

Шкала уровня технологической готовности TRL и перспективы ее модификации

И.В. Анохов, к.э.н., доцент,

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
(Россия, Москва). AuthorID: 260787; ORCID: 0000-0002-5983-2982.

I.V.Anokhov@yandex.ru

Аннотация. Целью статьи является исследование возможности модификации шкалы уровней технологической готовности TRL (Technology Readiness Level), которая является составной частью методики Technology Readiness Assessment.

В статье рассмотрены недостатки и преимущества шкалы TRL. Предложено повышение ее информативности с помощью дополнительного визуального индикатора, указывающего на число подсистем на конкретном уровне, а также на порядковый номер подсистемы, на которой новая технология в данный момент проходит испытательный процесс. На основе этого шкала TRL может быть модифицирована с помощью дополнительной оси измерения, характеризующей усилия, необходимые для преодоления каждого подуровня шкалы (в том числе длительность, трудоемкость, число попыток, число участников и т.п.). Представляется, что шкала TRL в таком представлении отражает не только количественные аспекты процесса продвижения новой технологии, но отчасти и качественные. В результате возрастет адекватность и информативность методики оценки.

Ключевые слова: технологии, шкала, уровень технологической готовности, TRA, TRL, Technology Readiness Levels, Technology Readiness Assessment.

TRL technological readiness level scale and its modification perspectives

I.V. Anokhov

Abstract. The purpose of the article is to investigate the ways of Technology Readiness Levels scale modification, which is one of the key parts of Technology Readiness Assessment methodology.

The article considers advantages and disadvantages of TRL scale. The author proposes an increase of information content using an additional indicator that shows the number of subsystems on a particular level, as well as the order number of the subsystem, on which the new technology currently undergoes testing process. Accordingly, the TRL scale may be modified with the help of an additional measurement axis characterising forces, which are required to overcome each scale sublevel (including duration, labour intensity, number of efforts, number of participants, etc.). It is believed that TRL scale in this representation characterises both quantitative and partially qualitative aspects of the new technology progress process. Consequently, the adequacy and informativity of the entire assessment methodology would increase.

Keywords: technologies, scale, technology readiness level, TRA, TRL, Technology Readiness Levels, Technology Readiness Assessment.

Введение

Управление технологической сферой находится в центре внимания руководителей государственного и корпоративного секторов экономики, так как от эффективности разработки, испытания и внедрения новых технологий зависит конкурентоспособность и конкретного производства, и национальной экономики в целом. В этой связи прикладываются активные усилия как для стимулирования технологической сферы, так и для совершенствования способов ее оценки.

К числу последних относится методика Technology Readiness Assessment (TRA), которая «представляет собой краткую характеристику (снимок во времени) зрелости технологий и их готовности к внедрению в план проекта разрабатываемой целевой системы и в график выполнения работ» [14].

Модель процесса TRA состоит из трех последовательных этапов:

1. Определение критических технологических элементов (Critical Technology Elements, CTE). На этапе CTE анализируются технологии, подверженные риску, которые, во-первых, необходимы для успешной эксплуатации объекта и, во-вторых, или являются новыми, или применяются новыми способами, или применяются в новых условиях.

- Оценка уровня технологической готовности (Technology Readiness Levels, TRL). Шкала TRL используется для проведения оценок технологической готовности.
- Разработка плана дозревания технологии (Technology Maturation Plan, TMP). Если уровень TRL для СТЕ не соответствует ожидаемому уровню на каждом уровне принятия критического решения, то требуется довести незрелую технологию до соответствующего уровня зрелости. В ходе разработки или ревизии плана дозревания технологии TMP определяются виды деятельности, необходимые для доведения незрелых элементов СТЕ до желаемого TRL.

Для упрощения процесса оценки разрабатываются калькуляторы уровня технологической готовности, которые представляют собой приложение для работы с электронными таблицами. Это позволяет пользователю ответить на ряд вопросов о технологическом проекте и увидеть достигнутый уровень TRL. Поскольку при каждом использовании калькулятора дается ответ на один и тот же набор вопросов, калькулятор обеспечивает стандартизированный, повторяющийся процесс оценки зрелости любой разрабатываемой аппаратной или программной технологии.

