

**А.М. ХАМАТХАНОВА,**

научный сотрудник Центра научно-технической экспертизы ИПЭИ РАНХиГС  
при Президенте РФ, г. Москва, Россия, iamak@yandex.ru

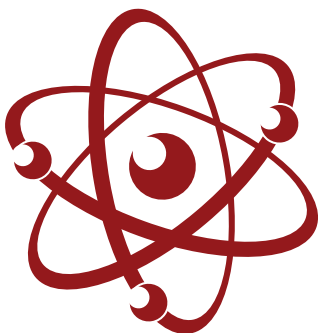
## ГОТОВНОСТЬ К ПРОМЫШЛЕННОМУ ВНЕДРЕНИЮ КАК ИНДИКАТОР ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ

УДК 001.38

Хаматханова А.М. *Готовность к промышленному внедрению как индикатор выбора приоритетных технологических направлений* (Центр научно-технической экспертизы ИПЭИ РАНХиГС при Президенте РФ, г. Москва, Россия)

**Аннотация.** Выполнен обзор показателей определения уровня готовности новых технологических разработок к промышленному внедрению, используемых в зарубежных организациях. Показано преимущество системы определения уровня готовности перед устаревшей системой ГОСТов и техническими условиями, которые препятствуют коммерциализации технологий. Предложено использование уровней готовности технологических разработок в качестве индикаторов при экспертизе научно-технологических проектов в грантодающих организациях, а также при выборе приоритетов научно-технологического развития страны.

**Ключевые слова:** индикаторы готовности технологии, исследования и разработки, научно-технологические приоритеты, НИОКР, Россия, уровни технологической готовности.



На совместном семинаре Минпромторга России, Фонда «Сколково» и Сколтеха «Приоритетные направления развития фотоники», состоявшемся 10 ноября 2015 г., представителями индустриального сектора было отмечено, что результатом большей части выполненных в России НИР и НИОКР является разработка технологий низкого уровня готовности к интеграции в производственные циклы промышленных предприятий различных отраслей реального сектора экономики.

Так, доля России в общем мировом экспорте высокотехнологичных товаров составляет 0,4%. РФ значительно отстает от стран – лидеров по количеству международных патентов при высоких госзатратах на НИОКР и при сопоставимом с ведущими странами количестве исследователей (4 место в мире) [1]. В частности, на каждые инвестируемые государством 10 руб., научные учреждения привлекают только 7 руб. внебюджетных средств [2]. Доля инновационной продукции в ВВП в 2014 г. составляла всего 7,2%. При этом отечественные компании пока мало восприимчивы к технологиям: инвестирование нематериальных активов в 3–10 раз ниже, чем у лидеров. Удельный вес инновационной продукции в РФ в общем выпуске составляет пока всего 8–9%, в то время как в странах-лидерах – около 15% [3].

Существенным препятствием на пути развития и внедрения технологий эксперты называют действующую в России систему ГОСТов (государственных стандартов) [4].

В настоящее время в России действуют следующие стандарты на стадии НИОКР планируемых к производству изделий, которыми руководствуются производители [5]:

- Государственная система стандартизации (ГСС) (ГОСТ Р серии 1);
- Единая система конструкторской документации (ЕСТД, ГОСТ серии 2);
- Единая система технологической документации (ЕСКД, ГОСТ серии 3);
- Система показателей качества продукции (ГОСТ 4);
- Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП, ГОСТ 14);
- Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП, ГОСТ 15);
- Система стандартов в области охраны природы (ГОСТ 17);
- Единая система программной документации (ГОСТ 19);
- Комплексная система общих технических требований (ГОСТ 20);
- Система технической документации на автоматизированные системы управления (ГОСТ 24);
- Государственная система «Надежность в технике» (ГОСТ 27);
- Система технического обслуживания и ремонта техники (ГОСТ 28);
- Система стандартизации в области эргономики и технической эстетики (ГОСТ 29, ГОСТ 50);
- Системы качества (ГОСТ 40) и др.

Тем не менее, система указанных ГОСТов, была разработана преимущественно в советское время (1970 – начале 1990-х гг.), а в этой связи морально устарела, стандарты потеряли свою актуальность и не способствуют инновационному развитию. При этом указанная система ГОСТов является крайне размытой, а на некоторые новые технологии ГОСТ вообще отсутствует. Как справедливо отметили эксперты на конференции «Промышленная политика регионов: устойчивость, импортозамещение, новые резервы развития» 3–4 февраля 2015 г., в России используются «устаревшие ГОСТы, особенно в части проектирования», что существенно осложняет развитие новых технологий [4]. Внедрение технических условий (ТУ) в России, разработанных самостоятельно производителем на новое изобретение, в качестве замены ГОСТов, также не способствует повышению качества технологий. В соответствии с Феде-

ральным законом от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 28.11.2015 г.) «О техническом регулировании» [6], соблюдение ГОСТов и ТУ для разработчиков не является обязательным к исполнению. Зачастую производитель разрабатывает собственные ТУ из-за отсутствия ГОСТа на данную технологию, но в реальности он просто переходит на ТУ из-за невозможности соблюдения требований ГОСТов. А в этой связи говорить о соответствии полученной технологии высокому качеству не приходится.

