

УДК 621.039.533.6+001: 002

И.И. Белан, Д.А. Левина

**УРОВЕНЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ
НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК КАК ФАКТОР ДЛЯ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

БЕЛАН Ирина Ивановна – кандидат физ.-мат. наук, заведующая отделом, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, ул. Кржижановского, 3, 03680, г. Киев, р. т. +380 44 424 14 58, м. т. +380 68 121 38 26, e-mail:belanira2014@gmail.com; **ЛЕВИНА Диана Анатольевна** ✉ кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, ул. Кржижановского, 3, 03680, г. Киев, р. т. +380 44 424 32 31, м. т. +380 66 654 61 18, e-mail:dianalevina768@gmail.com

Для коммерциализации научной разработки необходимо представлять, на каком уровне готовности к реализации она находится. Особую важность оценка уровня готовности разработки (УГР) приобретает при реализации крупных дорогостоящих проектов, например, в космической или военной отрасли.

Опыт использования метода оценки УГР подтверждает, что он является эффективным инструментом для развития технологий, способствуя управлению рисками, принятию оптимальных решений относительно финансирования технологий и их трансферта.

Сегодня использование метода оценки уровней готовности стало обязательным при принятии решений относительно целесообразности финансирования проектов по разработке и трансферту технологий в различных международных программах. Его следует рассматривать также как один из инструментов, необходимых для управления ходом исследований и разработок в организациях-разработчиках новых технологий.

Ключевые слова: коммерциализация, научная разработка, технология, уровень готовности технологии

Курс на разработку экспортно-ориентированной продукции, принятый в НАН Украины, в очередной раз обостряет проблему коммерциализации научных результатов. Для коммерциализации научной разработки необходимо представлять, на каком уровне готовности к реализации она находится. Такое знание необходимо для самого разработчика, который должен объективно судить, для какой стадии разработки ему надо искать партнеров и инвесторов. С другой стороны, такая информация нужна потенциальным партнерам по дальнейшему продвижению разработки и инвесторам, которым надо оценить размер необходимых инвестиций и степень риска при ее реализации. Особую важность оценка уровня готовности разработки приобретает при реализации крупных дорогостоящих проектов, например, в космической или военной отрасли.

Впервые методику оценки уровней технологической готовности (technology readiness levels-TRL) создали в штаб-квартире НАСА в 1974 году [1] и применили в проекте создания и запуска космического аппарата Юпитер. Начиная с 1990-х годов, методология TRL используется для оценки технологической готовности предлагаемых программ развития и различных проектов Военно-воздушных сил Соединенных Штатов (ВВС США).

Разработанный ВВС США метод расчета уровня готовности технологии [2] представляет собой анкету в формате Microsoft Excel, включающую в себя стандартный набор вопросов о состоянии оцениваемой технологии с последующим графическим отображением достигнутого TRL. Этот инструмент дает снимок созревания технологии в данный момент времени [3] и позволяет объективно принимать управленческие решения относительно ее дальнейшего продвижения.

В 1980-х и 90-х годах опубликовано ряд статей, по использованию расширенной версии методологии TRL для многоразовых ракет-носителей [4], в том числе средств проектирования, тестирования и готовности производства. В конце 90-х годов мнение о том, что использование незрелых технологий повышает общий риск при выполнении крупных дорогостоящих программ, получило всеобщее признание. В связи с этим в 1999 году Главная счетная палата Соединенных Штатов (General Accounting Office – GAO) [5], рекомендовала Министерству обороны США (US Department of Defence - DoD) для снижения больших рисков при переходе к новым технологиям использовать метод TRL - в новых крупных программах. Были разработаны и в 2003 году введены в действие адаптированная версия и подробное руководство по использованию метода для таких программ [6].

