КазККА Хабаршысы
The Bulletin of KazATC
Вестник КазАТК
ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

УДК 004.052
DOI 10.52167/1609-1817-2026-146-5-163-175

Т.В. Пяткова[1], Е.В. Шевчук[2], Копнова О.Л.[1], А.В. Шапорева[1], Айтымова А.М.[1]
[1]Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,
Республика Казахстан, г. Петропавловск
[2]Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Россия, Новосибирск
e-mail: annvolkova@mail.ru

ТРАНФОРМАЦИЯ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ В ЭПОХУ СМЕНЫ ПАРАДИГМ:ОБЗОР СТАНДАРТОВ И ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ

Аннотация. В статье исследуется трансформация подходов к оценке надежности цифровых продуктов в условиях смены технологических парадигм. Цель исследования заключается в выявлении закономерностей изменения объекта, критериев и временной логики оценки при переходе от традиционного программного обеспечения к распределенным, облачным, data-driven и AI-системам. Методологическую основу составили сравнительный и ретроспективный анализ, классификация, систематизация научных публикаций и международных технических стандартов, а также концептуальное обобщение. Показано последовательное расширение объекта оценки: от программного кода и программных отказов к инфраструктуре, данным, моделям и контексту эксплуатации. Установлено, что для современных data-driven и AI-продуктов техническая безотказность и доступность являются необходимыми, но недостаточными характеристиками надежности. Предложено рассматривать надежность цифрового продукта как динамическую многоуровневую характеристику, включающую технический, информационно-модельный и функциональный уровни. Обоснована необходимость перехода от преимущественно статической оценки к динамическому мониторингу состояния продукта с учетом изменений данных, модели и эксплуатационной среды. Полученные результаты формируют основу для разработки методов интегральной динамической оценки эффективности и рисков цифровых продуктов.

Ключевые слова: цифровой продукт; AI-продукт; data-driven продукт; надежность цифрового продукта; технические стандарты; динамика характеристик.

Введение

Цифровая трансформация сопровождается не только расширением масштабов применения информационных технологий, но и последовательным изменением самой природы цифровых продуктов. Традиционные программные решения, ориентированные преимущественно на автоматизацию отдельных функций и бизнес-процессов, постепенно уступили место распределенным web- и cloud-системам, платформенным экосистемам, data-driven решениям и продуктам, использующим технологии искусственного интеллекта. Каждый этап технологического развития изменяет архитектуру цифрового продукта, механизм формирования его ценности, характер взаимодействия с пользователями и внешней средой, а также состав факторов, определяющих эффективность и риск его внедрения и эксплуатации.

В традиционных информационных системах результативность цифрового продукта могла оцениваться преимущественно через соответствие функциональным требованиям,

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

надежность, стоимость разработки и эксплуатации, производительность и сроки внедрения. Распространение облачных технологий расширило данную систему критериев за счет доступности сервисов, масштабируемости, непрерывности обслуживания, зависимости от инфраструктурного провайдера и совокупной стоимости владения. Формирование платформенных бизнес-моделей дополнительно усилило значение совместимости, интеграционного потенциала, сетевых эффектов и устойчивости цифровой экосистемы.

Таким образом, усложнение цифровых продуктов приводит к изменению не только состава отдельных критериев оценки, но и общей методологии определения их эффективности и рисков. Статическая оценка цифрового решения на этапе внедрения постепенно становится недостаточной. Для современных цифровых продуктов возрастает значение непрерывного мониторинга, анализа эксплуатационных данных, сценарной оценки, прогнозирования изменений характеристик продукта и выявления возникающих рисков на различных этапах его жизненного цикла.

Целью исследования является выявление закономерностей трансформации подходов к оценке цифровых продуктов в условиях смены технологических парадигм и формирование концептуальной модели, связывающей характеристики цифрового продукта, критерии эффективности, источники риска и методы их оценки.

Научная новизна исследования заключается в представлении эволюции подходов к оценке цифровых продуктов как закономерного процесса изменения объекта, критериев и методов оценки под воздействием смены технологической парадигмы.

Материалы и методы

Исследование выполнено в формате структурированного теоретико-аналитического обзора научных подходов к оценке качества, эффективности и надежности программных и цифровых продуктов. Основное внимание уделено выявлению изменений объекта, критериев и методов оценки, происходящих по мере перехода от традиционного программного обеспечения к распределенным и облачным системам, data-driven решениям и продуктам, использующим технологии искусственного интеллекта.

Информационную основу исследования составили научные публикации, посвященные надежности программного обеспечения, качеству программных и цифровых продуктов, надежности распределенных систем, машинному обучению, concept drift, AI reliability и trustworthy AI, а также международные технические стандарты ISO/IEC, регламентирующие качество программных и ICT-продуктов и отдельные аспекты проектирования, оценки и управления AI-системами. При формировании теоретической базы приоритет отдавался рецензируемым публикациям, индексируемым в международных научных базах, фундаментальным работам по теории надежности программного обеспечения и актуальным исследованиям, отражающим развитие data-driven и AI-систем.