Стремительное развитие и смена технологий в мире требуют актуализации существующих ГОСТов на НИОКР и сближения с международными стандартами с целью повышения качества разрабатываемых технологий. Этим фактом и обусловлена разработка в России нового перечня программ [7], в числе которых «Перспективная программа развития национальных стандартов в научно-технической и производственной сферах на 2008–2012 годы», «Программа стандартизации высокотехнологичного медицинского оборудования на 2011–2013 гг.», «Программа разработки национальных стандартов на 2015 год», «Межведомственный план по реализации концепции развития национальной стандартизации до 2020 года» и др. Кроме того необходимо, чтобы стандарты на НИОКР способствовали активному продвижению новых технологий, и развивались параллельно с исследовательской деятельностью.

Для существующей системы научно-технологического и инновационного развития Российской Федерации указанные проблемы являются серьезным вызовом, который требует осмысления и выработки соответствующих путей по их парированию.

В этой связи целью данного исследования стало выявление измеряемых индикаторов, позволяющих определить уровни готовности той или иной новой технологии к промышленному внедрению, используемых в крупных зарубежных компаниях и в России. Достижение указанной цели предполагает решение следующего ряда задач:

- обзор показателей, применяемых в настоящее время, для определения уровня готовности новой технологии;

- характеристика каждого уровня готовности технологии;
- выявление количественных показателей, позволяющих определить готовность технологии к внедрению в отечественном реальном секторе.

В качестве системы управления научно-исследовательскими работами, выполняемыми в целях формирования научно-технического задела, представляющего собой совокупность новых технологий, уже достаточно апробированных для того, чтобы подтвердить возможность получения требуемого уровня характеристик и минимизации рисков производства, в отечественной промышленности рядом экспертов предполагается использовать шкалу оценки уровней готовности технологий (УГТ) [8].

Для создания научно-технического задела к заданному сроку в мировой практике используется шкала уровня готовности технологий: это формализованная оценка степени зрелости технологий для практического использования при разработке от идеи до прототипа целостной системы, испытанных в условиях, близких к реальным. Эта технология применяется достаточно давно в различных отраслях, и мировой опыт показал, что это единственный правильный способ к заданному времени получить правильные технологии и начать производство.

Шкала уровней готовности технологий (Technology Readiness Level – TRL) была разработана в 1970–1980-х гг. в США Национальным управлением по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (NASA) с целью градации этапов разработки новых технологий. В настоящее время TRL широко используется в таких американских ведомствах, организациях и компаниях США, как Министерство Обороны, Агентство передовых оборонных исследовательских проектов (DARPA), BBC, Федеральное Управление Гражданской Авиации, Министерство Энергетики, NASA, The Air Force Research Laboratory, Ford, Boeing, Northrop Grumman, Lockheed Martin, GE, Kodak и мн. др. Не стала исключением и Европа, где указанная шкала уровней готовности технологий используется такими компаниями, ведомствами и организациями,

как Европейское космическое агентство, Министерство обороны Великобритании, Nokia, Airbus, Rolls-Royce, BMW, FIAT, французские энергетические компании и др. Вместе с тем система TRL апробирована в Японии и Канаде, например, TOYOTA, Bombardier и др.

Примечательно, что первоначально шкала включала лишь семь уровней технологической готовности, а затем была расширена до девяти уровней, применяемых в настоящее время. Указанная измерительная шкала позволяет оценить состояние научно-исследовательских работ в зависимости от текущего уровня TRL, что способствует упрощению контроля над ходом исследовательских работ со стороны разработчиков и заказчиков и наиболее оптимальному выбору максимально готовых к промышленному внедрению технологий. Данная шкала представляет собой весьма полезный инструмент, с помощью которого все проекты проходят тщательный контроль. Продвижение проекта невозможно, пока успешно не будет пройден предыдущий уровень. При этом указанная шкала существенно упрощает принятие решения о начале разработки конкретных образцов перспективной технологии. Уровни технологической готовности в NASA были представлены в виде шкалы термометра. Перечислим их [9]:

- TRL 1 (УГТ 1) – утверждение и публикация фундаментальных принципов технологии;
- TRL 2 (УГТ 2) – формулировка технологической концепции и оценка возможной области применения;
- TRL 3 (УГТ 3) – начало активных исследований и разработок, теоретическое и экспериментальное доказательство работоспособности представленной концепции;
- TRL 4 (УГТ 4) – апробация в лабораторных условиях основных технологических макетов и компонентов;
- TRL 5 (УГТ 5) – апробация основных технологических компонентов в реальных условиях;
- TRL 6 (УГТ 6) – тестирование модели или прототипа в реальных условиях;
- TRL 7 (УГТ 7) – демонстрация опытного образца или прототипа в условиях эксплуатации;

- TRL 8 (УТГ 8) – окончание разработки и испытание системы в условиях эксплуатации;
- TRL 9 (УТГ 9) – демонстрация технологии в окончательном виде при испытаниях образца.

