

ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО БАРЬЕРА В РАЗВИТИИ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ



Олег Киселевский,
доцент кафедры
менеджмента Белорусского
государственного
университета информатики
и радиоэлектроники,
кандидат технических наук;
kiselevski@bsuir.by



Олег Кондрашов,
генеральный
директор компании
«ИнКата», кандидат
экономических наук

Аннотация: Рассмотрены основные причины возникновения инновационного барьера, отделяющего теоретическую разработку наукоемких проектов от их практического внедрения. При оценке уровня зрелости инновационного стартапа предлагается использовать шкалу уровней технологической готовности TRL. Для преодоления инновационного барьера предложен ряд мер, включающий как методы государственного регулирования, так и меры развития инновационной культуры в обществе.

Ключевые слова: инновации, инновационный барьер, TRL, инвестиции, НИОКР.

Для цитирования: Киселевский О., Кондрашов О. Пути преодоления инновационного барьера в развитии наукоемких технологий // Наука и инновации. 2024. №7. С. 4–10.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-07-4-10>

Инновационное развитие – неотъемлемая и обязательная мера как для совершенствования деятельности государственных и частных предприятий, так и для реформирования всех сфер экономики и в целом социальной системы. В первую очередь под ним подразумевается системная модернизация производственной и отраслевой структуры экономики, внедрение в практику новейших научных разработок. Для оценки инновационных достижений распространены различные методики и инструменты анализа долей затрат на технологические инновации и научно-исследовательские разработки [1]. Среди них наибольшую известность приобрел Глобальный инновационный индекс (GII) [2], позволяющий сравнивать успехи различных стран в этом направлении с учетом ресурсов, которыми они располагают, выявлять успехи или недоработки по отдельным направлениям в сравнении с соседями, вырабатывать меры по преодолению внешнего инновационного разрыва.

Вместе с тем определенную опасность представляет внутригосударственный инновационный барьер, выражающийся в неготовности производителей и потребителей наукоемкого продукта к взаимному сотрудничеству. Среди проблем, с которыми сталкиваются предприятия при освоении результатов интеллектуального труда, можно выделить отсутствие следующих факторов:

- четкого определения понятия «инновации», которое устроило бы все заинтересованные стороны;
- инновационных лидеров и условий, мотивирующих их появление в практической производственной сфере;
- благоприятных организационных практик и культуры для инновационного движения;
- готовности брать на себя инвестиционные риски, связанные с инновационными разработками.

В конечном итоге эти препятствия приводят к тому, что реаль-

ный сектор экономики неохотно идет на взаимодействие с научными организациями и вузами, тем самым лишая последних обратной связи, дающей возможность понять реальную потребность производства в наукоемких технологиях и оценить качество предоставляемых образовательных услуг.

Уровни технологической готовности проекта

Для оценки уровня технологического развития в мире сейчас применяется 9-уровневая шкала TRL (Technology Readiness Level) [3]. Разработанная в 1995 г. Национальным аэрокосмическим агентством США специально для оценки уровня продвижения проекта и стадий его готовности, к 2003 г. она стала фактическим стандартом в американской космической и оружейной промышленности. В 2009 г. экспертной группой по ключевым технологиям HLG-KET она была рекомендована в качестве официаль-

ного инструмента инновационной политики ЕС, а в 2013 г. включена в систему стандартов ISO и стала структурной частью Рамочной программы ЕС «Горизонт 2020». В настоящее время использование шкалы TRL в различных государствах или крупных компаниях регулируется национальными или отраслевыми (корпоративными) стандартами, например в России это ГОСТ Р 56861-2016 и ГОСТ Р 57194.1-2016. Увеличение доли научных публикаций по данной тематике свидетельствует о проникновении TRL в практическую сферу: информационные технологии, энергетику, транспорт, химическую промышленность, образование и даже в культуру и туризм.

Энтузиазмом применения этой метрики охвачены не только США и ЕС, но также Южная Африка, Россия, Китай, Австралия и многие другие страны. На рис. 1 отражено количество упоминаний государств в научных статьях, посвященных TRL. Статистические данные, положенные в основу инфографики, получены методом анализа поисковых запросов в системе «Google Академия».