Отбор и анализ источников осуществлялся по нескольким тематическим направлениям: 1) классические и современные подходы к оценке надежности программного обеспечения; 2) развитие моделей качества программных и ICT-продуктов; 3) надежность распределенных, платформенных и облачных систем; 4) влияние качества и изменения данных на функционирование data-driven продуктов; 5) устойчивость и надежность моделей машинного обучения; 6) надежность и доверенность AI-систем; 7) развитие международных технических стандартов в области качества программного обеспечения и искусственного интеллекта.

В качестве основных методов исследования использованы сравнительный анализ, ретроспективный анализ, классификация, систематизация и концептуальное обобщение. Ретроспективный анализ применялся для определения последовательных этапов развития представлений о надежности программных продуктов. Сравнительный анализ

ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

использовался для сопоставления объекта надежности, трактовки отказа и применяемых показателей на различных этапах технологического развития. Метод классификации позволил распределить исследуемые подходы в соответствии с технологическими парадигмами: традиционное программное обеспечение, software reliability growth, Web/Cloud, распределенные и платформенные системы, data-driven продукты и AI-enabled/AI-native продукты.

Отдельное направление исследования составил сравнительный анализ международных технических стандартов. Стандарты рассматривались не только как нормативные источники требований к качеству программного обеспечения, но и как индикаторы изменения объекта оценки. Сопоставление различных поколений стандартов позволило проследить расширение объекта стандартизации от программного продукта и программной системы к ICT-продукту, а далее — к ML- и AI-системам, для которых существенными становятся характеристики данных, модели, контекста эксплуатации, доверенности и риска.

Для каждого выделенного этапа анализировались четыре взаимосвязанных элемента: объект надежности; состояние, интерпретируемое как отказ или снижение требуемого качества; используемые показатели оценки; ограничения соответствующего подхода применительно к следующей технологической парадигме. На этой основе была сформирована сравнительная схема эволюции: программный дефект → программный отказ → надежность системы → доступность и восстановление → надежность результата → динамическая надежность цифрового продукта.

На заключительном этапе применен метод концептуального синтеза. Результаты анализа научных публикаций и технических стандартов были объединены для выявления факторов, определяющих надежность современного цифрового продукта.

Исследования цифровых инноваций показывают, что цифровые продукты отличаются изменяемостью, возможностью постоянного дополнения функциональности и зависимостью от связей с другими цифровыми ресурсами и сервисами. В работе [1] цифровая инновация связывается с многоуровневой модульной архитектурой, а последующие исследования цифровых продуктов подчеркивают их незавершенность и способность продолжать изменяться после вывода в эксплуатацию.

Развитие облачных, платформенных, data–driven и AI–технологий приводит к тому, что состояние продукта может изменяться не только вследствие модификации программного кода. На результат его функционирования способны влиять изменения данных, модели, инфраструктуры, состава взаимодействующих сервисов и контекста эксплуатации. Для AI–систем необходимость оценки после внедрения приобретает особое значение: современные исследования прямо указывают на необходимость непрерывной оценки алгоритмов, поскольку их характеристики в реальной среде могут изменяться во времени [2].

Для AI–систем данная проблема подтверждается развитием подходов к continuous evaluation: оценка после внедрения рассматривается как необходимое условие обнаружения деградации характеристик, возникающей вследствие изменений данных и эксплуатационной среды [3].

Анализ научной литературы показывает, что изменение подходов к оценке цифровых продуктов связано прежде всего с трансформацией самого объекта оценки. В ранней логике программной инженерии программный продукт рассматривался как относительно локализованный программный объект, качество которого могло быть представлено через совокупность функциональных и технических характеристик, а надежность – через дефекты, отказы и интенсивность их возникновения. Классические модели а также работы по программной надежности сформировали количественную

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

основу оценки программного обеспечения как объекта, состояние которого определяется прежде всего программными ошибками и процессом их обнаружения [4].

Модель качества [5] дополнила эту логику системой факторов качества, включавшей надежность, эффективность, удобство использования, сопровождаемость, тестируемость, переносимость и другие характеристики.

Нормативное развитие данного направления закрепило представление о качестве программного продукта как о структурированной совокупности измеримых характеристик. Стандарты семейства ISO/IEC 9126, а затем ISO/IEC 25010 систематизировали характеристики качества программного обеспечения и систем. При этом актуальная редакция ISO/IEC 25010:2023 [6] уже распространяет модель качества не только на программные продукты, но и на ICT–продукты, являющиеся частью информационной системы, и включает девять характеристик качества. Само расширение области применимости стандарта отражает изменение границ оцениваемого объекта: от отдельной программы к более сложному информационно–коммуникационному продукту.