Каждый из указанных уровней готовности в этой шкале характеризует глубину проработки разрабатываемой технологии с целью создания конечного продукта. Уровни TRL: 1–4 соответствует стадии становления, на котором происходит оценка технологии и испытания, TRL: 5–7 – стадия развития или предпроизводство, а TRL: 8–9 – стадия зрелости или непосредственное осуществление производства.

Шкала TRL дает возможность на каждом этапе оценить уровень готовности технологий с помощью вопросов, содержащих как количественные, так и качественные индикаторы. При принятии решений о готовности техно-

логий используется оценка соответствующих специалистов – исследователей, специализирующихся в данной области знаний, научно-исследовательских организаций и компаний. Однако более объективную оценку готовности технологи могут обеспечить независимые эксперты, которые обладают более широким кругозором, нежели непосредственные исполнители разработок, и при этом лишены чрезмерного оптимизма относительно вероятности успеха изобретения. В частности, экспертная комиссия соответствующего уровня и направления, в состав которой входят ученые, инженеры и представители промышленности, принимает решение о достижении технологией того или иного уровня готовности. При этом на более низких уровнях УТГ доминирующую роль играют ученые, а на высоких – представители промышленности. Рассмотрим более подробно шкалу TRL.

## **СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ РАБОТАМ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Уровень готовности технологии 1** (УТГ 1) является самым примитивным уровнем технологической готовности, на котором происходит исследование физических явлений и эффектов, имеющих теоретическое и экспериментальное обоснование, и формулируются идеи о возможности использования указанных эффектов и явлений в новых технологиях. Для подтверждения получаемых результатов могут проводиться экспериментальные исследования. Экспериментальное обоснование может включать в себя демонстрацию на простейшем лабораторном оборудовании в модельных условиях физического эффекта или явления, на основе которого в дальнейшем может быть создана технология. Теоретическое обоснование может содержать только решение модельных задач, демонстрирующих наличие эффектов, позволяющих создать новую технологию. При этом допускается, что при дальнейшей разработке темы эффекты могут не подтвердиться в более сложных условиях или при более сложной геометрии конструкций. Результатом на данном

уровне будет получение фундаментальных принципов прорывных технологий. Для принятия решения о переходе к УТГ 2 проект оценивается экспертами по следующим показателям [10]:

- проведено упрощенное вычисление параметров окружающей среды;
- физические законы и допущения, используемые в новой технологии, определены;
- «бумажные» исследования подтверждает фундаментальные принципы;
- первоначальные научные наблюдения описаны в журналах, сборниках конференций, технических отчетах;
- сформулированы основные научные принципы;
- определены: спонсор проекта, источник финансирования, правила безопасности, включая обращение с опасными материалами;
- гипотеза исследования сформулирована;
- выявлены ключевые характеристики исследуемого объекта;
- определены исполнители и место проведения научных исследований.

**Уровень готовности технологии 2** (УГТ 2) представляет собой теоретический этап развития новых технологий. Результатом данного этапа будет хорошо сформулированная концепция, имеющая теоретическое обоснование. При этом допускается, что при дальнейшей работе по реализации этой концепции конечный результат может быть не получен. На данном уровне требуется обоснование возможности создания новой технологии, в которой используются физические эффекты и явления, получившие подтверждение на уровне УГТ 1. Для достижения этого уровня готовности технологии необходимо иметь хорошо сформулированную концепцию применения обнаруженных физических эффектов, которая допускает создание новой технологии, позволяющую решить уже существующую проблему или создать продукт с новыми функциональными свойствами. На указанном этапе происходит отбор работ для последующей разработки технологий. Критерием выборки выступает обоснованность концепции, которую оценивает экспертная группа. Для принятия решения о переходе на следующий уровень эксперты оценивают проект по следующим показателям [10]:

- заказчик определен и заинтересован в технологии;
- выявлен потенциал системы и ее компонентов;
- «бумажные» исследования показывают, что применение технологии осуществимо;
- выявлено очевидное теоретическое или эмпирическое дизайнерское решение;
- идентифицированы ключевые элементы технологии;
- частично охарактеризованы компоненты технологии;
- спрогнозирована производительность каждого элемента технологий;
- проведено моделирование с целью проверки физических характеристик;
- определена структура системы в соответствии с самыми основными принципами;
- точные аналитические исследования подтверждают фундаментальные принципы;
- аналитические исследования опубликованы в журналах, сборниках конференций, технических отчетах;

- отдельные элементы технологии функционируют;
- известно, какие устройства будут получены на выходе;
- разработана предварительная стратегия для достижения Уровня готовности 6 (содержание, цели, сроки, затраты и т.д.);
- выявлены возможности и ограничения исследователей и научно-исследовательских учреждений;
- определен объем и масштабы отходов при разработке технологий;
- выявлена необходимость проведения экспериментов;
- проведена качественная характеристика степени рисков (затраты, сроки, результаты).