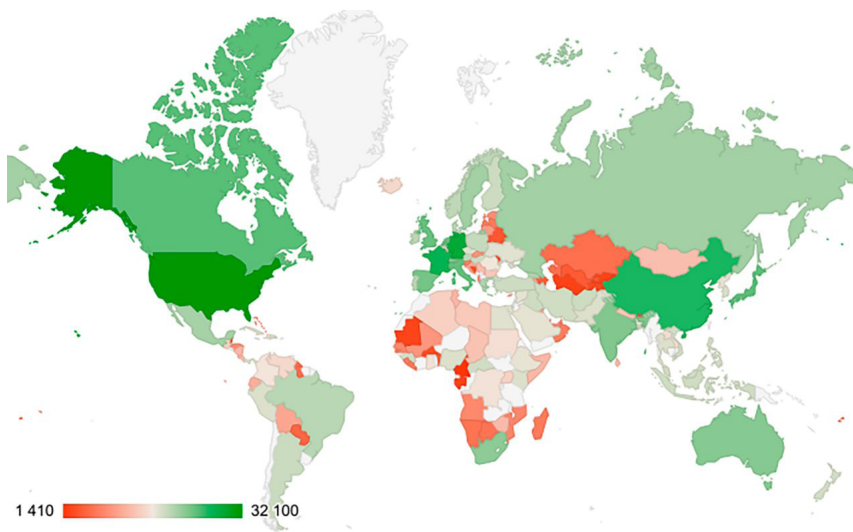


Рис. 1. Количество упоминаний государств в научных статьях, посвященных TRL, по данным поисковой системы «Google Академия»

В условиях межотраслевого и межгосударственного сотрудничества использование шкалы TRL способствует эффективному решению проблемы согласованности требований и объемов финансирования совместных инновационных проектов, упрощению коммуникации.

Согласно этой методике, любая инновационная разработка в своем развитии неизбежно проходит каждую из 9 градаций, перечисленных в таблице.

Несмотря на то, что изначально задачей этой шкалы было определение уровня готовности решения технической проблемы,

в практике использования ее наибольшая эффективность проявилась в сопоставлении трудоемкости и ресурсоемкости стадий, а также установлении уровня технологической, производственной и рыночной готовности инновационного проекта (стартапа).

В этой связи выявлен ряд закономерностей:

- уровни TRL1 и TRL2 составляют теоретическую часть проекта. Материальные затраты на них несет наука, а потому в промышленных калькуляциях они чаще всего не учитываются;
- стоимость и трудоемкость стадии TRL4 в несколько раз выше, чем TRL3, а TRL5 – чем TRL4. Возрастание ресурсоемкости носит экспоненциальный характер с пиком в районе TRL8 [4];
- достижение уровня TRL6 требует затрат в размере около 10% от общей ресурсоемкости проекта [5]. Порядка 90% материи-

| Наименование этапа | Содержание этапа | Требуемый результат | |
|--------------------|---------------------------------|--|--|
| TRL1 | Идея | Формулирование основных принципов, их научное обоснование, численное и математическое моделирование процессов и условий | Научное заключение, рецензируемая публикация |
| TRL2 | Технический концепт | Фундаментальное научное исследование приобретает форму прикладного с пока еще неявной рентабельностью, но с доказанной технической осуществимостью | Основание для начала НИОКР |
| TRL3 | Лабораторная технология | Экспериментальное подтверждение научной концепции, лабораторные исследования для физического подтверждения правильности аналитических прогнозов | Документированные акты экспериментов, подтверждающие прогнозы ключевых параметров |
| TRL4 | Лабораторный прототип | Лабораторная апробация технологии, ограничения функциональных характеристик и допустимых условий среды | Формулирование технического задания, требуемого функционала |
| TRL5 | Конструирование узлов и модулей | Стендовые испытания узлов и модулей, проверка соответствия их производительности, срока службы, надежности, качества техническому заданию | Документированные акты экспериментов, подтверждающие соответствие узлов и модулей техническому заданию |
| TRL6 | Рабочий прототип | Экспериментальное подтверждение технологических условий бесконфликтного взаимодействия всех узлов и модулей | Создание прототипа, точно отражающего идею конечного продукта, программы тестовых испытаний |
| TRL7 | Полевые испытания | Экспериментальные испытания прототипа в реальных условиях согласно программе тестовых испытаний, успешная демонстрация функциональности в сценариях эксплуатации | Документированные акты экспериментов, итоговые отчеты НИОКР |
| TRL8 | Готовая технология | Окончательная разработка и утверждение технологии и конструкторской документации, дизайн, сертификация | Конструкторская и технологическая документация, акты сертификации |
| TRL9 | Производство и эксплуатация | Внедрение в серийное производство | План производства, налаженные процессы поставки, сбыта, техническая поддержка |