Существенный теоретический сдвиг произошел с развитием исследований цифровых инноваций. Цифровизация породила новый тип архитектуры – layered modular architecture, включающую слабо связанные уровни устройств, сетей, сервисов и контента. Для настоящего исследования этот вывод принципиален: цифровой продукт перестает быть исключительно программным ядром, поскольку его свойства и результат функционирования формируются взаимодействием нескольких технологических слоев. Следовательно, оценка, ограниченная характеристиками программного кода, постепенно утрачивает полноту.

Инфраструктурное понимание цифровизации, рассматривает digital infrastructures как открытые и развивающиеся социотехнические образования. В этой логике цифровой продукт функционирует не изолированно, а внутри инфраструктуры, изменения которой могут влиять на доступность, производительность и возможность дальнейшего развития продукта. Авторы [7], анализируя онтологию цифровых артефактов, акцентировали их редактируемость, интерактивность, перепрограммируемость и распределенность. Совокупность этих свойств делает цифровой объект принципиально более изменяемым по сравнению с традиционным материальным продуктом и усиливает зависимость его характеристик от контекста использования.

Платформенная парадигма еще больше расширила объект оценки. Исследователи [8] рассматривают эволюцию программных платформ как коэволюцию архитектуры, механизмов управления и внешней среды. В работе [9] показано, что отраслевые платформы формируют основу для создания комплементарных продуктов и сервисов внешними участниками, вследствие чего ценность платформы зависит от состояния экосистемы. В результате эффективность платформенного цифрового продукта не может исчерпывающе описываться только внутренними техническими характеристиками: существенными становятся интеграционная способность, взаимодействие с комплементорами, механизмы governance, устойчивость экосистемы и сетевые эффекты.

Изменение природы цифрового продукта сопровождалось пересмотром представлений о создаваемой ценности [10]. Ценность в данном случае не является полностью заданным внутренним свойством продукта, а проявляется в процессе его использования и взаимодействия участников. Это обстоятельство расширяет оценку от внутренних свойств решения к результатам его использования, качеству взаимодействия и способности поддерживать создание ценности в конкретном контексте. Цифровизация изменяет традиционные границы инновационного результата, инновационного процесса и состава участников инновации. Цифровую инновацию можно рассмотреть, как процесс, охватывающий инициирование, разработку, внедрение и использование цифровых решений [11]. Эти исследования позволяют сделать важный для настоящей статьи вывод:

ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

оценка цифрового продукта не должна автоматически завершаться в момент внедрения, поскольку сам объект и создаваемая им ценность продолжают изменяться в процессе эксплуатации.

Динамический характер цифровых продуктовых инноваций особенно отчетливо представлен в исследовании [12]. Авторы связывают управление digital product innovation с необходимостью баланса между стабильностью и fluidity, то есть способностью сохранять определенную структурированность и одновременно обеспечивать изменение продукта. Исследования цифровой трансформации расширяют данную аргументацию до организационного уровня, сближение цифровой и бизнес–стратегии и вызывает необходимость рассматривать цифровые ресурсы как часть формирования конкурентной логики организации [13].

В работе [14] представлен обзор 282 работ, на основе которых автор определяет цифровую трансформацию как процесс, при котором цифровые технологии вызывают изменения, требующие стратегических ответов и изменения путей создания ценности. Выделяются этапы digitization, digitalization и digital transformation и прямо указывают на последствия цифровой трансформации для метрик, используемых при оценке performance. Следовательно, смена технологической парадигмы затрагивает не только архитектуру продукта, но и систему показателей, посредством которых оценивается его результативность.

Следующий качественный переход связан с распространением data–driven и AI–систем. В отличие от традиционного программного обеспечения, поведение таких продуктов определяется не только кодом, но также данными и состоянием модели. Авторы [15] в систематическом обзоре исследований AI в информационных системах выявили разнообразие трактовок AI и категорий создаваемой им бизнес–ценности, одновременно указав на проблему накопления целостного знания в данной области. В работе [16] авторы систематизировали факторы формирования business value AI и показали, что организационный результат зависит от комплекса AI–capabilities и контекстных факторов. Это означает, что техническая работоспособность алгоритма является необходимым, но уже недостаточным условием эффективности AI–продукта.

В работе [17] рассматривается применение AI через взаимосвязь автоматизации и augmentation, подчеркивая, что эти механизмы не могут быть полностью отделены друг от друга. Для оценки это означает необходимость учитывать не только машинную производительность, но и характер взаимодействия человека и алгоритма. Аналогичная тенденция прослеживается в современных исследованиях, объяснимость должна оцениваться не только как техническое свойство модели, но и с позиции пользователя, качества объяснения, human–AI interaction и human–AI performance [18]. Тем самым критерии оценки AI–продукта выходят за пределы традиционных accuracy и reliability.