**Уровень готовности технологии 3** (УГТ 3) представляет собой аналитическое и (или) экспериментальное доказательство эффективности сформулированной концепции создания новой технологии, подтвердившей УГТ 2. На данном уровне требуется обосновать данную концепцию путем демонстрации ее на мелкомасштабных моделях, для которых разрабатывается технология или применения расчетных моделей, учитывающей основные моменты разрабатываемой технологии. При этом указанная концепция должна содержать наиболее принципиальные детали, которые требуются для демонстрации работоспособности новой технологии. Вопросы по технологии, на которые необходимо ответить экспертам для перехода к следующему уровню, представлены ниже следующим перечнем показателей [10]:

- интегрирование процессов и требований безопасности в процесс проектирования;
- выявлены ключевые параметры технологии и связанные с ней риски;
- аналитические исследования подтвердили прогнозы о производительности каждого элемента технологий;
- фундаментальные исследования были подтверждены в лабораторных условиях;
- возможно построение математических/компьютерных моделей;
- проведена оценка предварительных эксплуатационных характеристик и мер системы;

- путем моделирования была проведена оценка прогнозов производительности каждого элемента технологий;
- идентифицирован представитель заказчика, который будет взаимодействовать с группой разработчиков;
- заказчик принимает участие в расчетах потребностей;
- разработаны и определены методы проектирования;
- «бумажные» исследования показывают, что компоненты системы могут функционировать совместно;
- устанавливается метрика производительности для системы;
- начаты исследования по масштабированию;
- оценивается текущая технологичность концепции;
- определены источники ключевых компонентов для лабораторных/стендовых испытаний;
- продемонстрирована научная целесообразность проекта;
- анализ современного состояния последних достижений показывает, что технология удовлетворяет потребности;
- определены зоны риска;
- выявлена стратегия минимизации рисков;
- проведен элементарный функционально-стоимостной анализ выполняемых операций;
- идентифицированы отходы от технологии и место хранения отходов;
- отдельные компоненты системы протестированы в лабораторных условиях.
- ключевые переменные процесса полностью определены, и проведена предварительная оценка опасностей, связанных с технологией;
- отдельные компоненты технологии протестированы в лаборатории или заказчиком;
- подсистемы, состоящие из нескольких компонентов, протестированы в лабораторных условиях с использованием их имитаторов;
- задокументированы общие требования к системе для конечных пользователей;
- была установлена система показателей производительности;
- лабораторные опыты с доступными компонентами показывают их совместную работоспособность;
- продемонстрированы критерии выхода или завершенности технологии, с которыми согласились спонсоры проекта;
- технологии демонстрируют базовую функциональность в моделируемой среде;
- производятся прототипы технологии;
- задокументирован проект концептуальной конструкции (описание системы, технологических схем, общие компоновочные чертежи, материальный баланс);
- начата интеграция исследований;
- инициирована формальная программа управления рисками;
- определены ключевые производственные процессы для оборудования;
- масштабирование документов и конструкций технологии завершено;
- разработано функциональное описание процесса;
- завершено тестирование низкой технологической интеграции на уровне систем в лабораторных условиях, которое характеризуется как низкое;
- анализируются ограничения процесса/параметров и стратегия безопасности управления и т.д.

**Уровень готовности технологии 4** (УГТ 4) – демонстрация работоспособности технологии в лабораторных условиях на достаточно подробных макетах исследования. Существенным условием прохождения данного уровня разработки новых технологий является масштаб исследуемых моделей, он должен соответствовать промежуточному и содержать достаточное количество подробностей конструкции устройств. Оценка уровня готовности технологии с целью перехода к следующему этапу происходит посредством анализа следующих показателей [10]:

**Уровень готовности технологии 5** (УГТ 5) – демонстрация уровня работоспособности технологии на достаточно подробных макетах разрабатываемых устройств в стендовых условиях или в условиях, приближенных к натурным. На данном уровне испытываются

не прототипы, а только детализированные макеты, разрабатываемых устройств. Для перехода к следующему этапу экспертам предстоит проанализировать следующие показатели:

- выявлены взаимосвязи между основными системами и подсистемными параметрами в лабораторных условиях;
- установлены параметры компонентов, доступных для тестирования;
- выявлены системные требования к пользовательскому интерфейсу;
- начато предварительное проектирование;
- удалось установить требования к проверке технологии;
- взаимодействия между компонентами в тестировании реалистичны;
- созданы прототипы оборудования системных компонентов;
- определены целевые показатели доступности и надежности;
- проводится тестирование функций безопасности технологии;
- завершены 3D чертежи и технологические схемы;
- определение требований, содержащих пороговые значения производительности и окончательного заводского дизайна технологии;
- завершен отчет предварительного технико-инженерного обоснования;
- продемонстрирована в лабораторных условиях интеграция модулей/функций системы;
- в окончательном тестировании проведен формальный контроль всех компонентов прототипа;
- определен весь спектр физических и химических свойств системы;
- были разработаны имитаторы отходов;
- тестирование подтвердило, что свойства/производительность имитаторов соответствует свойствам и показателям фактических отходов;
- проведены лабораторные испытания с использованием прототипа системы и имитаторов;
- проведены лабораторные испытания с использованием ограниченного количества реальных отходов и прототипа системы;
- проведена проверка дизайна системы;

- результаты исследований имитаторов и реальных отходов являются непротиворечивыми;
- уточняются ограничения для всех параметров процесса и безопасности контроля;
- завершено тестирование плана проверки инженерной документации;
- документируется план управления рисками;
- проводятся процесс анализа рисков, доработка инвентаризации опасных материалов и определение уровня управления безопасностью на соответствующий эскизный проект и др.