Таблица. Содержание этапов технологической готовности проекта

- альных расходов приходится на прохождение этапов TRL7–TRL9 (рис. 2);
- НИОКР в диапазоне TRL1–TRL5 должны получать 1/3 общего финансирования (согласно Плану технологической интеграции НАСА от 1991 г.);
- доля затрат на прототипирование (TRL5–TRL7) в 5–10 раз выше, чем на все НИОКР (в соответствии с заключением экспертной группы по ключевым технологиям HLG-KET) (рис. 2);
- трудоемкость каждого последующего этапа TRL в 2 раза выше, чем предыдущего [6]. Если предположить, что переход на очередной этап происходит в 50% случаев, то вероятность успешного завершения стартапа равняется 0,39%. При отсеивании 10, 15 и 20% на каждом уровне результат составит 43%, 27% и 17% соответственно;
- 50–60% всех инновационных проектов прекращаются, не достигая стадии TRL5;
- технологии приобретаются, начиная с уровня не ниже TRL7;
- стадии TRL4–TRL6 самые труднопреодолимые, а потому получили название «Valley of Death» – «долина смерти».

Перечисленные закономерности свидетельствуют о том, что в пределах погрешности каждый из последующих этапов TRL действительно оказывается в 2–2,5 раза дороже предыдущего.

Из приведенного в таблице содержания стадий TRL ясно, что первые 4 относятся к фазе научных исследований и изысканий, а последующие 5 – к практическому исполнению (рис. 2). При этом TRL1–TRL3 – сугубо компе-

тенции научно-исследовательских институтов и лабораторий. Коммерческую привлекательность с точки зрения предприятия проект приобретает только на последних трех этапах, когда начинает обладать свойствами готового продукта.

Самые прогрессивные и инновационные научные идеи зачастую оказываются коммерчески незрелыми. На раннем этапе своего «исследовательского альтруизма» авторы порой не представляют себе объемы их реальной трудоемкости, а главное – требуемых материальных вложений.

Реализация этапов TRL4–TRL6 содержит наибольшее количество рисков, в том числе и финансовых. Научно-исследовательские центры не владеют ресурсами, достаточными для самостоятельного преодоления этих стадий. А предприятия экономически не заинтересованы в компенсации издержек, связанных с апробацией не готового к массовому производству продукта. В итоге причина «инвестиционной ямы», отделяющей научные разра-

ботки от внедрения, заключается в неготовности обоих партнеров нести убытки, связанные с преодолением образовавшегося барьера.

Развитие большинства наукоемких концепций и технологий останавливается на стадии лабораторной апробации. Инвесторами на этом этапе, как выражаются практики, могут выступать только «3F» (что подразумевает получение средств от семьи, друзей и «дураков») (Friends, Foes and Fools). Обычно приобретаются технологии, достигшие уровня 7TRL–8TRL.

Еще одним обстоятельством, снижающим инвестиционную привлекательность стартапа, не достигшего TRL7, является необъективированный научный задел. До окончания НИОКР и утверждения окончательного отчета сторона-разработчик обладает явными и неявными знаниями, которые могут быть не в полной мере отражены в технологии. На этих этапах только авторы идеи владеют видением того, как конечный результат может и будет применяться. Отстранение