Современная концепция trustworthy AI дополнительно расширяет набор оцениваемых свойств. NIST AI Risk Management Framework рассматривает надежность AI во взаимосвязи с валидностью, безопасностью, защищенностью и устойчивостью, прозрачностью, объяснимостью, приватностью и справедливостью [19]. В работе [20] представлена систематизация на шесть групп требований к trustworthy AI: human agency and oversight, fairness and non–discrimination, transparency and explainability, robustness and accuracy, privacy and security, accountability. Существенно, что авторы выделяют контекстную зависимость и динамику развивающихся систем как отдельные исследовательские проблемы. Это подтверждает невозможность сведения оценки современного AI–продукта к единственному фиксированному техническому показателю.

Особое значение для динамической оценки имеет проблема concept drift. В потоках данных могут происходить структурные изменения, сезонные сдвиги и повторяющиеся режимы, вследствие которых ранее обученная модель теряет соответствие текущему

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

процессу генерации данных. Практическим ответом на динамичность ML–систем становится развитие MLOps. Систематический обзор MLOps 2025 года показывает, что эксплуатация ML–моделей требует специальных практик, обеспечивающих согласованность, масштабируемость, мониторинг и управление жизненным циклом моделей; одновременно сохраняются проблемы стандартизации и оценки зрелости MLOps [21]. Таким образом, жизненный цикл data–driven продукта отличается от традиционной схемы «разработка – тестирование – внедрение»: после развертывания модель остается объектом наблюдения, диагностики, обновления и повторной валидации.

Необходимость постэксплуатационной оценки подтверждается и исследованиями непрерывной оценки AI prediction algorithms, поскольку доказательства, полученные до или в момент внедрения, не гарантируют сохранения характеристик алгоритма в реальной эксплуатации, тк изменение данных и контекста способно сделать первоначальную оценку недостаточной для описания текущего состояния модели [22].

Таким образом, результаты литературного анализа согласуются с основной гипотезой исследования: чем сильнее цифровой продукт зависит от изменяющихся данных, моделей, инфраструктурных и контекстных факторов, тем меньше оснований считать оценку, полученную в момент внедрения, неизменной характеристикой продукта. Современная технологическая парадигма требует дополнения традиционных процедур оценки механизмами мониторинга, выявления деградации и повторного оценивания. Это создает теоретическую основу для перехода от оценки фиксированного набора свойств к оценке состояния и динамики цифрового продукта на протяжении его жизненного цикла.

Результаты и обсуждение

Технические стандарты играют существенную роль в проектировании программного обеспечения, поскольку формируют единые требования к характеристикам качества, процессам разработки, тестирования и последующей эксплуатации программных систем. По мере усложнения программного обеспечения изменяется и роль технических стандартов в обеспечении его надежности. Переход от автономных программ к распределенным системам, облачным сервисам, цифровым платформам, data-driven и AI-продуктам приводит к расширению объекта стандартизации: наряду с программным кодом учитываются инфраструктура, взаимодействие компонентов, данные, модели и условия эксплуатации. Соответственно, надежность постепенно рассматривается в более широком контексте — во взаимосвязи с доступностью, восстанавливаемостью, устойчивостью, безопасностью, качеством данных и достоверностью получаемого результата. Эволюция международных технических стандартов поэтому отражает не только развитие нормативных требований, но и изменение самого представления о качестве и надежности цифрового продукта. Основные этапы этой трансформации представлены в таблице 1.

Таблица 1 –Этапы трансформации технических стандартов

Этап / тип продукта	Характер объекта	Ключевые стандарты	Основной объект стандартизации	Что становится значимым для оценки
Традиционное программное обеспечение	Относительно автономная программа	ISO/IEC 9126:1991	Качество программного продукта	Функциональность, надежность, удобство использования, эффективность,

ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

				сопровождаемость, переносимость
Программные системы	ПО как часть компьютерной системы	ISO/IEC 25010:2011	Качество системы и программного продукта	8 характеристик качества продукта; дополнительно — качество при использовании
Цифровые / ICT-продукты	ПО + аппаратные компоненты + данные + коммуникационная инфраструктура	ISO/IEC 25010:2023	Качество ICT- и программных продуктов	Уже 9 характеристик; объект оценки расширяется до ICT-продукта и его компонентов
Data-driven / ML-системы	Система + данные + ML-модель	ISO/IEC 23053:2022	Архитектура и компоненты AI-систем на основе ML	Данные, обучение, модель, интефейс, взаимодействие компонентов ML-системы
AI-системы: терминологический уровень	AI как самостоятельный класс систем	ISO/IEC 22989:2022	Понятия и терминология AI	Формируется единый понятийный аппарат для описания и оценки AI-систем
Надежные AI	AI-система, результат которой должен сохранять требуемые свойства	ISO/IEC TR 24028:2020	Доверие и надежность AI	Прозрачность, объяснимость, управляемость, надежность, точность, отказоустойчивость, защищенность, секретность
AI-системы с учетом риска	AI-продукт в организационной и эксплуатационной среде	ISO/IEC 23894:2023	Управление специфическими рисками AI	Идентификация, анализ, оценивание и обработка AI-рисков на протяжении жизненного цикла
Управляемые AI-продукты и сервисы	AI как постоянно эксплуатируемая и управляемая система	ISO/IEC 42001:2023	Система менеджмента искусственного интеллекта	Ответственное применение, риски и возможности, прозрачность, прослеживаемость, надежность, постоянное совершенствование