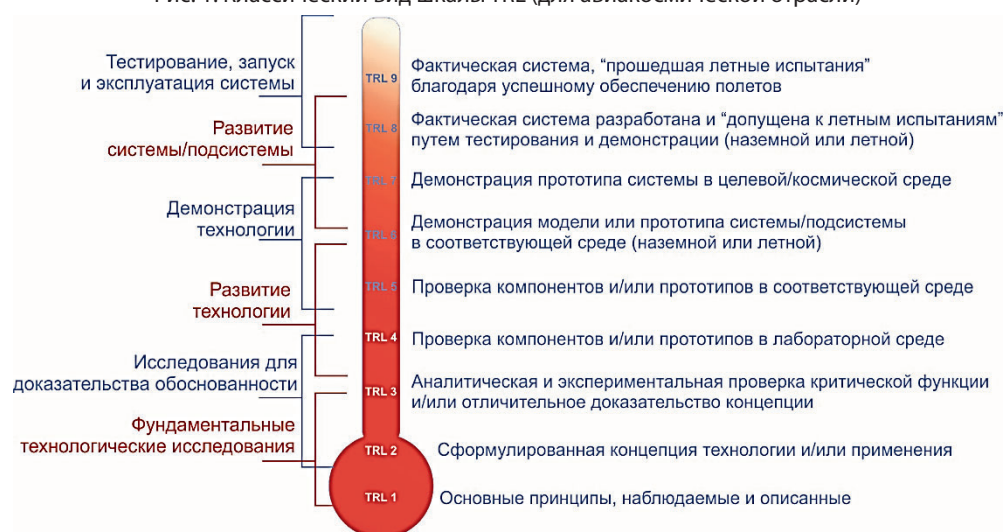
Шкала уровня технологической готовности (TRL) сегодня часто применяется в качестве самостоятельного инструмента. Более того, фактически в настоящее время шкала TRL приобрела нормативный характер в оценке технологий и стала основой для многих стандартов, действующих как за рубежом [15; 19], так и в России [3–6]. В этой связи она имеет важное значение в научно-технической политике.

Шкала TRL

Шкала TRL позволяет оценить ту или иную технологию и наглядно продемонстрировать степень ее зрелости, то есть готовности к материализации, коммерциализации и масштабированию. Как следствие, эта шкала широко востребована и «является основной применяемой в настоящее время» [7, с. 7]. В частности, ее используют «многие фонды и программы поддержки научно-технологических разработок, реализуемые институтами инновационного развития» [11, с. 89], в том числе благодаря тому, что «демонстрация соответствия может проводиться с разной степенью достоверности с учетом прямых и косвенных доказательств как компромисс между потребностью в точности оценки, требуемыми для этого ресурсами и текущими возможностями выполнения оценки» [13].

Шкала TRL была разработана Национальным аэрокосмическим агентством США (рис. 1).

Рис. 1. Классический вид шкалы TRL (для авиакосмической отрасли)



Источник: [17].

Шкала TRL варьируется от 1 (соблюдается основной принцип) до 9 (общая система, успешно используемая в операциях проекта). TRL не является показателем качества реализации технологии.

Преимуществом шкалы TRL является пригодность к модификации и расширению в смежные области. Так, она может дополняться оценкой инженерной готовности ERL (Engineering Readiness Level), готовности интеграции IRL (Integration Readiness Level), организационной готовности ORL (Organization Readiness Level), коммерческой готовности CRL (Commercial Readiness Level), готовности системы SRL (System Readiness Level) [18]. Исследователями предпринимались попытки объединения указанных видов оценки в той или иной форме (табл. 1).

Таблица 1
Обобщенное описание уровней готовности шести ключевых параметров

Уровень готовности параметра, L	Допустимые значения индекса готовности параметра	Технологическая готовность, TRL	Инженерная готовность, ERL	Производственная готовность, MRL	Операционная готовность, ORL	Преимущества ириски, 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	Вывод 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 на 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	Патентный 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

	Уровень по параметру достигнут
	Подуровни частично достигнуты, но соответствующий уровень еще не достигнут

Источник: [12, с. 254].

