспертного органа и процедуры оценки результатов выполнения инновационного проекта.

Если такая практика как правило понятна для компаний с частным собственником, то для повышения конкурентности госкорпораций и научных организаций, использующих в своих проектах госфинансирование, также целесообразно рассмотреть возможность трансформации бизнес-процессов исследований и разработок путем нацеленности на результат и пути его достижения, фиксируемые в техническом задании и дорожной карте по мере выполнения инновационного проекта, а также за счет приоритетной поддержки проектов с наивысшим уровнем готовности.

Ранее в [5] мы уже отмечали целесообразность и пользу использования обсуждаемых подходов для формирования компетенций исследователя-организатора применительно к большинству направлений и специальностей, ориентированных на сферу производства научно-технической продукции. Накопленный практический опыт организации и управления исследованиями и разработками с использованием методологии уровней готовности, излагаемый авторами сегодня, в полной мере применим для распространения в исследовательских университетах, существующих и создаваемых в стране

центрах научно-технических компетенций для повышения эффективности коммерциализации результатов разработок, интеграции университетской науки с промышленностью, а также при подготовке специалистов-исследователей и инженеров для реализации технологического лидерства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложено решение по методологии бережливого НИОКР на основе TPRL/ПИНГ как инструмента коммерциализации разработки инновационного продукта. Завершено описание уровней готовности проекта для использования при выполнении бережливого НИОКР. Показана целесообразность декомпозиции описания уровней готовности на предметный и проектный уровни, а также для сложных систем. Приведены примеры использования спектров TRL для анализа портфеля проектов различных предметных направлений.

Описана процедура оценки уровня готовности инновационного проекта/продукта и полномочного экспертного органа для ее проведения, сформулированы требования к квалификации экспертов.

Предложены начальные уровни шкалы научной готовности SciRL для использования в исследованиях по получению новых знаний (фундаментальных).

Отмечена необходимость гибкой процедуры модификации исходных данных, технического задания и дорожной карты по ходу выполнения инновационного проекта.

Представленные результаты являются перспективными для использования в инновационных отраслях промышленности, научных институтах и в вузах.

Авторы не претендуют на отсутствие в статье дискутируемых положений, но надеются, что высказанные предложения будут полезны для научных сотрудников, серьезно занимающихся внедрением своих разработок, а также финансирующих инновации инвесторов и государственных служащих, имеющих отношение к организации исследований и разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сартори А.В., Ильина Н.А., Манцевич Н.М. (2019) Концепция оценки потенциала коммерциализации результатов НИОКР в научных организациях и вузах // Высшее образование сегодня. № 6. С. 11–25.
2. Управление инновациями Росатома (2019) Материалы конференции / Росатом. <http://www.innov-rosatom.ru>.
3. Программа ускоренного роста для стартапов с глобальными амбициями (2020) / PwC. <https://www.pwc.ru/ru/services/pwc-russia-accelerator.html>.
4. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. (2016) Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. Т. 2. № 4. С. 244–260.
5. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2018) Школа бережливого НИОКР: практика подготовки исследователей в вузе с использованием грантов эндаумент-фонда // Высшее образование сегодня. № 7. С. 2–9.
6. Ильина Е.А., Моткина Ю.В., Сушков П.В. (2020) Концепция оценки научно-технических компетенций проектных команд, научных организаций и вузов с использованием уровней готовности // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 11–21.
7. Сартори А.В., Сушков П.В., Манцевич Н.М. (2020) Принципы бережливого управления исследованиями и разработками на основе методологии уровней готовности инновационного проекта // Экономика науки. Т. 6. № 1–2. С. 22–34.

REFERENCES

1. Sartori A.V., Ilyina N.A., Mantsevich N.M. (2019) The concept of assessing the potential for the commercialization of R&D results in scientific organizations and universities // Higher Education Today. № 6. P. 11–25.
2. Rosatom Innovation Management (2019) Conference Materials / Rosatom. <http://www.innov-rosatom.ru>.
3. Accelerated Growth Program for Startups with Global Ambitions (2020) / PwC. <https://www.pwc.ru/ru/services/pwc-russia-accelerator.html>.
4. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. (2016) Comprehensive assessment of the status scientific and technical projects using Technology Project Readiness Level // The Economics of Science. V. 2. № 4. P. 244–260.
5. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantsevich N.M. (2018) Lean R&D School: the practice of training researchers at a university using grants from the Endowment Fund // Higher Education Today. № 7. P. 2–9.
6. Ilyina E.A., Motkina Yu.V., Sushkov P.V. (2020) The concept of assessing the scientific and technical competencies of project teams, scientific organizations and universities using readiness levels // The Economics of Science. V. 6. № 1–2. P. 11–21.
7. Sartori A.V., Sushkov P.V., Mantsevich N.M. (2020) The principles of lean research and development management based on the methodology of the innovation project readiness levels // The Economics of Science. V. 6. № 1–2. C. 22–34.

UDC 338.28

Sartori A.V., Gareev A.R., Ilyina N.A., Mantsevich N.M. **Application of the approach of readiness levels for various subject areas in lean R&D** (JSC «Science and Innovations», Staromonetnyj lane, 26, Moscow, Russia, 119180; RVC, Nobelya Str., 1, Moscow, Russia, 121205; Rosatom State Atomic Energy Corporation, Bolshaya Ordynka Str., 24, Moscow, Russia, 119017)

Abstract. The further development of the TPRL methodology as a tool for the commercialization of innovations is proposed. Descriptions of readiness metrics for lean R&D are presented. The expediency of subsequent decomposition of the readiness level criteria into the subject level and project levels for various technological / subject areas / complex systems is shown. Description of the initial scientific readiness levels SciRL are proposed for use in research dedicated to generating knowledge.

Keywords: innovative project, lean R&D, commercialization, TPRL/PING readiness levels, SciRL scientific readiness, project readiness level assessment, TRA.