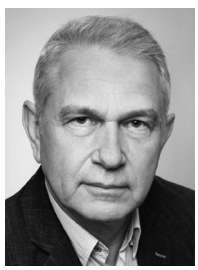
Продолжение. Начало в №9

Как преодолеть ловушки стереотипов, или Методы повышения результативности НИР

Эффективное управление современными научно-исследовательскими работами предполагает использование объективных инструментов, адаптирующих классическую методологию уровней готовности технологий под требования проверяемости результатов многокритериального анализа. Ранжирование альтернативных решений по риску внедрения, учет необходимых и достаточных испытаний, формулировка объективных критериев уровней готовности УГТ+ как ключевого элемента формирования технологической воронки, поэтапная фильтрация тупиковых концепций дает возможность своевременно выявлять технологические риски и минимизировать издержки на неперспективные проекты.





Андрей Сартори,
главный специалист филиала ПАО «ОДК-УМПО» «Опытно-конструкторское бюро им. А.М. Люльки», кандидат физико-математических наук, доцент



Анастасия Соловьева,
главный конструктор филиала ПАО «ОДК-УМПО» «ОКБ им. А.М. Люльки» (г. Москва)

Уровни готовности технологий УГТ+, УГП+

Уровни готовности технологий, введенные в практику более 40 лет назад [1–3], оказались чрезвычайно ценным инструментом для упрощения и повышения результативности управления НИР. Регулярно обновляемые нормативные документы, определяющие порядок планирования научными разработками с метриками УГТ [4], могут успешно применяться в отдельных поисковых работах. Однако управление НИР для исполнителей и квалифицированного заказчика (КЗ) обретает общий базис и согласованность лишь при условии, что критерии, установленные в нормативных документах, будут расширены для достижения объективности, удовлетворения требованиям необходимости и достаточности, раскрытия содержания, результата, выбора лучшего решения, а не факта предоставления отчета.

Анализ предложений потенциальных исполнителей госзаказа 2.0 (НИР в интересах квалифицированного заказчика), а также изучение структуры и результатов НИР позволили выявить и систематизировать дополнительные критерии оценки, повышающие достоверность результата. Их использование позволит заказчикам и подрядчикам формировать детализированные технические задания (ТЗ) и планы по шаблону. Это, в свою очередь, минимизирует вероятность упущения критических факторов, способных на поздних этапах замедлить или остановить цикл создания новых изделий. Ввиду этого в контексте настоящего исследования настройка системы критериев уровней готовности рассматривается как важнейший аспект повышения результативности, инструмент своевременного обнаружения технологических рисков путем их включения в объем испытаний, а также снижения издержек на реализацию неперспективных проектов.

Отметим, что уровень производственной готовности обычно упускается из виду на начальных этапах разработки инновационных решений. Однако без его учета оценка конкурентоспособности промышленных изделий оказывается неконтролируемо завышенной. Производственная составляющая также может содержать ловушки и трудно преодолимые препятствия. Если при выборе концепции не принять во внимание такие особенности, как доступность новых материалов и технологий, себестоимость обработки, контроль качества, наличие ресурсов, то это скажется на конкурентоспособности решения задачи КЗ.

Принципы детализации критериев просты: каждый из них направлен на минимизацию риска позднего определения проблем по критическим факторам, предотвращение нерационального расходования средств на верификацию бесперспективных концепций и, как следствие, способствует повышению общей результативности. Дополненные критерии согласуются с существующими национальными стандартами [5], расширяя их содержательную часть для обеспечения максимальной объективности, полноты и проверяемости.

Детализация критериев позволяет более точно установить реальный уровень готовности технологии к внедрению в изделие КЗ, служит основой для отбора наиболее перспективных инновационных концепций. Как будет показано далее на примере S-кривой, чрезвычайно важно связать уровень готовности с вероятностью внедрения, так как от этого напрямую зависит форма технологической воронки (сколько альтернативных решений должно рассматриваться на каждом УГТ), что в итоге обеспечивает повышение результативности НИР.