Тем не менее как использование общепринятой формы шкалы TRL (рис. 1), так и использование шкалы шести ключевых параметров (табл. 1) «означает последовательное прикладывание к измеряемому объекту некоторой мерки и, очевидно, исходит из той предпосылки, что целое равно сумме частей. Измерять явление или рассматривать его как величину, то есть математически, это и значит брать его как целое, равное сумме частей, как нейтральный комплекс» [1, с. 124]. Как следствие, шкала TRL, как и всякий количественный измеритель, имеет ряд недостатков:

- является описательной, то есть фиксирует только внешние проявления рассматриваемого процесса;
- не учитывает степень готовности (или зрелости) ключевых участников: заказчика, разработчика, изготовителя и потребителя;
- имеет линейный характер, в то время как «необходимо учитывать нелинейные взаимосвязи между различными процессами и этапами деятельности организации» [16, р. 1], вследствие чего зачастую «аналогичные оценки TRL могут привести к совершенно не связанным результатам в измененных условиях среды» [16, р. 1].

В итоге, несмотря на то что TRL является полезным инструментом, который может объединить разнообразную техническую информацию в простой для понимания и общения способ, успешность применения TRL зависит от корректного понимания бизнес-процессов и того, как различные технологии вписываются друг в друга.

В данной статье рассматриваются теоретические предпосылки для модификации TRL.

Модификация шкалы TRL

При использовании шкалы TRL предполагается, что чем ближе по шкале технология находится к завершающему уровню TRL9 (рис. 1), тем большей зрелости она достигла и, соответственно, тем в большей степени она жизнеспособна. Этот аспект шкалы можно условно выразить в виде формулы:

$$L = N / Q \quad (1)$$

где N – порядковый номер уровня шкалы зрелости, на котором сейчас находится проект, Q – общее количество уровней зрелости.

В идеальном случае $L=1$, что означает полную готовность новой технологии к масштабированию.

Однако полученный результат такого расчета ничего не говорит ни о длительности каждого уровня, ни об их трудоемкости, ни о количестве повторно пройденных уровней и др. Зачастую нельзя заранее судить и о предварительных затратах времени на проведение всего цикла создания технологий.

Подход, описываемый формулой (1), имеет смысл, если все параметры каждого уровня (длительность, трудоемкость, число попыток и т.п.) примерно равновелики. Если же хотя бы один из уровней существенно отличается по этим параметрам, то данная формула теряет смысл.

Следует отметить, что на практике все этапы проведения испытаний неоднородны и с точки зрения количества участников: если опытно-конструкторская работа в ряде случаев может быть проведена с использованием только внутренних ресурсов разработчика, то, например, испытания опытных образцов, приемка результатов опытно-конструкторских работ требуют участия внешних субъектов (например, сертификационных центров). Более того, на каждом последующем этапе интенсивность взаимодействия с внешней средой возрастает и участие внешних субъектов становится все более важным.

Шкала TRL фактически показывает линейное продвижение изобретения через внешнюю среду к конечному потребителю, который получит возможность эксплуатировать уже не изобретение, а готовое изделие. Если речь идет о научно-технической сфере, то на самом первом уровне (TRL1) изобретатель должен совершить интеллектуальный прорыв – представить идею, а после этого предъявить ее материальное воплощение – опытный образец. Далее новая технология должна преодолеть физические аспекты внешней среды (демонстрировать устойчивый результат на имеющейся материальной базе), системные (инженерную инерцию, существующие технологии производства, организационное сопротивление), а затем социальные, экономические и политические.

На наш взгляд, при использовании TRL следует обратить особое внимание на уровни, отличающиеся повышенной трудоемкостью и длительностью, так как, вероятно, именно они являются наиболее важными в продвижении технологии во внешнюю среду по следующим причинам:

- относительно большое количество операций и число участвующих подразделений свидетельствует о том, что именно на этот уровень приходится максимальное сопротивление внешней среды (материальное, инженерное, организационное и иное). Соответственно, этот уровень является ключевым барьером для многих новых технологий;
- если какая-то конкретная технология преодолела этот этап, то этим фактом доказывается ее конкурентоспособность по сравнению с отклоненными технологиями. Это, в свою очередь, косвенно свидетельствует о том, что эта технология потенциально способна принести наибольшие выгоды.