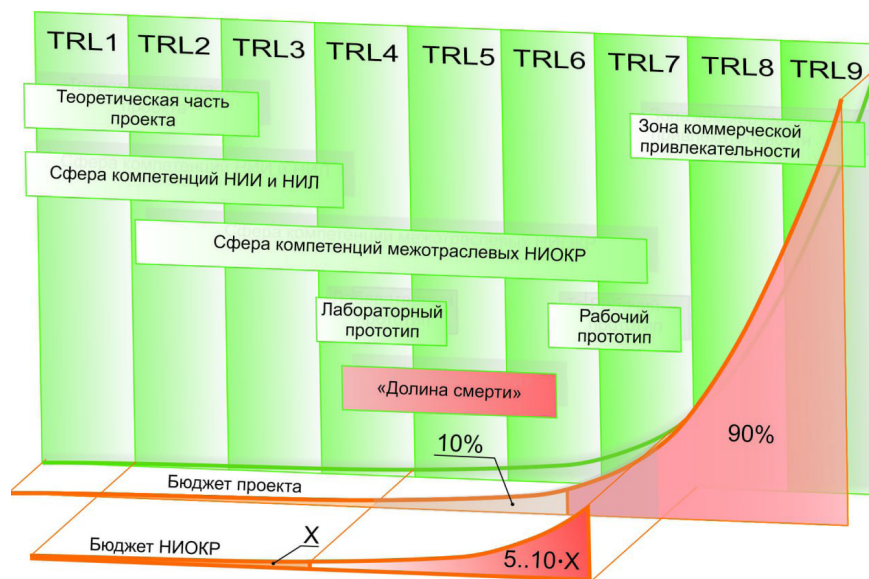


Рис. 2. Ресурсоемкость и сферы компетенций технологических стадий готовности проекта. Источник: разработано авторами на основании [4–6]

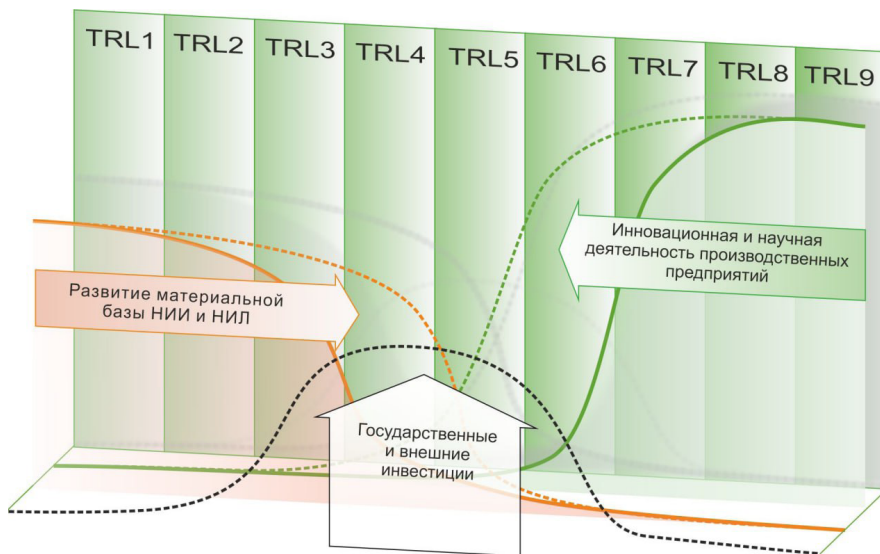


Рис. 3. Источники и средства предотвращения инновационного барьера
Источник: разработано авторами

их от разработки негативно сказывается на качестве конечного продукта и его коммерческом успехе. Это еще одна причина, по которой изначальная идея градаций TRL подразумевает разграничение ролей и финансирования этапов.

Ряд аналитиков [4] указывает на инвестиционную непривлекательность в некоторых случаях даже последней стадии. Действительно, снижение ценности проекта на этапах от TRL7 к TRL9 возможно из-за его морального устаревания в процессе длительной разработки. Распространены примеры, когда это случается еще до окончания НИОКР. Иллюстрацией может служить микро- и наноэлектроника, для которой справедлив закон Мура: плотность схемотехники больших интегральных схем (БИС) удваивается каждые 2 года. За этот период исследования по достижению заявленной плотности БИС становятся неактуальными и неконкурентоспособными. Это численное значение характерно не для всех сфер производства, но тенденция снижения ценно-

сти инновационного проекта во многом справедлива.

И, наконец, техническая готовность проекта не всегда означает его коммерческую пригодность. Требуемое от уровня TRL9 соответствие продукции среде и условиям эксплуатации может отвечать всем рыночным правилам, но при этом не иметь надлежащей торговой марки, сформированного имиджа и целевой аудитории. В Австралии для решения этой проблемы наряду с системой TRL используется Индекс коммерческой готовности – CRI [7]. Он предназначен для учета рисков успешного масштабирования технологий, уже прошедших все этапы TRL вплоть до TRL7, и включает 6 отдельно выделенных стадий:

- CRI 1 – гипотетическое коммерческое предложение, начинающееся с готового рабочего прототипа, но в ряде случаев распространяющееся и на технический концепт;
- CRI 2 – испытание готовой технологии;
- CRI 3 – масштабирование успешно освоенного производства;

- CRI 4 – коммерческие приложения;
- CRI 5 – маркетинговые стратегии, способствующие широкому распространению;
- CRI 6 – банковская финансовая поддержка.

Возникшие впоследствии в мировой практике шкалы уровня зрелости системы SLR, интегрированные технологические индексы ITI, уровни оценки стоимостно-технологических потребностей, по сути, являются оправданием отказа предприятий от участия в финансировании стартапов и инновационных проектов.