Исследование структурировано по двум ключевым этапам. Первый предполагает детализацию результатов поисковых исследований (УГТ 1 – УГТ 3), которые ожидает получить КЗ. Второй включает объединение критериев по функциональным группам (компонентам) для повышения удобства и обеспечения полноты последующей верификации. Для каждого компонента при разработке плана работ конкретизируются его индивидуальные объективные критерии достижения уровня готовности в зависимости от контекста проекта.

Принципиально важно, что уровень готовности определяется не для абстрактной технологии, а для каждого критического элемента изделия КЗ отдельно в условиях эксплуатации. При этом действует жесткое правило «узкого горлышка»: итоговый уровень готовности не может быть выше минимального значения уровней готовности его компонентов.

Детализация результатов УГТ 1 – УГТ 3 для поисковых НИР

Конструктор квалифицированного заказчика оперирует конкретными техническими решениями. Ему объективно сложно сформулировать содержание научно-исследовательских работ, методологию измерений и фундаментальные результаты в научных терминах, вдобавок к этому сама базовая технология еще не определена. На данной стадии потребность КЗ сводится к выбору оптимального технологического решения, а целевые параметры напрямую зависят от той концепции, которую только предстоит выбрать. Поэтому целевые показатели должны быть основаны на выводах аналитического поиска, обосновании наилучших практик, уточнении критических факторов, верификации данных. В поиске и поэтапном отборе альтернативных концепций заключается ключевое отличие исследуемого процесса от традиционных опытно-конструкторских работ (ОКР), реализуемых в рамках жестко регламентированного ТЗ.

Обсуждение технологических запросов с конструкторами показало, что приведенный ниже шаблон позволяет более структурированно готовить ТЗ с разделением результатов по уровням готовности, предвосхитить тупиковые направления. Вполне возможно, что результаты исследования не смогут удовлетворить ряду критериев УГТ, тогда это должно стать весомым основанием

для пересмотра или приостановки работ. Вместе с тем их прекращение допустимо также и в случае, если все установленные показатели обеспечивают полноту и достаточность исследований, но практическая реализация концепции оказалась невозможной в силу объективных физических ограничений (законов природы).

Результаты, ожидаемые КЗ на УГТ 1

Основным итогом на данном этапе выступает разработка и первичное обоснование инновационной концепции, включающей в себя альтернативные технологии, совокупность которых образует начальный этап фильтрации и отбора, вход в технологическую воронку. Здесь концепция представляет собой гипотезу инновационного решения задачи КЗ, которую не удалось выполнить другими путями в конкретных условиях эксплуатации изделия. Она может содержать материал, характеристики, метод изготовления, технологию, алгоритм, предполагаемые преимущества с точки зрения конкурентоспособности изделия КЗ, гипотезу новизны на современном уровне техники. Формирование технологической воронки по принципу «от поставленной задачи», а не «от априорно заданной технологии» выступает самым эффективным инструментом нивелирования рисков и позволяет избежать реализации неперспективных (тупиковых) идей, возникающих при безальтернативной ориентации на единственный, выбранный заранее технологический базис.

На данном этапе предварительно формулируются критические и стоп-факторы, в том числе в части контроля качества, производственного потенциала для макетирования и применимости инновационных материалов, оценки перспектив интеграции технологии в изделие КЗ. Параллельно проводится оценка достаточности выделяемых ресурсов, а также обоснование того, почему передовые подходы позволят достичь результата там, где другие не достигли успеха. Базовые концепции разрабатываются на основе имеющихся данных, профильных компетенций исполнителя, первоначального анализа информации и включают определение критериев эффективности, служащих основой для сравнения альтернативных проектных вариантов. Результатом указанных процедур выступает предварительный выбор наименее рисковых идей и целесообразность продолжения работ на УГТ 2.