Фиксирование таких длительных, углубленных и дробных уровней имеет важное значение, так как:

- повышает прозрачность технологической сферы;
- позволяет сфокусировать на них помощь государственных органов и корпоративного сектора с целью стимулирования НТП;
- позволяет развивать кооперацию между субъектами рынка по выделению и совместному использованию подразделений, которые выполняют операции на таких уровнях.

В этой связи предлагается обозначение каждого уровня (например, TRL1) дополнить визуальным индикатором, показывающим число подсистем на этом уровне, а также порядковый номер подсистемы, на которой сейчас находится весь испытательный процесс:

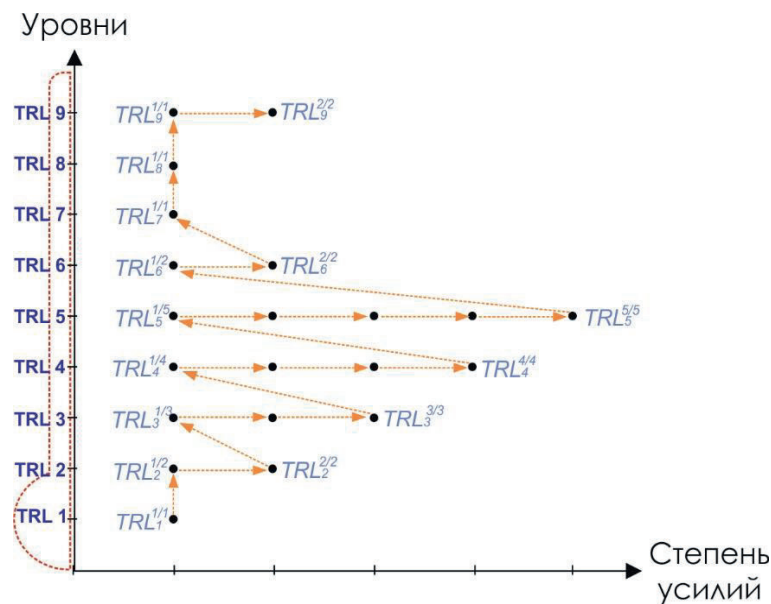
$$TRL_n^{a/b} \quad (2)$$

где n – текущий порядковый номер уровня из шкалы готовности TRL, на котором находится рассматриваемая технология, a – порядковый номер подуровня, на котором сейчас находится процесс, b – общее число подуровней в данном уровне из шкалы готовности TRL.

Например, индикатор $TRL_4^{5/7}$ означает, что процесс достиг четвертого уровня технологической готовности и находится на пятом подуровне из семи существующих. Это позволяет наглядно отличать наиболее технологически дробные, а значит, и потенциально наиболее важные этапы. Более того, если в экономике страны и отрасли планируется масштабное научно-техническое развитие и максимальное импортозамещение, то внимание к таким уровням должно быть повышенным.

С помощью шкалы TRL могут быть графически продемонстрированы и усилия, необходимые для преодоления каждого уровня. Для этого мы можем придать шкале TRL дополнительную ось измерения, которую предлагается обозначить как «степень усилий»: она обобщенно характеризует напряженность преодоления каждого подуровня, что и отражается в количестве таких подуровней (рис. 2). Содержание данного показателя может быть рассмотрено дополнительно.

Рис. 2. Модификация шкалы TRL с помощью дополнительной оси



Источник: составлено автором.

На рис. 2 показано, что наибольшее количество подуровней (как и соответствующее количество усилий, необходимых для продвижения от одного подуровня к другому) наблюдается на уровне TRL5 «Проверка компонентов и прототипов в соответствующей среде» (см. рис. 1). В данном случае преодоление подуровней $TRL_5^{1/5}$ - $TRL_5^{5/5}$ можно понимать как преодоление новой технологией большей части пути по достижению зрелости.