Армией Соединенных Штатов разработана модель управления технологическими программами [7] с высокой степенью точности, использующая TRL как гибкий инструмент управления, помогающий менеджерам при планировании, управлении и оценке своих технологий и их успешного трансферта. Модель предоставляет основной набор действий, включая разработку систем и задач управления программами, которые соответствуют целям оптимального развития технологий. Этот подход является всеобъемлющим, объединяя сложные мероприятия, имеющие отношение к разработке и переходу от конкретной технологической программы к единой интегрированной модели [8].

Таблица 1 представляет уровни технологической готовности по версии DoD [13]. С некоторыми вариациями методология TRL широко используется такими авторитетными организациями, как; National Aeronautics and Space Administration (NASA) [14]; Federal Aviation Administration (FAA); United States Department of Energy (DoE); Oil & Gas Industry; European Space Agency (ESA) [15], European Commission (EC) [16]; Public Works and Government Services Canada [17].

Опыт использования метода оценки TRL подтверждает, что он является эффективным инструментом для развития технологий, способствуя управлению рисками, принятию оптимальных решений относительно финансирования технологий и их трансферта.

Сегодня использование метода оценки уровней готовности стало обязательным при принятии решений относительно целесообразности финансирования проектов по разработке и трансферту технологий в различных международных программах. Его следует рассматривать также как один из инструментов, необходимых для управления ходом исследований и разработок в организациях-разработчиках новых технологий [10].

Уровни технологической готовности по версии Министерства обороны США (DoD)

Уровни технологической готовности	Описание	Поддерживающая информация
TRL 1. Наблюдаются и публикуются основные принципы технологии.	Низкий уровень технологической готовности. Фундаментальные исследования начинают трансформироваться в прикладные исследования и разработки (НИОКР). Примеры могут включать теоретические исследования основных характеристик технологии.	Опубликованные работы, в которых определяются принципы, лежащие в основе технологии. Работы содержат ссылки на авторов, когда и где проведены исследования.
TRL 2. Сформулирована концепция технологии и / или заявка на изобретение.	Начало изобретения. Когда проверены основные принципы, могут быть предложены практические приложения. Предложения носят спекулятивный характер, и для обоснования может отсутствовать доказательство или подробный анализ. Примеры ограничены аналитическими исследованиями.	Публикации или другие ссылки, которые описывают рассматриваемое приложение и содержат анализ для поддержки концепции.
TRL 3. Аналитическая и экспериментальная критическая стадия и / или доказательство особенностей концепции.	Стадия предполагает аналитические и лабораторные исследования для физической проверки прогнозов отдельных компонентов технологии. Примеры могут включать компоненты, которые еще не интегрированы или не являются репрезентативными.	Результаты лабораторных испытаний, проведенных для измерения параметров и сравнения с аналитически предсказанными. Ссылки на тех, кто, где и когда проводил эти испытания и сравнения.
TRL 4. Проверка компонентов и / или макетов в лабораторных условиях.	Базовые технологические компоненты интегрированы с целью установить возможность их совместной работы. Это относительно низкий уровень по сравнению с готовой системой. Примеры включают интеграцию соответствующего лабораторного оборудования.	Системные концепции, которые были рассмотрены и получены в результате тестирования макетов лабораторного масштаба. Ссылки на тех, кто сделал эту работу и когда. Оценка того, как макет оборудования и результаты тестирования отличаются от ожидаемых для готовой системы.
TRL 5. Проверка компонентов и / или макетов в соответствующей среде.	Значительно повышается точность макетирования. Основные технологические компоненты объединены с достаточно реалистичными элементами поддерживающих подсистем с целью тестирования в имитируемой среде. Примером может служить лабораторная интеграция компонентов с высокой степенью точности.	Результаты испытания лабораторной макетной системы, интегрированной с другими опорными элементами в моделируемой рабочей среде. Оценка того, как «соответствующая среда» отличается от ожидаемой операционной среды. Сравнение характеристик макетной системы с ожидаемыми для готовой системы. Возникшие при испытании модельной системы проблемы. Возможные усовершенствования макетной системы для лучшего соответствия ожидаемым системным целям.
TRL 6. Модель системы / подсистемы или демонстрация прототипа в соответствующей среде.	Репрезентативная модель или прототип системы, которая намного превосходит систему TRL 5, тестируется в соответствующей среде. Представляет собой крупный шаг в продемонстрированной готовности технологии. Примеры включают тестирование прототипа в лабораторной среде с высокой точностью или в моделируемой рабочей среде.	Результаты лабораторных испытаний модельной системы, близкой к требуемой конфигурации по производительности, весу и объему. Отличие испытательной среды от рабочей. Кто проводил тесты? Как тест сравнивался с ожиданиями? Какие проблемы, если таковые имеются, были обнаружены? Каковы / были планы, варианты или действия для решения проблем до перехода на следующий уровень?
TRL 7. Демонстрация прототипа системы в рабочей среде.	Прототип рядом или в запланированной операционной системе. Представляет собой важный шаг от TRL 6, требуя демонстрации реального прототипа системы в рабочей среде (например, в самолете, в транспортном средстве или в космосе).	Результаты тестирования прототипа системы в операционной среде. Кто проводил тестирование? Сравнение результатов тестирования с ожиданиями? Какие проблемы, если таковые имеются, были обнаружены? Каковы планы, варианты или действия для решения проблем до перехода на следующий уровень?
TRL 8. Фактическое создание системы завершено, она прошла проверку и демонстрацию.	Доказано, что технология работает в ее окончательной форме и при ожидаемых условиях. Практически во всех случаях этот уровень представляет собой окончательную стадию развития системы. Примером могут служить результаты теста, призванного для определения, отвечает ли созданная система требованиям проекта.	Результаты тестирования системы в ее окончательной конфигурации в условиях окружающей среды, в которой она будет функционировать. Оценка того, удовлетворены ли эксплуатационные требования. Какие проблемы, если таковые имеются, были обнаружены? Каковы планы, варианты или действия для решения проблем до завершения разработки?
TRL 9. Созданная система успешно протестирована путем выполнения целевых заданий.	Фактическое применение технологии в ее окончательной форме и в условиях производственной эксплуатации. Примеры включают использование системы в условиях эксплуатации.	Эксплуатационные испытания и оценка.