Анализ эволюции международных стандартов показывает последовательное расширение объекта оценки: от программного продукта к программно-аппаратной системе, далее — к ICT-продукту, включающему данные и коммуникационную инфраструктуру, и к AI-системе, качество функционирования которой определяется не только техническими характеристиками, но также свойствами данных, модели, рисками и контекстом применения. Одновременно происходит расширение логики оценки — от фиксированных характеристик качества программного продукта к управлению надежностью, доверием и рисками AI-систем на протяжении их жизненного цикла.

Современные обзоры исследований программной надежности показывают, что традиционное направление software reliability engineering сформировалось вокруг количественного моделирования отказов, обнаружения дефектов и прогнозирования поведения программного обеспечения. В более позднем обзоре [23] надежность программного обеспечения рассматривается уже в контексте сложных систем, где прогнозирование отказов становится существенным условием предотвращения

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

последствий нарушения функционирования отдельных подсистем. Таким образом, даже в рамках традиционной software reliability происходит постепенный переход от регистрации отдельных отказов к прогнозированию надежности сложной программной системы.

Современные исследования программной надежности также демонстрируют переход от преимущественно статистических моделей к интеллектуальным методам прогнозирования и развитие интеллектуальных моделей повышения надежности программного обеспечения и распространение гибридных подходов к прогнозированию надежности [24]. Это свидетельствует не только об изменении математического аппарата, но и об усложнении самого объекта анализа: надежность все чаще рассматривается как характеристика, требующая прогнозирования на основе множества факторов, а не только экстраполяции накопленной статистики программных отказов.

Еще более явно связь между изменением данных и надежностью ML-систем прослеживается в исследованиях мониторинга дрейфа концепции. Современные работы показывают, что изменения наблюдаемых данных, вызванные трансформацией среды или даже деградацией источников данных и сенсоров, способны приводить к нарушениям функционирования ML-решений. Поэтому обнаружение, локализация и объяснение «дрифт» рассматриваются как необходимые составляющие построения надежных и устойчивых machine-learning-систем [25]. В данном случае надежность фактически становится характеристикой не только модели или программного компонента, но всей цепочки «среда — данные — модель — результат».

Таким образом, эволюцию категории надежности целесообразно рассматривать не как простую последовательность методов ее расчета, а как результат изменения объекта оценки и природы потенциального отказа. В таблице 2 показана эволюция подходов к измерению надежности.

Таблица 2 – Эволюция подходов к измерению надежности

Период	Что понимается под надежностью	Главный объект
196-1970	Вероятность безотказной работы	программа
1970-1979	Снижение остаточных дефектов	программный код
1980-1985	Рост надежности при тестировании	тестируемое ПО
1985-1990	Надежность по времени исполнения	исполняемое ПО
1990-2000	Надежность + восстановление	программная система
2010-2015	Надежность сервиса	Облако, веб-сервис
2015-2020	Устойчивость распределенной системы	цифровая инфраструктура
2020	Качество ICT-продукта	цифровой продукт
2020-2026	Надежность data-driven/AI	AI/data-driven продукт
Перспективный под ход	Динамическая интегральная надежность	эволюционирующий цифровой продукт

Принципиальным является то, что каждый последующий этап не полностью заменяет предыдущий. Техническая безотказность остается необходимым условием надежности облачного или AI-продукта, доступность остается необходимой характеристикой цифрового сервиса, а устойчивость инфраструктуры сохраняет значение для data-driven системы. Однако по мере смены технологических парадигм каждая из этих характеристик становится необходимой, но недостаточной для комплексной оценки надежности цифрового продукта.

На этой основе предлагается различать три взаимосвязанных уровня надежности современного цифрового продукта.

Первый уровень — техническая надежность, характеризующая безотказность программных и инфраструктурных компонентов, доступность сервиса и способность системы восстанавливаться после технических нарушений.

ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

Второй уровень — информационно-модельная надежность, характеризующая способность data-driven или AI-компонента сохранять требуемое качество результатов при изменении данных, модели и условий их применения.

Третий уровень — функциональная надежность цифрового продукта, характеризующая способность продукта в целом стабильно обеспечивать требуемый пользователю или организации результат в заданных условиях эксплуатации.

