

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С., Ильюшин Е.А.**

*Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,*

*Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д.44, корп.2*

*AZatsarinny@ipiran.ru, UIonenkov@ipiran.ru, e.ilyushin@cs.msu.ru*

*Аннотация: Статья посвящена вопросу оценки научно-технических проектов информационных систем (ИС). Проведен анализ существующих подходов к оценке проектов ИС. Представлены основные характеристики широко используемых за рубежом методов оценки уровней технологической/производственной/рыночной готовности проекта - TRL/MRL/CRL. Предложен ряд направлений работ по адаптации классических методов TRL/MRL/CRL для их эффективного применения в России.*

*Ключевые слова: информационная система, эффективность, проект, готовность проекта, технологическая готовность, производственная готовность.*

### **Введение**

В настоящее время наблюдается интенсивное внедрение информационных систем (ИС) различного назначения. ИС относятся к классу сложных систем с длительным сроком эксплуатации. Разработка, производство и эксплуатация таких систем требуют значительных затрат. При этом особенно важной представляется разработка системных решений в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). В этот период принимаются решения о принципах технической реализации и структуре системы, определяются стоимость и сроки ее создания, а также ожидаемая эффективность от ее внедрения.

Создание ИС, соответствующих современному уровню, требует не только наличия высококвалифицированных специалистов, современной технической и технологической базы, но и повышения роли нормативно-методического обеспечения для своевременного принятия обоснованных решений в процессе проектирования и производства систем.

Вопросам совершенствования методического аппарата оценки эффективности и качества ИС посвящен ряд публикаций авторов, в частности [1,2]. Наряду с этим, существенное значение приобретает выработка новых подходов к оценке технологической и производственной готовности инновационных разработок.

В отечественной практике для оценки готовности проектов, как правило, используется подход, предполагающий выполнение и приемку определенных стадий и этапов работы в соответствии с ГОСТ (эскизный проект, технический проект, рабочая документация и т.п.), который основывается на наличии документов, фиксирующих получение определенных результатов работ. Кроме того, может использоваться и количественный подход, основанный на оценке эффективности нескольких возможных вариантов системотехнических решений и выбора наилучшего из них с учетом имеющихся ограничений и условий функционирования. Методический аппарат оценки эффективности ИС при их проектировании достаточно подробно представлен в [1].

Вместе с тем, в настоящее время за рубежом для оценки уровня готовности проектов широко применяются методы оценки уровней технологической/производственной/рыночной готовности проекта - TRL/MRL/CRL (Technology Readiness Level / Manufacturing Readiness Level / Commercialization Readiness Level), использующие 9-ти уровневую шкалу [3-5]. В России также начинает применяться подобный метод, основанный на использовании уровня технологической готовности (УТГ) [6]. Эти методы представляют собой качественную метрику оценки готовности проектов на различных стадиях и сопоставления различных проектов между собой.

В данной статье представлен анализ подходов к оценке уровня готовности научно-технических проектов ИС в России и за рубежом, а также сформулированы предложения по совершенствованию методов оценки готовности проектов ИС.

### **1 Анализ существующих подходов к оценке научно-технических проектов ИС**

В России в настоящее время для качественной оценки уровня готовности проектов преимущественно используется подход, основанный на выполнении определенных этапов (стадий) НИОКР. Этот подход основывается на документальной фиксации выполнения и приемки определенных работ, предусмотренных ГОСТ (ТЗ, планом выполнения работ и т.п.) для каждого этапа (стадии) НИОКР. Для количественной оценки вариантов построения ИС широко используется

существующий методический аппарат оценки эффективности систем. В частности, в ФИЦ ИУ РАН разработан комплекс взаимосвязанных методов и методик, позволяющий оценить технический уровень ИС с учетом вклада в эффективность соответствующей организационной системы, технической реализуемости и рисков, а также выбрать наилучший вариант системотехнических решений из множества возможных. При этом разработаны конкретные перечни показателей эффективности для различных типов систем, а также ряд математических моделей для расчета обобщенных и частных показателей эффективности. Обобщенные результаты работ в данной области представлены в [1].