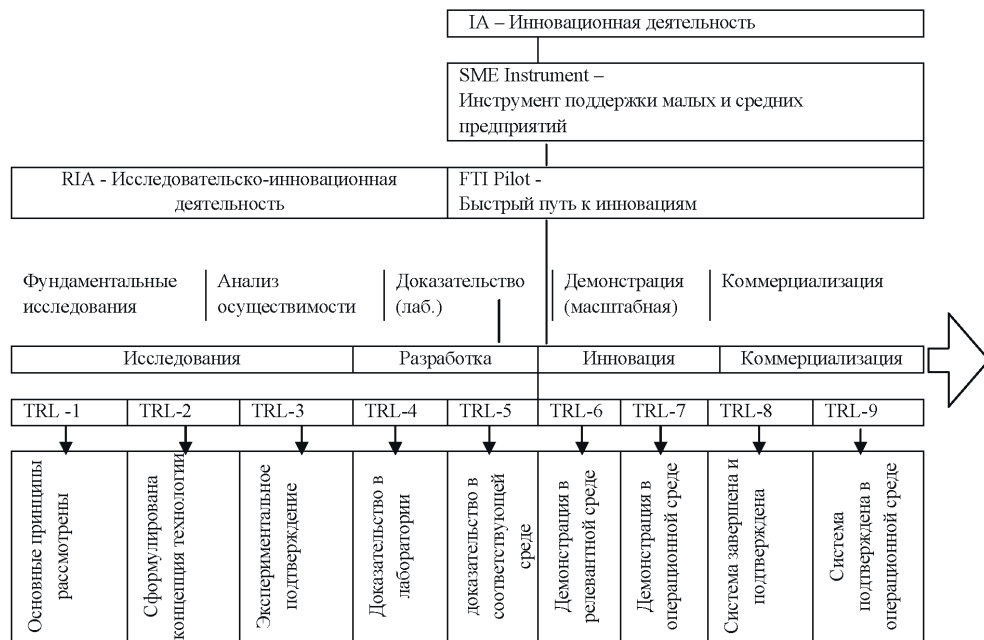


Рис.1. Сопоставление уровня готовности разработки с возможным видом проекта программы Horizon 2020