Результаты, ожидаемые КЗ на УГТ 2

По итогам этого этапа квалифицированный заказчик ожидает получить обоснованную концепцию или набор альтернативных решений, сформированных на основе достигнутого на уровне УГТ 1 системного понимания соответствия технологии и задачи. На этапе УГТ 2 проводится углубленный анализ существующего уровня техники, причин недостижения требуемых характеристик, возможных сложностей и путей преодоления. Программа отчетности включает детальное описание критических, второстепенных и стоп-факторов (в том числе блокирующие патенты), оценку их взаимного влияния. Основное внимание уделяется полноте и достаточности испытаний по критическим и стоп-факторам, без учета второстепенных. Приводятся результаты математического моделирования новых подходов и аргументированно обосновывается выбор проектных концепций для последующего макетирования на уровне УГТ 3, разрабатываются программа и методика экспериментальных исследований, формируется технический облик испытательного стенда, включая подбор методов и средств диагностики. Конечный результат – отбор оптимального решения из ряда альтернативных и научно-техническое обоснование актуализированной концепции, подлежащей практической реализации и экспериментальной проверке на стадии УГТ 3.

Результаты, ожидаемые КЗ на УГТ 3

Завершающая фаза поискового исследования – этап демонстрации жизнеспособности концепции технологии на уровне экспериментального макета (материал, элемент конструкции, алгоритм). Согласно такому подходу, макет – это упрощенная имитация конечного продукта для проверки гипотез на предмет устойчивости к критическим и стоп-факторам. Конструктивно он может быть выполнен в виде отдельных составных частей, не требующих на текущей стадии взаимной интеграции. Примечательно, что уровень готовности инновационного материала оценивается через степень готовности выполненного из него конструктивного элемента изделия КЗ. Настоящий этап не включает процедур оптимизации, проведение которых предусмотрено на более поздних стадиях УГТ.

Соответственно, в составе и результатах работ целесообразно отобразить обоснование критических

факторов и диапазон их изменений, отсутствие стоп-факторов на уровне текущего понимания технологии, программу и методику испытаний (ПМИ), соответствующий эскизный проект на макет и стенд, их изготовление и сборку, проведение необходимых и достаточных испытаний по ПМИ, анализ с подтверждением плановых показателей, предварительную оценку интеграции в состав изделия, а также ресурса работы в составе изделия КЗ, обоснование работ по достижению УГТ4.

Связь уровней готовности с вероятностью внедрения: S-кривая

Методическая ценность управления по уровням готовности существенно возрастает благодаря выявленной в методике «Бережливого НИР» S-образной зависимости между вероятностью внедрения технологии и этапом УГТ [6]. Принимая возражения оппонентов, что каждый проект индивидуален, отметим, что статистический аппарат иногда позволяет давать количественную информацию о свойствах систем даже в тех областях, где законы поведения ее единичного элемента не могут быть заданы. Например, такой прием используется в классической термодинамике и при прогнозировании движения транспортных потоков.

При разработке методики бережливого управления НИР в выборе между полным отсутствием априорной информации о реализуемости конкретной технологии и среднестатистическим распределением вероятностей коммерциализации, полученных на однотипных проектах, нами выбран второй подход. Иными словами, шансы на успех конкретной технологии приняты за интегральный критерий для отбора альтернативных вариантов.

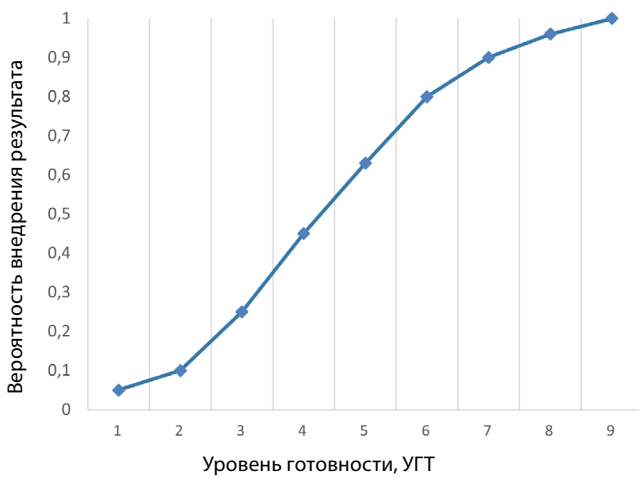


Рисунок. Зависимость вероятности внедрения результата инновационной концепции от УГТ. Вероятность внедрения – величина, обратная риску. Источник: составлено авторами