В то же время за рубежом и в ряде организаций в России все большее развитие получают методы оценки готовности проектов - TRL/MRL/CRL [3-5], которые используются для оценки инвестиционных проектов и НИОКР. Эти методы используют 9-ти уровневую шкалу, которая позволяет оценить соответственно уровень готовности технологии, производства и готовности продукта к выходу на рынок. Оценка выражается в натуральных числах от 1 до 9, при этом 9 является наиболее высоким уровнем. Шкала позволяет разработчикам и заказчикам осуществлять контроль за процессом разработки: проект не перейдет на следующий уровень, пока не будет достигнут предыдущий.

Уровень готовности проекта определяется на основе анализа и документального подтверждения его качественных и количественных показателей. Уровни определяются по установленным правилам с учетом концепции продукта, технологических требований, демонстрации его возможностей. Решение о присвоении уровня принимают научно-исследовательские организации, занятые в данной области. К оценке также привлекаются независимые эксперты.

Уровень готовности проекта является инструментом, устанавливающим согласованную терминологию и единообразную методологию оценки уровня зрелости проектов. Данный метод представляет собой систематизированную метрику оценки продукта и позволяет сравнивать уровни готовности различных продуктов. Он обладает гибкостью и возможностью адаптации к конкретному продукту, а также нуждам конкретных отраслей либо организаций.

Уровни готовности проекта по основным составляющим: технологическая готовность, производственная готовность и готовность к выходу на рынок представлены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни готовности проекта TRL/MRL/CRL

Уровень готовности	Технологическая готовность (TRL)	Производственная готовность (MRL)	Рыночная готовность (CRL)
1	Сформулирована фундаментальная концепция, обоснована полезность технологии	Сделаны выводы по основным требованиям к производству	Проведена оценка востребованности продукта
2	Сформулирована техническая концепция технологии, установлены области применения. Подготовлено техническое задание	Определена концепция производства	Оценены целевые потребительские сегменты, определены ключевые преимущества
3	Разработан макетный образец для демонстрации основных характеристик технологии	Подтверждена концепция производства	Проведен конкурентный анализ
4	Разработан детальный макет, проведены испытания базовых функций	Достигнута возможность изготовления технических средств в лабораторных условиях	Определены поставщики и партнеры, сформирована ценовая политика
5	Работоспособность технологии продемонстрирована на детальном макете	Достигнута возможность изготовления прототипов компонентов систем в реальных условиях	Разработана бизнес-модель
6	Разработан полнофункциональный образец, подтверждены рабочие характеристики в реальных условиях	Достигнута возможность изготовления прототипов систем и подсистем с использованием готовых элементов производства	Получена точная спецификация продукта, уточнена бизнес-модель

Уровень готовности	Технологическая готовность (TRL)	Производственная готовность (MRL)	Рыночная готовность (CRL)
7	Прототип технологии продемонстрирован в составе системы в реальных условиях эксплуатации	Достигнута возможность изготовления систем и подсистем в условиях, близких к реальным	Произведен предварительный вывод продукта на рынок
8	Сборка реального устройства и демонстрация в составе системы в реальных условиях	Достигнута готовность к началу мелкосерийного производства	Проанализированы результаты предварительного вывода продукта на рынок, проработаны замечания клиентов
9	Фактическое применение технологии в окончательном виде в реальных условиях	Начато мелкосерийное производство, подготовлена база для полномасштабного производства	Осуществлен вывод продукта на рынок

В России наибольшее распространение в последние годы получил метод оценки уровня технологической готовности TRL, который апробирован крупнейшими технологическими лидерами (Росатом, Объединенная авиастроительная корпорация, Объединенная двигателестроительная корпорация, фонд «Сколково» и др.).

Использование 9-ти уровневой шкалы для оценки уровня готовности проектов в России регламентируется рядом национальных стандартов, таких как ГОСТ Р 56861-2016, ГОСТ Р 57194.1-2016, ГОСТ Р 58048-2017 [6,7,8]. Эти стандарты определяют уровни технологической готовности, цели и задачи трансфера технологий, семейство шкал оценки готовности проектов (уровень готовности технологии, уровень готовности производства, уровень готовности интеграции, уровень готовности системы), методологию оценки зрелости технологий.

Пример уровней технологической готовности для проектов, предусмотренных в ГОСТ Р 56861-2016 [6], представлен в таблице 2.