**Уровень готовности технологии 6** (УГТ 6) – на указанном этапе необходимо продемонстрировать работоспособность технологии на прототипах разрабатываемых устройств в стендовых условиях или в условиях, близких к реальным. Масштаб разрабатываемых систем должен уже быть полным. Указанный уровень является наивысшим уровнем развития технологии, на котором осуществляются научно-исследовательские работы. Если данная технология успешно демонстрирует свою работоспособность, то в этом случае принимается решение о ее дальнейшем внедрении в конкретные промышленные продукты. Для этого требуется выполнение следующих показателей:

- в технических показателях выявлены взаимосвязи между системой и подсистемными параметрами;
- установлены доступность и надежность уровней системы;
- произведена интеграция безопасности в процесс проектирования;
- выявлена операционная среда для окончательной системы;
- запущен сбор фактической ремонтпригодности, надежности и обслуживаемости данных системы;
- завершено определение базовой производительности (в том числе общая стоимость проекта, график и объем);
- определены эксплуатационные ограничения для компонентов (начиная от дизайна, безопасности, соблюдения экологических норм и др.);

- доступна документация по эксплуатационным требованиям;
- для инженерного проектирования масштабных систем определены ошибки функционирования;
- определена система технического интерфейса;
- по техническим параметрам продемонстрирована интеграция прототипа;
- анализ проекта гарантирует, что технология будет доступна по требованию;
- создан интерфейс управления процессом;
- приобретена программа для отсчета этапов создания окончательной конструкции;
- создан прототип критических производственных процессов;
- большая часть допроизводственного оборудования доступна для изготовления системы;
- техническая целесообразность системы полностью продемонстрирована;
- технология проектной спецификации полностью завершена и готова для детального проектирования;
- получен высококачественный функциональный прототип оперативной системы;
- завершен окончательный технический отчет по технологии;
- проведены инженерно-промышленные испытания на полном наборе имитаторов с помощью прототипов системы;
- результаты лабораторных, инженерных экспериментов и испытаний опытного образца не противоречат друг другу;
- полностью проведена демонстрация производства (не менее 1 раза);
- завершены процессы анализа рисков, инвентаризации опасных материалов и определение уровня управления безопасности на предварительной/окончательной фазе проекта и др.

**Уровень готовности технологии 7** (УГТ 7) – демонстрация в эксплуатационных условиях прототипа системы. На данном уровне развития технологии проводятся работы по внедрению технологии в реальное устройство, которая должна продемонстрировать свою работоспособность.

**Уровень готовности 8** (УГТ 8) – на этом уровне происходит сборка реального устройства в условиях, близких к реальным. При этом требуется продемонстрировать работоспособность новой технологии для конкретного устройства в сочетании с работой других устройств.

**Уровень готовности 9** (УГТ 9) – демонстрация работоспособности реальной системы в реальных условиях, после чего принимается решение о применении технологии на серийных изделиях.

Необходимо отметить, что указанная формулировка критериев достижения уровней готовности представлена в самых общих чертах. Более четкие формулировки критериев достижения УГТ, а также сроки достижения и необходимая ресурсная база обозначены отдельно в УГТ-плане, который составляется на первоначальном этапе проекта с возможностью внесения необходимых корректировок. Обсуждение УГТ и УГТ-плана имеет существенное значение для взаимодействия ученых, инженеров и представителей промышленности.

При осуществлении проектов по созданию новых технологий употребляется термин «долина смерти», который характеризует промежуток между уровнями технологической готовности 4 и 7. Указанная область требует существенных инвестиций, времени и готовности к рискам. При этом в авиационной отрасли «долина смерти» расширяется из-за длительности прохождения уровней (до 20 лет) и критических требований по безопасности для многих составляющих. Для преодоления «долины смерти» эти технологии, несмотря на их потенциальную эффективность, требуют участия государства или разделения рисков за счет частно-государственного партнерства, так как заинтересованный круг инвесторов или покупателей при таких рисках крайне узок (рис. 1). Примечательно, что компании и страны, которые не обладают механизмами прохождения данной области, рискуют оказаться на периферии [11]. При этом последующие уровни технологической готовности финансируются за счет бизнес индустрии.