Таким образом, надежность современного цифрового продукта предлагается трактовать как динамическую многоуровневую характеристику способности продукта сохранять требуемое качество функционирования и результата при изменении состояния его программно-технических компонентов, данных, моделей и среды эксплуатации.

Такое определение отличается от традиционного понимания надежности программного обеспечения прежде всего расширением объекта оценки и введением временной изменчивости его характеристик.

Следовательно, по мере перехода от традиционного программного обеспечения к data-driven и AI-продуктам изменяется не только набор показателей надежности, но и сама логика оценивания — от преимущественно статической оценки безотказности к динамической оценке способности цифрового продукта сохранять требуемое качество результата в изменяющихся условиях эксплуатации.

Обсуждение

На примере категории надежности установлена закономерность последовательного изменения логики ее оценки. Первоначальное представление надежности как вероятности безотказного функционирования было дополнено моделями роста надежности программного обеспечения, показателями доступности и восстановления цифровых сервисов, а затем характеристиками устойчивости распределенных систем. Переход к data-driven и AI-продуктам формирует следующий этап данной эволюции, при котором техническая безотказность и доступность являются необходимыми, но уже недостаточными условиями надежности. Цифровой продукт может оставаться технически исправным и доступным для пользователя, одновременно демонстрируя снижение качества формируемого результата вследствие изменения входных данных, деградации характеристик модели или изменения контекста ее применения.

Таким образом, выявленная трансформация позволяет сформулировать общий вектор развития подходов к оценке цифровых продуктов: от безотказности — к доступности, от доступности — к устойчивости, от устойчивости — к надежности результата, а от одномоментной оценки — к динамическому мониторингу состояния продукта. При этом переход к новой технологической парадигме не отменяет показатели предыдущего этапа, а включает их в более широкую систему оценки. Такой принцип иерархического расширения позволяет избежать противопоставления классических и современных методов: показатели MTBF, MTTR, availability и failure rate сохраняют аналитическую значимость, но для data-driven и AI-продуктов должны дополняться показателями качества данных, стабильности модели, drift, robustness и качества формируемого результата.

Заключение

Проведенное исследование показало, что смена технологических парадигм сопровождается не только усложнением архитектуры и функциональных возможностей цифровых продуктов, но и трансформацией содержания категорий, используемых для оценки их эффективности и надежности. Переход от традиционного программного обеспечения к web- и cloud-сервисам, распределенным платформам, data-driven системам и AI-enabled продуктам последовательно расширяет объект оценки: от программного кода и отдельных функциональных характеристик — к инфраструктуре, данным, моделям и контексту эксплуатации. В результате показатели, достаточные для оценки программных

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

продуктов предыдущих технологических поколений, сохраняют свое значение, однако перестают обеспечивать исчерпывающую характеристику современных цифровых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yoo, Y., Henfridsson, O., & Lyytinen, K. (2010). Research Commentary: The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research. Information Systems Research, 21(4), 724–735. http://www.jstor.org/stable/23015640

2. .Shah NH, Pfeffer MA, Ghassemi M. The Need for Continuous Evaluation of Artificial Intelligence Prediction Algorithms. JAMA Netw Open. 2024;7(9):e2433009. https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2823641

3. Lekadir K. et al.; FUTURE-AI Consortium. FUTURE-AI: international consensus guideline for trustworthy and deployable artificial intelligence in healthcare. BMJ. 2025 Feb 5;388:e081554. doi: 10.1136/bmj-2024-081554. Erratum in: BMJ. 2025 Feb 17;388:r340. doi: 10.1136/bmj.r340. PMID: 39909534; PMCID: PMC11795397. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39909534/

4. Jelinski, Z. and Moranda, P.B. (1972) Software Reliability Research. In: Freiberger, W. Ed., Statistical Computer Performance Evaluation, Academic Press, New York, 465-484. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-266950-7.50028-1

5. McCall J.A., Richards P.K., Walters G.F. Factors in Software Quality. RADC–TR–77–369. Rome Air Development Center, 1977. https://ru.scribd.com/document/418348872/Factors-in-Software-Quality-Concept-and-Definitions-of-Software-Quality-Jim-A-McCall-Paul-K-Richard-Gene-F-Walters

6. 6 ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model https://www.iso.org/ru/standard/78176.html

7. Kallinikos, J., Aaltonen, A., & Marton, A. (2013).The Ambivalent Ontology of Digital Artifacts1. MIS Quarterly 1 June 2013; 37 (2): 357–370. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.02

8. Tiwana, A., Konsynski, B. and Bush, A.A. (2010) Platform Evolution: Coevolution of Platform Architecture, Governance, and Environmental Dynamics. Information Systems Research, 21, 675-687. https://doi.org/10.1287/isre.1100.0323