Таблица 2. Уровни технологической готовности для проектов

Уровень технологической готовности	Примерный состав работ
УТГ 1	Выявлены и зафиксированы фундаментальные принципы технологии
УТГ 2	Концепция или выбор варианта
УТГ 3	Расчетное и (или) экспериментальное обоснование эффективности технологий
УТГ 4	Исследование макетов и (или) компонентов в лабораторных условиях
УТГ 5	Верификация макетов и (или) компонентов при подходящих условиях
УТГ 6	Моделирование систем (подсистем) или испытание трехмерных моделей в подходящих условиях
УТГ 7	Разработка прототипа системы, продемонстрированная на действующем продукте
УТГ 8	Сборка реальной системы и проверка работоспособности в условиях, близких к реальным
УТГ 9	Работа реальной системы в реальных условиях

Конкретная формулировка уровней технологической готовности проектов зависит от предметной области проекта.

В качестве примера ниже приводится пример уровней технологической готовности научно-технических проектов применительно к технологиям искусственного интеллекта, разработанный ФИЦ ИУ РАН и МГУ им. Ломоносова (таблица 3). На уровнях 0-2 осуществляются исследования, на уровнях 3-5 – прототипирование, на уровнях 6-8 – разработка и на уровне 9 – запуск в промышленную эксплуатацию.

Таблица 3. Уровни технологической готовности для проектов с технологиями искусственного интеллекта

Уровень готовности	Примерный состав работ
Уровень 0	Формирование оснований для исследований: <ul style="list-style-type: none"> <li>• анализ научно-технической литературы;</li> <li>• создание математического фундамента;</li> <li>• разработка гипотез и алгоритмов;</li> <li>• предположение о данных.</li> </ul>
Уровень 1	Целевые исследования: <ul style="list-style-type: none"> <li>• дизайн и выполнение экспериментов;</li> <li>• требования к данным;</li> <li>• верификация полученных результатов и оценка перспектив.</li> </ul>
Уровень 2	Проверка гипотез: <ul style="list-style-type: none"> <li>• формирование требований верификации и валидации;</li> <li>• моделирование условно-реальной среды;</li> <li>• разработка прототипа до уровня 3 или продолжение исследований.</li> </ul>
Уровень 3	Разработка прототипа: <ul style="list-style-type: none"> <li>• формирование требований к прототипу;</li> <li>• дизайн прототипа;</li> <li>• разработка прототипа;</li> <li>• разработка проекта SLA и SLO для конечного продукта.</li> </ul>
Уровень 4	Оценка жизнеспособности концепции: <ul style="list-style-type: none"> <li>• демонстрация технологии в реальных сценариях;</li> <li>• получение качественных и количественных оценок;</li> <li>• использование репрезентативных выборок реальных данных;</li> <li>• выявление проблем в распределениях данных;</li> <li>• оценка рисков, связанных с этикой.</li> </ul>
Уровень 5	Оценка жизнеспособности продукта: <ul style="list-style-type: none"> <li>• рассмотрение концепции точки зрения продукта;</li> <li>• оценка владельцами существующих продуктов перспектив интеграции технологии в их решение;</li> <li>• консолидированное решение о перспективах технологии.</li> </ul>
Уровень 6	Разработка продукта: <ul style="list-style-type: none"> <li>• формирование требований и спецификаций к продукту;</li> <li>• разработка требований к тестовой и промышленной эксплуатации;</li> <li>• разработка продукта;</li> <li>• обеспечение требований к безопасности и надежности.</li> </ul>
Уровень 7	Интеграция: <ul style="list-style-type: none"> <li>• формирование требований;</li> <li>• подготовка тестов для критических сценариев;</li> <li>• метаморфическое тестирование;</li> <li>• тестирование данных на предмет содержания уязвимостей.</li> </ul>
Уровень 8	Оценка готовности к запуску в промышленную эксплуатацию: <ul style="list-style-type: none"> <li>• демонстрация работоспособности технологии в заданных условиях;</li> <li>• проверка соответствия технологии заданным требованиям;</li> <li>• реализация дополнительных механизмов тестирования;</li> <li>• принятие решения о запуске в промышленную эксплуатацию.</li> </ul>
Уровень 9	Запуск в промышленную эксплуатацию: <ul style="list-style-type: none"> <li>• внедрение подсистемы версионирования продукта;</li> <li>• внедрение подсистемы мониторинга качества данных;</li> <li>• внедрение подсистемы логирования результатов оценки качества;</li> <li>• внедрение подсистемы обратной связи.</li> </ul>

Таким образом, широко распространенный за рубежом метод оценки готовности проекта TRL/MRL/CRL в некоторой степени получает развитие и в России. При этом в большей степени в корпоративных проектах используются методы TRL и MRL (Минобрнауки, Росатом, ОАК и др.). Вместе с тем, эти методы практически не используются при разработке проектов ИС в интересах государственного управления.