В технологической воронке целесообразно оставлять только те решения, которые занимают верхние позиции в рейтинге вероятности внедрения. Научная гипотеза заключается в том, что вместо трудоемкой и зачастую нереализуемой на практике оцифровки множества факторов (технологических, производственных, организационных, правовых, экономических, валютных) целесообразнее использовать интегральный показатель вероятности внедрения. При таком подходе первостепенное значение имеет сам факт недостижения целевого уровня готовности технологии, вне зависимости от природы деструктивного фактора, вызвавшего данное отклонение. Таким образом обеспечивается отбор и реализация наиболее успешного варианта – аналогично тому, как путевки на Олимпиаду получают те, кто победил в отборочных соревнованиях, не важно, по какой причине.

Данная закономерность, наглядно иллюстрируемая S-кривой, служит фундаментальной основой для повышения результативности. Из нее следует, в частности, что из 20 альтернативных технологий, достигших УГТ 1, в среднем с наибольшей вероятностью только одна будет успешно внедрена. Разработки остальных 19 как менее эффективных должны быть обоснованно остановлены как можно раньше. Ресурсы, потраченные на их создание, с точки зрения КЗ будут израсходованы впустую и снизят эффективность экономической модели внедрения инноваций. Следует отметить, что достижение технологией УГТ 3, как видно из *рисунка*, также не гарантирует решения задачи заказчика. В среднем только одна из трех может быть реализована в продукте. Это говорит, с одной стороны, о существенном влиянии воронки технологий на результативность НИР, а с другой – о необходимости разработки более прозрачного механизма ранней диагностики рисков, пошагового отбора наиболее перспективных концепций, методик управления технологической воронкой.

Отсюда следует, что для учета всего комплекса критических факторов, планирования репрезентативного объема испытаний и обеспечения однозначного, прозрачного ранжирования альтернативных решений нужна особая практически значимая точность, объективность и достоверность дополнительных параметров уровней готовности. Чем точнее и достовернее будут данные, тем выше уверен-

ность при закрытии неперспективных направлений и надежнее перераспределение ресурсов в пользу решений с минимальным уровнем риска.

Для достижения необходимой и достаточной полноты критериев исполнителю и КЗ существенно поможет пошаговая инструкция, шаблон или классификация критериев по группам, изложенные далее.

Группы критериев (компоненты) уровней готовности

В рамках исследования необходимость и достаточность результатов НИР трактуется как гарантированный учет испытаний всех критических функций макета и их воздействия на специфические риски изделия КЗ при планировании и мониторинге работ. При этом необходимым признается параметр, критически влияющий на конкурентоспособность изделия. Чтобы исключить потерю значимых показателей, предлагается классифицировать их по самостоятельным функциональным группам (компонентам УГТ).

Достаточность трактуется как проведение полного объема испытаний, которые требуются для подтверждения достижения каждого уровня готовности, без упущения важных факторов.

Ввиду индивидуальности каждого НИР нецелесообразно вводить жесткие критерии для всех проектов. Вместо этого опишем содержание проверяемых результатов, общие правила, по которым КЗ сможет сконструировать конкретные критерии с учетом контекста его проекта.

Поддержание планового темпа верификации критериев позволяет с высокой долей вероятности прогнозировать достижение следующего УГТ. И наоборот, задержки на контрольных точках служат индикатором наличия скрытых технологических или административных проблем.