Рис.1 показывает, на какие виды проектов программы Horizon 2020 может претендовать разработка с тем или иным уровнем технологической готовности.

Например, если инновация находится на стадии формулирования концепции, экспериментального подтверждения, доказательства в лабораторных условиях или в соответствующей окружающей среде – вероятно, подойдет инструмент «Опытно-инновационная деятельность» (RIA - Research and Innovation Action). Если технология прошла предшествующие этапы и была продемонстрирована в соответствующей окружающей среде, то есть достигла уровня технологической готовности TRL 6, возможными инструментами в зависимости от объемов ожидаемого финансирования и количества участников могут быть "Инновационная деятельность» (IA – Innovation Action), «Инструмент поддержки малых и средних предприятий» (SME Instrument), «Быстрый путь к инновациям » (FTI - Fast Track to Innovation Pilot).

Анализ прикладных разработок, выполненных в Институте проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины за 2010 -2015 годы [21], показал, что их уровень технологической готовности находится на уровне TRL = 4, т.е. не дотягивает даже до уровня инноваций и эти разработки могут претендовать при участии в конкурсах программы Horizon 2020 лишь на проект типа «Опытно-инновационная деятельность» (RIA- Research and Innovation Action).

Одной из главных причин того, почему разработчикам не удается поднять разработку на более высокий уровень технологической готовности, на наш взгляд, является отсутствие условий для соответствующего сертифицированного тестирования разрабатываемых объектов в

моделируемой рабочей среде. Приобретение сертификационного испытательного оборудования остро стоит в Украине для всех исследовательских учреждений материаловедческого профиля, поскольку требует больших затрат и, возможно, стоит вернуться к идее создания коллективных испытательских центров в НАН Украины, возможно совместных с вузами и промышленными предприятиями. Больше внимания следует также уделять созданию внедренческих start-up компаний по продвижению разработок к рынку.

For the commercialization of scientific development it is necessary to represent at what level of readiness for implementation it is. Of particular importance is the evaluation of the level of readiness of development (PEM) acquired in the implementation of large-scale costly projects, for example, in the space or military industry.

The experience of using the TRL assessment method confirms that it is an effective tool for the development of technologies, facilitating risk management, making optimal decisions regarding the financing of technologies and their transfer.

Today, the use of the method of assessing the levels of readiness has become mandatory in deciding whether to finance projects for the development and transfer of technologies in various international programs. It should also be considered as one of the tools needed to manage the progress of research and development in organizations that develop new technologies.

Keywords: commercialization, scientific development, technology, technology readiness level development readiness

Для комерціалізації наукової розробки необхідно уявляти, на якому рівні готовності до реалізації вона знаходиться. Особливу важливість оцінка рівня готовності розробки (РГР) набуває при реалізації великих дорогих проєктів, наприклад, в космічній або військовій галузі.

Досвід використання методу оцінки РГР підтверджує, що він є ефективним інструментом для розвитку технологій, сприяючи управлінню ризиками, прийняттю оптимальних рішень щодо фінансування технологій та їх трансферту.

Сьогодні використання методу оцінки рівнів готовності стало обов'язковим при прийнятті рішень щодо доцільності фінансування проєктів з розробки і трансферту технологій в різних міжнародних програмах. Його слід розглядати також як один з інструментів, необхідних для управління ходом досліджень і розробок в організаціях-розробників нових технологій.