## 2 Предложения по совершенствованию методов оценки научно-технических ИС

Теоретические основы применения методов, основанных на применении 9-ти уровневой шкалы TRL/MRL/CRL, достаточно подробно описаны в ряде стандартов и публикаций [7-10]. Кроме того, они все более широко применяются на практике в интересах различных организаций, ведомств и компаний.

Указанные методы имеют ряд положительных сторон:

- предполагают единый подход к оценке статуса проектов;
- обеспечивают общее понимание статуса проекта;
- позволяют сравнивать уровни готовности различных продуктов;
- позволяют принимать решения о переходе проекта от стадии к стадии;
- используются для принятия решений, касающихся финансирования проектов;
- позволяют выстраивать управление рисками;
- обеспечивают эффективное управление НИОКР (планирование, контроль).

Вместе с тем, как отмечалось выше, эти методы практически не используются при разработке проектов ИС в интересах государственного управления.

Для адаптации данных методов к использованию при разработке проектов ИС в России, в том числе и для создания ИС в интересах государственного управления, могут быть предложены несколько направлений работ.

Первое направление предполагает создание нормативно-правовой основы применения методов на федеральном уровне на базе постановлений и распоряжений Правительства РФ, соответствующих ГОСТ, а на ведомственном уровне – ведомственных нормативных актов (приказы, распоряжения, методические указания и т.п.).

Второе направление должно обеспечить увязку с существующими стандартами разработки ИС (ГОСТ классов 15, 19, 34 и др.), что позволит интегрировать подход, основанный на определении уровней готовности проектов с существующими подходами к разработке систем. Кроме того, это позволит формализовать требования к составу и структуре документов, подтверждающих достижение определенного уровня готовности проекта и разработать систему подтверждения уровней готовности.

Третье направление посвящено разработке критериев и показателей оценки уровня готовности проектов. Эти показатели должны быть максимально формализованы, чтобы обеспечить однозначное понимание уровней готовности и учитывать специфику конкретных типов ИС. При этом в число показателей уровня готовности проектов обязательно должны быть включены показатели информационной безопасности. Применение в ИС современных инфокоммуникационных технологий способствует и появлению новых видов угроз. В этих условиях выполнение проектов в существенной степени зависит от учета наличия потенциальных уязвимостей и соблюдения всех мер, позволяющих достичь требуемого уровня информационной безопасности.

Четвертое направление включает работы по формированию системы оценки проектов, включающей как самостоятельную оценку, проводимую разработчиком, так и оценку заказчиком и независимую экспертную оценку третьей стороной. При этом самооценка, проводимая разработчиком, является первичной. Итоговая же оценка определяется рабочей группой, куда входят как представители разработчика, заказчика, так и независимые эксперты. При этом целесообразно определить перечень организаций, из которых выбираются независимые эксперты.

Мероприятия пятого направления должны обеспечивать совершенствование методического аппарата оценки уровня технологической готовности проектов. Это совершенствование должно проводиться в направлении разработки методик оценки уровня готовности научно-технических проектов, содержащих перечень показателей уровня их готовности, а также методов их расчета.

Вместе с тем, классическая шкала TRL не охватывает ряд аспектов, которые необходимо учитывать при оценке проекта в целом, например, производственная готовность, риски, сроки выполнения проекта и т.п.

Исходя из этого, может быть предложен следующий подход к оценке уровня технологической готовности проектов. Кроме показателей, характеризующих уровень технологической готовности проекта (TRL1-TRL9), предлагается ввести ряд дополнительных обобщенных показателей, характеризующих уровень готовности проекта по сравнению с другими проектами, технологические, ресурсные, временные и другие его существующие и потенциальные оценки: потенциальная эффективность результатов, реализуемость, стоимость и сроки выполнения проекта, риски. Каждый из указанных показателей включает в себя ряд частных показателей, которые оцениваются на основе вербально-числовой шкалы (таблица 4).