Следует отметить, что в отечественной практике система TRL (УГТ) апробируется,

|                             |                                              |                                    |                                                           |                                      |
|-----------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Бизнес<br>финансирование    | Область<br>ответственности<br>промышленности | 9                                  | Эксплуатационные испытания<br>натурного образца           | Создание<br>нового<br>образца        |
|                             |                                              | 8                                  | Заводские испытания натурного<br>образца                  |                                      |
|                             |                                              | 7                                  | Экспериментальные испытания<br>прототипа                  |                                      |
| Бюджетное<br>финансирование | Область<br>ответственности<br>науки          | Разработка ТТЗ<br>на новый образец |                                                           | Принятие<br>решений                  |
|                             |                                              | 6                                  | Испытания в моделируемых<br>условиях эксплуатации         | Демонстрация<br>технологий           |
|                             |                                              | 5                                  | Испытания модели в условиях,<br>близких к реальным        |                                      |
|                             |                                              | 4                                  | Экспериментальная проверка<br>в лабораторных условиях     | Разработка<br>технологий             |
|                             |                                              | 3                                  | Определение ключевых технологий,<br>оценка рисков         |                                      |
|                             |                                              | 2                                  | Сравнение альтернатив, выбор<br>технологической концепции |                                      |
|                             |                                              | 1                                  | Оценка влияния новых технологий                           | Фундамен-<br>тальные<br>исследования |

Рис. 1. Уровни готовности технологий в инновационном цикле при разных источниках финансирования

Источник: Сливцкий А.Б. Совершенствование инструментария выбора государственных приоритетов, механизмов разработки и реализации стратегий инновационного развития [12]

преимущественно в авиастроении, например, при оценке результативности исследований, совместно реализуемых РАН и ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация». Так, указание о необходимости применения данной системы содержится в проекте Государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности» на 2013–2025 гг. В частности, отмечено, что финансирование исследований будет разделено на поисковые НИР, как правило, до 3–4 уровня готовности технологии и прикладные НИРы, с 3–4 до 7 уровня технологической готовности [12]. Внедрение УГТ в авиационной промышленности обусловлена ориентацией производителей на мировые рынки сбыта.

Готовность технологии к промышленному применению выражается через достижение определенных стратегических целей развития технологий, которые могут быть оценены количественными индикаторами. Затем происходит декомпозиция на нижестоящие уровни, где выявляются измеряемые индикаторы повышения эффективности ряда технологических параметров, определяются весовые показате-

ли, характеризующие степень влияния на коэффициенты более высоких уровней, а также взаимное влияние разработанных технологий в различных компонентах сложных систем. В совокупности указанная система индикаторов позволяет обеспечить направленность исследований и разработок на повышение конкурентоспособности наукоёмкой продукции.

В числе количественных индикаторов, характеризующих готовность технологии к промышленному применению, которые необходимо учитывать наряду с качественными показателями, используемыми при экспертной или исследовательской оценке, следующие:

- *патентный и публикационный анализ*, оценивающий готовность технологии путем измерения количества патентов и публикаций в течение определенного периода времени;
- *повышение степени безопасности и надежности технологии*, включающее следующие индикаторы [13]:
  - повышение вероятности безопасной работы в %;
  - снижение вероятности неуспешного применения технологии в %;

- снижение интенсивности неуспешного применения технологии;
- увеличение назначенных межремонтных и календарных сроков службы технологии;
- полнота и глубина охвата технологии системой диагностирования в % и т.д.;
- *снижение стоимости жизненного цикла*, обозначающее уменьшение совокупных затрат потребителя на приобретение, использование и ликвидацию технологии, что включает учет следующих затрат:
  - затраты на создание научно-технического задела;
  - затраты на производство технологии (материальные затраты, амортизация, затраты на оплату труда и прочие затраты);
  - затраты на внедрение в эксплуатацию технологии, связанные с издержками на обучение персонала, дооснащение ремонтной базы и т.п.;
  - затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (издержки на расходные материалы и энергоресурсы, расходы на содержание эксплуатационного персонала, текущие, капитальные и неплановые ремонты, техническое обслуживание).
- *повышение показателя производительности труда при решении задач с помощью новой технологии*;
- *выполнение экологических норм*:
  - содержание в технологии вредных компонентов, выбрасываемых в окружающую среду;
  - вероятность выбросов вредных компонентов при использовании технологии (жидкостей, газов, излучений и др.);
- *готовность рынка принять указанные технологии*, а не только возможность практического применения новой технологии, что, безусловно, подразумевает оценку следующих показателей:
  - наличие или отсутствие рынка;
  - объемы рынка;
  - структура и сегментация рынка;
  - тенденции на рынке за последние 5 лет и динамика роста по указанным технологиям.

Указанный перечень количественных индикаторов далеко неполный, он может быть

гораздо шире в зависимости от способов и методов оценки, осуществляемый непосредственно исполнителем либо независимыми экспертами.

Примечательно, что предлагаемая шкала Уровней готовности технологии позволит:

- обеспечить сокращение времени выведения новой технологии к коммерческому использованию;
- снизить риск, связанный с инвестированием в незрелые технологии;
- создать благоприятные условия для привлечения частных инвесторов;
- обосновать выделение государственного финансирования;
- проводить аудит модернизации, инновационного и технологического развития;
- сформировать научно-методологический базис оценки и систему количественных индикаторов инновационного и технологического развития страны.

Вместе с тем чтобы вывести технологию на рынок одной лишь ее готовности недостаточно. Одновременно должен быть разработан производственный процесс, который обеспечивал бы экономически выгодное производство продукта в необходимом объеме и надлежащего качества.