Разработанные форматы результатов, изначально ориентированные на элементную базу инновационного изделия, могут быть адаптированы к созданию новых материалов, инженерного ПО и математических моделей. Важно помнить, что альтернативные концепции могут иметь собственные детальные

Наименование компонентов УГТ	Описание критериев
Подтверждение характеристик на поэтапно усложняемых экспериментальных образцах (дополненный классический УГТ)	Содержит критерии выполнения заданных требований (характеристик) и отсутствие стоп-факторов для объекта разработки в составе продукта КЗ. Является основным для подтверждения и обоснования целесообразности продолжения работ на следующем УГТ. Экспериментальное и теоретическое подтверждение соответствия характеристик экспериментальных образцов (макет, модель, демонстратор) требованиям ТЗ проводится поэтапно с последовательным приближением к конечному масштабу и условиям реальной эксплуатации с учетом п. 2
Полнота испытаний на требования текущего УГТ	Критерии дают возможность оценить необходимость и достаточность включенных в программу испытаний условий для данного УГТ. Все применимые условия и требования суммированы в программе методики испытаний. Критерии построены на принципе поэтапного приближения условий испытаний от лабораторных к реальным, от единичных критических факторов в ограниченных диапазонах до полной имитации реальных условий*
Интеграция в изделие верхнего уровня	Критерии позволяют оценить, выполняются ли условия интеграции разрабатываемого компонента/технологии в изделие верхнего уровня путем верификации последовательно возрастающих требований по физико-химическому и информационному интерфейсу с целью минимизации рисков эффективного функционирования в составе изделия верхнего уровня
Экспериментальная база для проведения испытаний	Критерии задают уровни готовности поэтапно усложняемой экспериментальной базы для проведения необходимых и достаточных испытаний в соответствии с ПМИ (макет, модель, демонстратор) по мере продвижения по уровням готовности
Опытно-экспериментальное производство	В связи с ограничениями, которые могут возникнуть при изготовлении экспериментальных и опытных образцов, а также необходимостью разработки и освоения инновационных производственных технологий проводится оценка степени готовности опытно-экспериментального производства, а также степени интеграции создаваемых технологий в общий производственный процесс. Данный критерий непосредственно связан со шкалой оценки уровня готовности производства
Перспективные материалы	Описывает риски и соответствующие уровни готовности новых (перспективных) материалов различных поставщиков для применения в объекте разработки по уровням готовности. Позволяет учесть и снизить риски качества и количества материалов для применения в конструкции разрабатываемого изделия
Ресурс в составе изделия КЗ	Работы по определению и подтверждению ресурса изделия КЗ и его основных агрегатов (систем, деталей) с использованием расчетных и натурных исследований (испытаний) должны проводиться на всех стадиях его создания. Компонент определяет результаты поэтапно уточняемой оценки ресурса объекта разработки в составе изделия КЗ с целью доведения его характеристик до целевого (конкурентоспособного) уровня, определения стоп-факторов
Эксплуатационная технологичность	Компонент содержит критерии поэтапного обеспечения эксплуатационной технологичности (ЭТ) изделия КЗ, определяющей его приспособленность к последующей реальной эксплуатации, включая объем, реализуемость, сроки необходимого ремонтного и технического обслуживания. В качестве количественных показателей оценки ЭТ обычно принимаются продолжительность и трудоемкость выполнения работ по ТО, текущему и капитальному ремонту. Необходимый уровень ЭТ достигается путем сокращения объемов плановых и внеплановых работ по ремонту и ТО и частоты их проведения (путем повышения надежности техники), обеспечения удобных подходов к блокам и агрегатам, широким применением в двигателе стандартизованных и унифицированных изделий

Таблица. Перечень компонентов УГТ. *Критерии полноты и достаточности описаны в работе [7]

графики получения УГТ, однако достижение ими контрольных вех – уровней готовности – должно быть синхронным для возможности ранжирования и отбора наиболее перспективных из них *(таблица)*.

Отметим, что разделение УГТ на компоненты, каждый из которых оценивается по отдельным критериям, представляет собой основу многокритериального анализа, целью которого является более точное определение практической применимости технологии на ранней стадии для повышения конкурентоспособности изделия КЗ.