Ключові слова: комерціалізація, наукова розробка, технологія, рівень готовності технології

1. Banke Jim (20 August 2010). "Technology Readiness Levels Demystified". /Jim Banke, NASA. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-11.
2. Chase, R.L. (26 June 1991). "Methodology for Assessing Technological and Manufacturing Readiness of NASP-Technology Enabled Vehicles (AIAA 91-2389), presented at the 27th Joint Propulsion Conference, June 24-26, 1991, Sacramento CA". / R.L. Chase. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-12.
3. Chase R. L. (January 22, 1999). "A comparison of selected air-breathing propulsion choices for an aerospace plane". /R. L. Chase; L. E. McKinney; H. D. Froning; et al American Institute of Physics. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-4.
4. "Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator (Ver. 1.1) – Final Report and User's Manual" (PDF). Homeland Security Institute. September 30, 2009. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-14.
5. "Best Practices: Better Management of Technology Can Improve Weapon System Outcomes (GAO/NSIAD-99-162)" (PDF). General Accounting Office. July 1999. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-15.

6. *Nolte, William L.* (20 October 2003). "Technology Readiness Level Calculator, Air Force Research Laboratory, presented at the NDIA Systems Engineering Conference". /Nolte, L.; William et al. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-16.
7. "Technology Assessment Calculator". [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-17.
8. *Craver, Jeffrey T.* (26 October 2006). "Technology Program Management Model, Army Space and Missile Defense Command Technical Center, presented at the NDIA Systems Engineering Conference"(PDF)./ Craver, Jeffrey T.; [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-18.
9. "TPMM – Technology Program Management Model (only available to DOD components)". [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-19.
10. *Deutsch Christophe.* "Measuring Technology Readiness to improve Innovation Management" (PDF). INO. Retrieved 2011-11-27. / Christophe Deutsch; Chiara Meneghini; Ozzy Mermut; Martin Lefort. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-20.
11. *Dawson Ben* (31 October 2007). "The Impact of Technology Insertion on Organisations" (PDF). Human Factors Integration Design Technology Centre. /BenDawson [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-21.
12. *Valerdi Ricardo* (March 2004). "An Approach to Technology Risk Management, Engineering Systems Division Symposium MIT, Cambridge, MA, March 29-31, 2004"(PDF)./ Ricardo Valerdi; Ron J. Kohl [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-22.
13. *Graettinger* (September 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 (CMU/SEI-2002-SR-027)". Carnegie Mellon Software Engineering Institute. /Graettinger, P.Caroline; et al. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-3.
14. *Mankins, John C.* (6 April 1995). "Technology Readiness Levels: A White Paper" (PDF). NASA, Office of Space Access and Technology, Advanced Concepts Office./ Mankins, C.John. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-4.
15. "Technology Readiness Level (TRL) – The ESA Science Technology Development Route". European Space Agency, Future Missions Office, Technology Preparation Section. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-5.
16. "Technology readiness levels (TRL)" (PDF). European Commission, G. Technology readiness levels (TRL), HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015 General Annexes, Extract from Part 19 – Commission Decision C(2014)4995. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-6.
17. "Technology Readiness Level".Public Works and Government Services Canada, Office of Small and Medium Enterprises. 2011-08-12. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-7.
18. *Krois Paul.* Richard Mogford & Jacqueline Rehmman (April 2003). "FAA/NASA Human Factors for Evolving Environments: Human Factors, Attributes and Technology Readiness Levels". /Paul Krois; Richard Mogford & Jacqueline Rehmman.[Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-8.
19. "Technology Readiness Assessment Guide (DOE G 413.3-4)". United States Department of Energy, Office of Management. Sep 15, 2011. [Електронний ресурс].- Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level#cite_ref-9.
20. *Нові інструменти програми «Горизонт 2020».* – Київ. –НТУУ «КПІ», 2015 .
21. *Звіт про науково-дослідну роботу «Аналіз стану інноваційного потенціалу Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності практичної реалізації дослідницьких розробок»* - 2016.- Київ. –ІПМ НАН України.