При внедрении принципиально новых технологических решений на уровне УГТ 6 – УГТ 7, когда промышленность уже готова освоить разработанную технологию, может возникнуть убыточность производственной деятельности в силу следующих причин:

- недостаточный опыт во внедрении и эксплуатации новой технологии;
- применение новой технологии было осуществлено раньше срока, до приведения в соответствие издержек с реальным уровнем цен;
- неконкурентоспособность НИОКР, лежащая в основе разработки новой технологии;
- низкий уровень анализа экономической конъюнктуры и сегментации рынка;
- отсутствие потенциального спроса;
- неправильный выбор стратегии маркетинга;
- предприятием не учтено поведение потенциальных конкурентов.

Тем не менее указанный инструмент УГТ существенно упростит создание конкурентоспо-

собных научно-технологических заделов в нашей стране, что является ключевым условием нормального функционирования и инновационного развития национальной экономики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях низкого уровня готовности отечественных технологий к интеграции в производственные циклы предприятий промышленного сектора требуется поиск количественных и качественных индикаторов, позволяющих коммерциализировать разработки отечественных ученых. В частности, в зарубежной практике широко апробирована система TRL (УГТ), содержащая различные измеряемые индикаторы, и позволяющая оценить готовность технологии к промышленному внедрению. В настоящее время за рубежом используется шкала из 9 уровней технологической готовности, которая успешно применяется в организациях и ведомствах различных стран мира. Система оценки TRL включает перечень вопросов, при положительном разрешении которых, экспертная комиссия или исследовательская группа принимает решение о переходе к следующему уровню готовности. На разных этапах оценки уровней готовности технологии могут использоваться различные количественные и качественные индикаторы, которые не всегда могут быть вычленены из общей постановки формализованных вопро-

сов, содержащихся в калькуляторе TRL. Наиболее распространенные из них, которые учитываются на самом опасном для новой технологии промежутке, именуемым «долиной смерти» (между TRL 4–7), являются следующие: количество патентов и публикаций, объемы, сегментация и структура рынка, повышение безопасности и надежности, повышение производительности, соблюдение экологических норм и многие другие. То есть те показатели, которые могут способствовать коммерциализации разработок.

В настоящее время стандартом на стадии НИОКР в России служит устаревшая система ГОСТов или самостоятельно разработанные производителем технические условия, а использование УГТ шкалы до сих пор не получило широкого применения. Указанная система апробируется пока преимущественно в авиационной отрасли в связи с нацеленностью отрасли на международные рынки сбыта. В этой связи предложено актуализировать стандарты на стадии НИОКР в соответствии с мировой практикой, а также использовать количественные и качественные индикаторы шкалы Уровней готовности технологии, в частности, при экспертизе научно-технологических проектов в грантодающих организациях. Это позволит существенно оптимизировать выбор приоритетов научно-технологического и инновационного развития в нашей стране.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 2016: Global R&D Funding Forecast (2016) / Battelle, R&D Magazine. [http://csis.org/files/publication/151116\\_Cohen\\_GlobalForecast2016\\_Web.pdf](http://csis.org/files/publication/151116_Cohen_GlobalForecast2016_Web.pdf).
2. Что мешает российской науке быть эффективной (2015) / Стратегия научно-технологического развития российской федерации. <http://sntr-rf.ru/discussions/chto-meshaet-rossiyskoy-nauke-byt-effektivnoy/>.
3. Эксперты дали свою оценку развитию инноваций в России (2015) / РБК. <http://www.rusventure.ru/ru/press-service/massmedia/detail.php?ID=59222>.
4. Поддержка отечественного производителя должна быть избирательной (2015) / Аналитический центр при Правительстве РФ. <http://ac.gov.ru/events/04614.html>.
5. Бирюков И. (2011) Стандарты на выполнение НИОКР / НИОКР. <http://wiki.itorum.ru/2011/04/standarty-na-vypolnenie-niokr/>.
6. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 28 ноября 2015 г.) (2002) О техническом регулировании / Техэксперт. <http://docs.cntd.ru/document/901836556>.
7. Программные документы (2016) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Информационный портал по стандартизации. [http://standard.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXU FNLYwN\\_gzBzA09vixBXR0AXAwHc\\_2CbEdFAPFx-ROEI/](http://standard.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXU FNLYwN_gzBzA09vixBXR0AXAwHc_2CbEdFAPFx-ROEI/).
8. Классификация видов (типов) научно-исследовательских работ. Управление НИР на основе уровней готовности технологий (2012) / Технологическая платформа «Авиационная мобильность и авиационные технологии». <http://www.aviatp.ru/upload/iblock/839/fokzgydz%20uvjluo%20-%20fgnmpmxdlzicbzhrevb%20ebahbvckgwyldmytyw.pdf>.