Пути выхода из «инвестиционной ямы»

Избежать «долины смерти» в развитии инновационных технологий может помочь система организационных и экономических мер, среди которых можно выделить следующие:

- **стимулирование как потенциальных инвесторов, так и представителей науки;**
- **государственная поддержка сотрудничества производственных предприятий с научными организациями и центрами** в рамках НИОКР в виде упрощенного налогообложения совместных проектов, мотивация инициатив в среде госслужащих, включая лояльность в случае возможных неудач;
- **создание специализированных технопарков и бизнес-инкубаторов при институтах и учебных заведениях.** Данная мера, успешно практикующаяся в Республике Беларусь, способствует концентрации существующей мате-

риальной базы НИИ и НИЛ в целях самостоятельного преодоления стадий TRL4 и TRL5, а также развития требуемых для этого компетенций (рис. 3);

- **организация центров трансфера технологий в качестве площадок обмена мнениями и сотрудничества между предприятиями и научно-исследовательскими центрами**, включая научно-практические конференции, форумы, межотраслевые выставки. Ввиду значительного технологического отставания отечественного производственного сектора поддержание НИИ и НИЛ возможно за счет не только внутреннего трансфера, но и экспорта технологий за рубеж;
- **развитие культуры управления интеллектуальной собственностью на предприятиях** требует методической работы над трактовкой понятия «инновация» и интеллектуального потенциала (необходимо не путать потенциал с активом). Надо учитывать, что попытки решения проблем инновационного развития консервативными методами не приводят ни к чему, кроме подавления инициатив;
- важным стимулом развития инициативы в коммерциализации новых идей является **увеличение доли частной собственности на патенты**. Речь идет о прозрачной и упрощенной процедуре выдачи патентов частным лицам, выполнившим разработку за свой счет и намеревающимся самостоятельно пользоваться ее результатами;

- **государственные дотации на фундаментальные исследования** позволяют развить материальный ресурс научно-исследовательских лабораторий. Разумеется, инвестиционные риски финансирования фундаментальных исследований велики. Поэтому именно финансовая господдержка в этой сфере является наиболее приемлемой практикой. Ведь привычный для фундаментальной науки тезис «отрицательный результат – тоже результат» частным инвесторам неинтересен. При формировании госбюджета нужно учитывать, что 19 из 20 фундаментальных проектов убыточны. В то же время оставшийся один проект несет в себе отложенную прибыль, покрывающую издержки на 19 «провалившихся». Что касается исследований, достигших уровня прикладных, то их инвесторами с готовностью могут стать венчурные фонды, но только при условии развития соответствующей инновационной культуры в обществе;
- **стимулирование частного бизнеса в сфере инновационной деятельности** способно заинтересовать наукоемкие предприятия в учреждении собственных научно-исследовательских лабораторий, центров технологического скаутинга и прототипирования (RnD- и MakeIt), в том числе с филиалами за рубежом. Такие центры способствуют продвижению отечественных разработок на международном рынке. Успешные бизнесмены готовы участвовать в таких проектах в качестве волонтеров, будучи

«послами технологий» своих государств и регионов;

- **развитие международного сотрудничества** позволяет распределить стадии разработки наукоемкого продукта между лабораториями, имеющими разный интеллектуальный и материальный потенциал;
- **поиск и продвижение тех сфер, в которых лаборатории требуют минимальных вложений**, позволяет выбрать малозатратные инновационные проекты в качестве приоритетных. В области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) преодолеть рубеж TRL4–TRL6 значительно дешевле, чем в сфере энергетики или наномеханики. Среди направлений инновационной деятельности, которым в современном мире принято присваивать статус высоких технологий, можно отметить:
 - ✓ нанотехнологии в области электроники и механики;
 - ✓ биотехнологии и фармакологию;
 - ✓ устойчивую энергетику и полупроводники;
 - ✓ квантовые вычисления и квантовую информатику;
 - ✓ цифровое моделирование и производство;
 - ✓ информационно-коммуникационные технологии.

При этом ранжирование технологий в приведенном списке коррелирует со снижением затрат и рисков на лабораторные испытания и экспериментальное подтверждение технологических условий. В связи с этим в таких наукоемких сферах, как ИКТ и САПР, инновационный барьер наблюдается в наименьшей степени либо отсутствует вообще.