Таблица 4. Дополнительные показатели для оценки уровня технологической готовности проекта

Показатели	Вербально-числовая шкала
<b>1. Потенциальная эффективность результатов проекта</b>	
Возможность улучшения характеристик технологии	1-низкая; 2 – средняя; 3-высокая
Возможность решения новых задач	1-низкая; 2 – средняя; 3-высокая
Уровень технологии по сравнению с мировым	1 – отставание; 2- соответствие; 3 - опережение
<b>2. Реализуемость технологий</b>	
Новизна технологии	1- основана на известных методах и моделях; 2- основана на усовершенствованных методах и моделях; 3 – основана на новых методах и моделях
Обеспечение технологической базы	1-низкая; 2 – средняя; 3-высокая
Обеспеченность кадрами	1-низкая; 2 – средняя; 3-высокая
<b>3. Стоимость и сроки выполнения проекта</b>	
Оценка стоимости	1- значительно превышает заявленную; 2-незначительно превышает заявленную; 3 – соответствует заявленной
Оценка сроков	1- значительно превышают заявленные; 2-незначительно превышают заявленные; 3 – соответствуют заявленным
<b>4. Оценка степени риска</b>	
	1- значительный; 2-допустимый; 3 - минимальный

Оценка уровня технологической готовности по вербально-числовой шкале производится экспертами. После получения экспертных оценок производится усреднение суждений экспертов. Итоговая оценка уровня технологической готовности проекта по дополнительным показателям может быть получена путем свертки оценок экспертов по группам 1-4 таблицы 3 с применением соответствующих весовых коэффициентов. При этом вначале рассчитываются обобщенные показатели по группам 1-3, а затем итоговый показатель по всем четырем группам. Уровень технологической готовности проекта по дополнительным показателям позволяет оценить потенциальную эффективность его результатов, реализуемость и риски, что облегчает принятие решений о финансировании проекта и его дальнейших перспективах.

## Заключение

Реализация планов создания ИС различного назначения предполагает определение показателей готовности соответствующих проектов. Уровень готовности проекта и динамика его изменения по годам и стадиям является опорным критерием выполнения проекта. В связи с этим, задача разработки методического аппарата, позволяющего производить комплексную оценку готовности научно-технических проектов является весьма актуальной.

В настоящее время за рубежом и в России для оценки уровня готовности проектов получили распространение методы, основанные на применении 9-ти уровневой шкалы TRL/MRL/CRL, позволяющие оценить уровень готовности технологии, производства и готовности продукта к выходу на рынок и сравнить различные проекты между собой. Для исполнителя эти методы являются инструментом планирования и управления работами, обеспечения достижения результатов по качеству, срокам, стоимости, для заказчика – методы являются основой мониторинга выполнения работ, снижения риска при выполнении проектов.

В статье рассмотрены основные аспекты данных методов, их преимущества и недостатки. Сформулированы предложения по совершенствованию методов оценки проектов ИС, включая методический подход к оценке уровня технологической готовности проектов, позволяющий получить количественные оценки. Эти оценки могут быть использованы для принятия различных управленческих решений, например, для разработки плана-графика работ, плана финансирования и т.п.

## Литература

1. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Оценка эффективности информационно-телекоммуникационных систем / Под ред. д.т.н. А. А. Зацаринного. – М.: НИПКЦ Восход-А, 2020. – 120 с.
2. А.А. Зацаринный, Ю.С. Ионенков. Некоторые вопросы оценки качества информационных систем// Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 4-17.
3. Mankins J.C. 1995. Technology Readiness Level / Advanced Concepts Office of Space Access and Technology NASA. <http://www.hg.nasa.gov/office/codeg/trl/trl.pdf>.

4. Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook. Version 2.0 (2011) / OSD Manufacturing Technology Program. May, 2011.
5. Метрика «Рыночная готовность CRL».  
<https://www.rosatom.ru/upload/iblock/fb2/fb23f5ee18bc97e7c0e2f14df9146f6a.pdf>.
6. ГОСТ Р 56861-2016 Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2017. 11 с.
7. ГОСТ Р 57194.1-2016. Трансфер технологий. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2020. 12 с.
8. ГОСТ Р 58048-2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий. – М.: Стандартинформ, 2018. 41 с.
9. *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.
10. *Комаров А.В., Петров А.Н., Сартори А.В.* Модель комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технических проектов // Экономика науки. – 2018. – Т.4. №1. – С. 47-57.