9. Попов Э.В., Савинич В.С., Сосунов Я.А., Шведов А.Г. (2014) Оценка готовности технологий / Интернет-журнал *Aviaglobus*. <http://aviaglobus.ru/2014/06/30/8346/>.
10. Technology Readiness Assessment (TRA). Technology Maturation Plan (TMP). Process Implementation Guide (2013) / U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/ATTACHMENT-TRA%20Guide%20%20%209-3-13.pdf>.
11. Rolls-Royce и R&D: инструкция по применению (2014) / Атомный эксперт. <http://atomicexpert.com/content/rolls-royce-%D0%B8-rd-%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%BF%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E>.
12. Сливицкий А.Б. Совершенствование инструментария выбора государственных приоритетов, механизмов разработки и реализации стратегий инновационного развития (2013) / Московский государственный университет. [http://conf.msu.ru/archive/spa.msu.2013/2356/3967\\_8487.pdf](http://conf.msu.ru/archive/spa.msu.2013/2356/3967_8487.pdf).
13. Касимов Б.Р. Показатели безопасности технических объектов / *Rusnauka.com*. [http://www.rusnauka.com/2\\_KAND\\_2011/Tecnic/78588.doc.htm](http://www.rusnauka.com/2_KAND_2011/Tecnic/78588.doc.htm).

## REFERENCES

1. 2016: Global R&D Funding Forecast (2016) / *Battelle, R&D Magazine*. [http://csis.org/files/publication/151116\\_Cohen\\_GlobalForecast2016\\_Web.pdf](http://csis.org/files/publication/151116_Cohen_GlobalForecast2016_Web.pdf).
2. What prevents Russian science from being effective (2015) / The strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. <http://sntrrf.ru/discussions/chto-meshaet-rossiyskoy-nauke-byt-effektivnoy/>.
3. Experts gave their opinion on development of innovations in Russia (2015) / *RBK*. <http://www.rusventure.ru/ru/press-service/massmedia/detail.php?ID=59222>.
4. Support programmes of domestic manufacturers should be selective (2015) / Analytical centre affiliated with the Government of Russian Federation. <http://ac.gov.ru/events/04614.html>.
5. *Birjukov I.* (2011) Standards for realizing Research & Development / R&D. <http://wiki.itorum.ru/2011/04/standarty-na-vypolnenie-niokr/>.
6. Federal Law dated 27 December 2002 № 184-ФЗ (ed. dated 28 November 2015) (2002) On technical regulations / *Techexpert*. <http://docs.cntd.ru/document/901836556>.
7. Programme documents (2016) / The federal agency on technical regulation and metrology. Informational portal on standardization. [http://standard.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MS-SzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwN\\_gzBzA09vixBXr0AXAwHc\\_2CbEdFAPFxR0EI/](http://standard.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MS-SzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwN_gzBzA09vixBXr0AXAwHc_2CbEdFAPFxR0EI/).
8. Classification of types (formats) of scientific-research work. Management of Scientific-Research body of work using indicators of levels of technologies viability as a measurement tool (2012) / Technological platform «Aviation mobility and aviation technologies». <http://www.aviatp.ru/upload/iblock/839/fokzgydz%20uvjluo%20-%20fgnmpmx-dltzicbzhrevb%20ebahbvckgwylmytyw.pdf>.
9. *Popov Je.V., Savinich V.S., Sosunov Ja.A., Shvedov A.G.* (2014) Evaluation of technological preparedness / Online magazine «*Aviaglobus*». <http://aviaglobus.ru/2014/06/30/8346/>.
10. Technology Readiness Assessment (TRA). Technology Maturation Plan (TMP). Process Implementation Guide (2013) / U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/ATTACHMENT-TRA%20Guide%20%20%209-3-13.pdf>.
11. Rolls-Royce and R&D: instruction for use (2014) / *Atom expert*. <http://atomicexpert.com/content/rolls-royce-%D0%B8-rd-%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%BF%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E>.
12. *Slivickij A.B.* (2013) Enhancing instruments for selecting state priorities, mechanisms of development and realization of strategies for innovative development / *MSU*. [http://conf.msu.ru/archive/spa.msu.2013/2356/3967\\_8487.pdf](http://conf.msu.ru/archive/spa.msu.2013/2356/3967_8487.pdf).
13. *Kasimov B.R.* Security Indicators of technical objects/ *Rusnauka.com*. [http://www.rusnauka.com/2\\_KAND\\_2011/Tecnic/78588.doc.htm](http://www.rusnauka.com/2_KAND_2011/Tecnic/78588.doc.htm).

### UDC 001.38

*Khamatkanova A.M. Criteria for choosing priority technological fields for development – viability of technological inventions for industrial implementation (The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia)*

**Abstract.** There has been a review done of indicators for defining the viability of new technological inventions for industrial implementation, used by international organisations. The article demonstrates the advantage of the latter system compared to the GOST system and challenges of technical circumstances, which prevent the commercialisation of technologies. Grantmaking organisations are recommended to employ a method where levels of technological inventions' viability in the market act as main criteria for evaluating scientific-technological projects, as well as when choosing the priority fields for the scientific-technological development of the country.

**Keywords:** indicators of technologies industrial viability, R&D, science and technology priorities, Russia, levels of technological viability.