Развитие инновационной культуры

Кроме организационных и экономических мер преодоления «долины смерти» в продвижении инноваций отдельно можно выделить те, что основаны на привлечении человеческого ресурса, потенциал которого до сих пор раскрыт не в полной мере. Речь в первую очередь идет о развитии инновационной культуры в обществе: на предприятиях, в учебных заведениях, повседневной жизни. Ведь промышленная мощь – обязательный, но не достаточный фактор, предопределяющий успешность новаций. В один ряд с ним следует поместить также наличие научно-инженерных кадров, их инициативность и вовлеченность в инновационные процессы, налаженные бизнес-академические связи и ряд других условий, необходимых для формирования инновационной среды. Немаловажным фактором является готовность предпринимателей идти на риск, которая должна поощряться государством путем предоставления грантов и компенсации рисков.

Производственной психологией инновационность рассматривается как врожденная потребность новизны, связанная с поиском новой информации и сопровождаемая готовностью к риску [9]. Стремление к уникальности находится в корреляции с восприимчивостью к новым идеям и независимостью от навязываемого опыта. Это качество детерминировано внешней средой и может быть простимулировано так же, как любая другая витальная или социальная

■ **Summary.** The main reasons for the emergence of an innovation barrier that separates the theoretical development of knowledge-intensive projects from their practical implementation are considered. When assessing the maturity level of an innovative startup, it is proposed to use the technology readiness level scale. To overcome the innovation barrier, a number of measures have been proposed, including both methods of state regulation and measures for the development of an innovative culture in society.

■ **Keywords:** innovation, innovation barrier, TRL, investment, R&D.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-07-4-10>

потребность. В сочетании с теорией нематериального капитала Бурдье, потребностно-информационная теория Симонова представляет собой перспективный подход к оценке инновационного потенциала трудовых коллективов, что предоставляет инструмент учета инвестиций в человеческий ресурс, дает возможность определить степень вовлеченности персонала в инновационные процессы и удовлетворенности их результатами.

Современные методологии совершенствования инновационной культуры нацелены на рефлексию и самоконтроль разработчиков научной продукции и их инвесторов в отношении социальной готовности общества к внедряемым нововведениям. Насущные вопросы, помимо проблемы ресурсов и защиты окружающей среды, касаются мотивов и интересов социальных групп населения отдельных стран и человечества в целом, затрагиваемых инновационными проектами. В течение последних пяти лет исследования в этой области привели к выработке еще одного показателя – обеспечение готовности общества к инновационному продукту ESR (Ensuring Societal Readiness) [10]. Как уже отмечалось, политика инновационного развития сама по себе требует новаторских подходов и методов решения возникающих проблем. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инновационное развитие в России и странах ЕС / Наука, технологии, инновации. Экспресс-информация Института статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики // <https://issek.hse.ru/news/306999009.html>.
2. WIPO. Глобальный инновационный индекс 2023 г. // www.wipo.int/global_innovation_index/ru/2023.
3. Technology readiness levels / Mankins J.C. [et al.] // White Paper. 1995. April. T. 6. P. 5 // https://aiaa.kavi.com/apps/group_public/download.php/2212/TRLs_MankinsPaper_1995.pdf.
4. M. Heder. From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation // The Public Sector Innovation Journal. 2017. Vol. 22(2). P.01–23.
5. Whelan D. Impact of Technology Readiness Levels on Aerospace R&D // Fusion Energy Science Advisory Committee. 2008. Vol. 124. P. 29 // <http://qedfusion.org/MEETINGS/0809/Weaver.pdf>.
6. Кондрашов О.В. Менеджмент технологических компетенций в системе продвижения инноваций // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. 2018. №2 (214). С. 93–100.
7. ARENA / Commercial readiness in deforrenrenewable energy sectors. 2014 // www.arena.gov.au/files/2014/02/Commercial-Readiness-Index.pdf.
8. Беляцкая Т., Амелин М. Предпринимательская активность в электронной экономике // Наука и инновации. 2014. Т. 11. №141. С. 50–54.
9. Pearson P.H. Relationships between global and specified measures of novelty seeking // Journal of Consulting and Clinical Psychology. 1970. Т. 34. №2. С. 199.
10. Ensuring societal readiness / Nielsen M.W. [et al.] // New Horizon bulletin. 2018. P. 24 // www.thinkingtool.eu/Deliverable_6.1_Final_April%2030_THINKING_TOOL.pdf.

Статья поступила в редакцию
01.02.2024 г.