9. Gawer, A. and Cusumano, M.A. (2014) Industry Platforms and Ecosystem Innovation. Journal of Product Innovation Management, 31, 417-433. https://doi.org/10.1111/jpim.12105

10. Lusch, R.F. and Nambisan, S. (2015) Service Innovation: A Service-Dominant Logic Perspective. MIS Quarterly, 39, 155-175. https://doi.org/10.25300/MISQ/2015/39.1.07

11. Kohli R, Melville NP. Digital innovation: A review and synthesis. Info Systems J. 2019; 29: 200–223. https://doi.org/10.1111/isj.12193

12. Pesch, Robin; Endres, Herbert; Bouncken, Ricarda B. (2021) : Digital product innovation management: Balancing stability and fluidity through formalization, Journal of Product Innovation Management, ISSN 1540-5885, Wiley, Hoboken, NJ, Vol. 38, Iss. 6, pp. 726-744, https://doi.org/10.1111/jpim.12609

13. Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. MIS Quarterly, 37, 471-482. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3

14. Vial, G. (2021). In A. Hinterhuber, T. Vescovi, & F. Checchinato Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda. (Eds.), Managing Digital Transformation (pp. 13-66). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003008637-

ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

15. Collins, C., Dennehy, D., Conboy, K., & Mikalef, P. (2021). Artificial Intelligence in Information Systems Research: A Systematic Literature Review and Research Agenda. International Journal of Information Management, 60, Article ID: 102383. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102383

16. Enholm, I.M., Papagiannidis, E., Mikalef, P. and Krogstie, J. (2021) Artificial Intelligence and Business Value: A Literature Review. Information Systems Frontiers, 24, 1709-1734. https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w

17. Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial Intelligence and Management: The Automation-Augmentation Paradox. Academy of Management Review, 46, 192-210. https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072

18. Kim J, Maathuis H, Sent D. Human-centered evaluation of explainable AI applications: a systematic review. Front Artif Intell. 2024 Oct 17;7:1456486. doi: 10.3389/frai.2024.1456486. PMID: 39484154; PMCID: PMC11525002. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11525002/

19. Tabassi, E. (2023) Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). NIST AI 100-1, National Institute of Standards and Technology. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.100-1.pdf

20. Kowald D, Scher S, Pammer-Schindler V, Müllner P, Waxnegger K, Demelius L, Fessl A, Toller M, Mendoza Estrada IG, Šimić I, Sabol V, Trügler A, Veas E, Kern R, Nad T, Kopeinik S. Establishing and evaluating trustworthy AI: overview and research challenges. Front Big Data. 2024 Nov 29;7:1467222. doi: 10.3389/fdata.2024.1467222. https://www.frontiersin.org/journals/big-data/articles/10.3389/fdata.2024.1467222/full

21. Zarour, M., Alzabut, H., & Al-Sarayreh, K.T. (2025). MLOps best practices, challenges and maturity models: A systematic literature review. Inf. Softw. Technol., 183, 107733. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.107733

22. Ronchieri E., Canaparo M. Metrics for Software Reliability: A Systematic Mapping Study // Journal of Integrated Design & Process Science. 2018. Vol. 22(2). DOI: 10.3233/JID-2018-0008.
https://www.scitepress.org/PublishedPapers/2016/59884/pdf/index.html

23. Oveisi S, Moeini A, Mirzaei S, Farsi MA. Software reliability prediction: A survey. Qual Reliab Eng Int. 2023; 39: 412–453. https://doi.org/10.1002/qre.3220

24. Pham H. Software Reliability Models: A Review // Springer Series in Reliability Engineering. 2025. P. 343–349. DOI: 10.1007/978-3-031-72636-1_17. https://ideas.repec.org/h/spr/ssrchp/978-3-031-72636-1_17.html

25. Hovorushchenko, T., Medzatyi, D., Voichur, Y., & Lebiga, M. (2022). Method for forecasting the level of software quality based on quality attributes. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 44, 3891 - 3905. https://dl.acm.org/doi/10.3233/JIFS-222394

Шевчук Елена Владимировна – техника ғылымдарының кандидаты, Жасанды интеллект және робототехника кафедрасының доценті, Геодезия және менеджмент институты, Сібір мемлекеттік геожүйелер және технологиялар университеті, Новосибирск қ., Ресей., e-mail: evshevch@mail.ru . ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1206-3960 .

Пяткова Татьяна Владимировна – АЖ магистрі, "Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар" кафедрасының сеньор-лекторы, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы, e-mail: tanya.pyatkova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4954-9857

Шапорева Анна Васильевна – PhD, "Құрылыс және дизайн" кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті); М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: annvolkova@mail.ru . ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6211-5634 .

ISSN 1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

Айтымова Алия Муратовна – PhD, «Бастауыш, мектепке дейінгі және арнайы білім беру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті); М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: amakasheva@ku.edu.kz . ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1128-6924 .