Заключение

В рамках последовательного системного подхода рассмотрены ловушки стереотипов и критерии успеха на пути внедрения результатов поисковых НИР в инновационное изделие. Это позволяет выделить наиболее значимые проблемы и сформировать меры по их устранению в рамках модели научно-производственного взаимодействия квалифицированного заказчика и исполнителя.

Описанные барьеры и методологическая рассогласованность сопряжены с высокими издержками для заказчика ввиду запоздалого выявления неперспективных разработок при реализации необоснованного, технологически ориентированного подхода («от технологии»). В качестве превентивного инструмента в систему менеджмента интегрирована модель управления технологической воронкой. Научную новизну концепции составляет предложенный нами подход к формированию исходного набора альтернатив, многокритериальный анализ и последующая поэтапная селекция наиболее жизнеспособных вариантов, ориентированных на требования заказчика. Данный процесс базируется на численной оценке рисков коммерциализации по мере приближения условий испытаний к реальным.

При таком подходе ключевым инструментом управления становится объективная оценка уровня готовности по результатам, где особое значение приобретает детализация технических заданий на основе дополненных критериев, достижение которых оценивается поэтапно в конкретных условиях и по методикам заказчика. В целях интеграции результатов НИР в реальный сектор экономики и минимизации рисков критерии впервые классифицированы по функциональным признакам/компонентам, сформулированы базовый набор для планирования, а также условие проведения необходимых и достаточных испытаний на разных уровнях готовности технологий.

Разработанные методы повышения эффективности научно-исследовательских работ прошли практическую апробацию в рамках проектов тематики научных исследований в 2025–2026 гг. Экспертные обсуждения с инициаторами внедрения продемонстрировали достижение консенсуса и более глубокого, согласованного понимания целей и планируемых итогов со стороны как исполнителей, так и конструкторов. Это позволило сформировать единый взгляд на необходимый и достаточный набор результатов, важных для достижения научно-технического суверенитета, а также обеспечило превентивную диагностику рисков, ранее приводивших к снижению результативности.

Дальнейшее развитие предложенного научно-методического подхода заключается в декомпозиции изделия на критические элементы (КЭ), их функциональном анализе, планировании разработки каждого из них по уровням готовности с учетом полноты и достаточности испытаний, оценке экономической эффективности воронки технологий.

Пилотный проект Минобрнауки РФ в интересах КЗ при доработке единого базиса и соответствующих процедур управления НИР потенциально может превратиться в эффективный инструмент повышения результативности проектов по запросам квалифицированного заказчика и поисковых НИР других программ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. TRL Mankins J.C. Technology readiness levels / Advanced Concepts Office of Space Access and Technology NASA // https://www.researchgate.net/publication/247705707_Technology_Readiness_Level_-_A_White_Paper.
2. DOE/National Energy Technology Laboratory-2015/1710. Technology Readiness Assessment January 2015, 144 // https://www.netl.doe.gov/File Library/Research/Coal/Reference Shelf/DOE-NETL-20151710-2014-Technology-Readiness-Assessment-Comprehensive.pdf.
3. Automotive Technology and Manufacturing Readiness Levels (2011). A guide to recognized stages of development // https://docplayer.net/23627310-Automotive-technology-and-manufacturing-readiness-levels-a-guide-to-recognised-stages-of-developmentwithin-the-automotive-industry.html .
4. Постановление Правительства РФ от 06.10.2025 г. №1552 «О планировании технологической политики в Российской Федерации» // https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412711715/).
5. ГОСТ Р 58048-2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий. – М., 2018.
6. Сартори А.В., Манцевич Н.М. Модель бережливого управления инновационными проектами на основе учета рисков и численной оценки экономической целесообразности выполнения этапов работ // https://cyberleninka.ru/article/n/model-berezhlivogo-upravleniya-innovatsionnymi-proektami-na-osnove-ucheta-riskov-i-chislennoy-otsenki-ekonomicheskoy.
7. Сартори А.В. Повышение результативности исследований: планирование по уровням готовности в бережливом НИОКР // https://doi.org/10.22394/2410-132X-2022-8-1-4-21.