На наш взгляд, шкала TRL в таком представлении характеризует не только количественные, но и в некоторой степени качественные характеристики процесса становления новых технологий. При этом она не утрачивает такого преимущества, как мгновенная визуальная информативность.

Заключение

TRL часто используется как самостоятельный инструмент и представляет собой шкалу, отражающую уровень готовности технологии в соответствии с заданными критериями. Данная шкала фактически приобрела в настоящее время статус стандарта, применяемого в обязательном порядке при оценке новых технологий.

Между тем шкала TRL имеет целый ряд значимых ограничений, ухудшающих ее информативность. В статье предлагается в определенной степени нивелировать эти ограничения с помощью дополнительного визуального индикатора и вспомогательной оси измерения, характеризующей усилия по преодолению каждого уровня (обобщенно характеризующей длительность, трудоемкость, число попыток, количество задействованных лиц и др.). Данный инструмент допускает оцифровку [2], в том числе для структурно разветвленных и национально значимых отраслей с максимальным количеством участников процесса (например, транспортной [8–10]).

Использованные источники

1. Богданов А.А. Тектология (Всеобщая организационная наука). М.: Экономика, 1989. Кн. 1.
2. Виноградов С.А., Попов К.М. Цифровые технологии повышения энергетической эффективности железнодорожных перевозок // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 42–45.
3. ГОСТ Р 56861–2016. Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий. Общие положения // Техэксперт. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200132491>.
4. ГОСТ Р 57194.1–2016. Трансфер технологий. Общие положения // Техэксперт. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141164>.
5. ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий // Техэксперт. 2017. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158331>.
6. ГОСТ ISO/IEC17000–2012 Оценка соответствия. Словарь и общие принципы // Техэксперт. 2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100949>.
7. Гранич В.Ю., Дутов А.В., Мирошкин В.Л., Сыпало К.И. Об уровнях готовности технологий и применении калькулятора УГТ для их оценивания // Экономика науки. 2020. Т. 6. № 1–2. С. 6–10.
8. Каплин В.Н., Римская О.Н. Экспериментальному кольцу АО «ВНИИЖТ» – 90 лет // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81. № 3. С. 278–285. URL: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-278-285>.

9. Косарев А.Б., Римская О.Н., Анохов И.В., Сиротенко И.В. Журналу ВНИИЖТ – 80 лет! Ч. I: Военные годы // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. № 80(6). С. 366–373. URL: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-366-373>.
10. Косарев А.Б., Римская О.Н., Анохов И.В., Сиротенко И.В. Журналу ВНИИЖТ – 80 лет! Часть II: Победа, послевоенное восстановление и современное развитие // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. № 81(2). С. 189–202. URL: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-2-189-202>.
11. Петров А.Н., Комаров А.В. Оценка уровня технологической готовности конкурсных заявок с использованием методологии TPRL // Экономика науки. 2020. Т. 6. № 1–2. С. 88–99.
12. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий // Экономика науки. 2016. Т. 2. № 4. С. 244–260.
13. Тулупов А.В., Васильев И.П., Ионов Д.А., Палаткина Е.В., Петров А.Н., Четчин Е.В. Использование метрик уровней готовности при оценке зрелости продукта или технологии к применению в ОАО «РЖД» // Экономика науки. 2022. № 8(1). С. 31–45. URL: <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2022-8-1-31-45>.
14. Department of defense directive 5000.01. URL: <http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500001p.pdf>
15. ISO 16290:2013. Space systems – Definition of the technology readiness levels (TRLs) and their criteria of assessment. 2013.
16. Markovska V., Kabaivanov S. Process mining in support of technological readiness level assessment // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 878 (2020) 012080. DOI: 10.1088/1757-899X/878/1/012080.
17. NASA System Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev2. Rev2 edn. / ed. by D. Hoffpauir. NASA, 2016. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170001761/downloads/20170001761.pdf>.
18. Nolte W., Kruse R. Readiness level proliferation // AFRL. 2011. URL: https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2011/system/13132_NolteWednesday.pdf.
19. Technology readiness assessment (TRA) guidance. US Department of Defense, 2011.