Копнова Оксана Леонидовна – PhD, «Математика және физика» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті); М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: okopnova@ku.edu.kz . ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6299-3728

ПАРАДИГМАЛАР АУЫСУЫ ДӘУІРІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ ӨНІМДЕРДІ БАҒАЛАУ ТӘСІЛДЕРІНІҢ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ: СТАНДАРТТАР МЕН СЕНІМДІЛІК ТАЛАПТАРЫНА ШОЛУ

Аннотация. Мақалада технологиялық парадигмалардың ауысуы жағдайында цифрлық өнімдердің сенімділігін бағалау тәсілдерінің трансформациясы зерттеледі. Зерттеудің мақсаты дәстүрлі бағдарламалық қамтамасыз етуден таратылған, бұлттық, data-driven және AI-жүйелерге көшу барысында бағалау объектісінің, критерийлерінің және уақыттық логикасының өзгеру заңдылықтарын анықтау болып табылады. Әдіснамалық негізді салыстырмалы және ретроспективті талдау, жіктеу, ғылыми жарияланымдар мен халықаралық техникалық стандарттарды жүйелеу, сондай-ақ тұжырымдамалық жалпылау құрады. Бағалау объектісінің бағдарламалық код пен бағдарламалық істен шығулардан инфрақұрылымға, деректерге, модельдерге және пайдалану контекстіне дейін біртіндеп кеңеюі көрсетілді. Қазіргі заманғы data-driven және AI-өнімдер үшін техникалық ақаусыздық пен қолжетімділік сенімділіктің қажетті, бірақ жеткіліксіз сипаттамалары екені анықталды. Цифрлық өнімнің сенімділігін техникалық, ақпараттық-модельдік және функционалдық деңгейлерді қамтитын динамикалық көпдеңгейлі сипаттама ретінде қарастыру ұсынылды. Деректердің, модельдің және пайдалану ортасының өзгерістерін ескере отырып, негізінен статикалық бағалаудан өнім күйінің динамикалық мониторингіне көшу қажеттілігі негізделді. Алынған нәтижелер цифрлық өнімдердің тиімділігі мен тәуекелдерін интегралдық динамикалық бағалау әдістерін әзірлеуге негіз қалыптастырады.

Түйін сөздер: цифрлық өнім; AI-өнім; data-driven өнім; цифрлық өнімнің сенімділігі; техникалық стандарттар; сипаттамалар динамикасы.

Shevchuk Elena Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Artificial Intelligence and Robotics, Institute of Geodesy and Management, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia.; e-mail: evshevch@mail.ru . ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1206-3960 .

Pyatkova Tatiana Vladimirovna – Master of Information Technology, Senior Lecturer of the Department "Information and Communication Technologies", M. Kozybaev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: tanya.pyatkova@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4954-9857

Shaporeva Anna Vasilyevna – PhD, Associate Professor of the Department of Construction and Design; M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: annvolkova@mail.ru . ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6211-5634 .

Aitymova Aliya Muratovna– PhD, Associate Professor of the Department of Primary, Preschool and Special Education; M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk,

ISSN1609-1817 (Print)
ISSN 2790-5802(Online)
DOI 10.52167/1609-1817 №5 (146) 2026

Republic of Kazakhstan; e-mail: amakasheva@ku.edu.kz . ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1128-6924 .

Kopnova Oksana Leonidovna – PhD, Associate Professor of the Department of Mathematics and Physics; M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: okopnova@ku.edu.kz . ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6299-3728

TRANSFORMATION OF APPROACHES TO DIGITAL PRODUCT EVALUATION IN AN ERA OF PARADIGM SHIFTS: A REVIEW OF STANDARDS AND RELIABILITY REQUIREMENTS

Annotation. This article examines the transformation of approaches to assessing the reliability of digital products in the context of changing technological paradigms. The study aims to identify patterns in the evolution of the evaluation object, criteria, and temporal logic as traditional software gives way to distributed, cloud-based, data-driven, and AI systems. The methodological framework includes comparative and retrospective analysis, classification, systematization of scientific publications and international technical standards, and conceptual synthesis. The analysis demonstrates a progressive expansion of the evaluation object from software code and software failures to infrastructure, data, models, and the operational context. It is established that, for modern data-driven and AI products, technical fault-free operation and availability are necessary but insufficient characteristics of reliability. Digital product reliability is proposed as a dynamic, multi-level characteristic encompassing technical, information-and-model, and functional levels. The need to move from predominantly static evaluation toward dynamic monitoring of product state, taking into account changes in data, models, and the operating environment, is substantiated. The results provide a basis for developing methods for integrated dynamic evaluation of the effectiveness and risks of digital products.

Keywords: digital product; AI product; data-driven product; digital product reliability; technical standards; dynamics of characteristics.

Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Received 21.09.2026
Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted 12.10.2026