

Научная статья
УДК 629.7.05

Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта при испытаниях военной продукции

Сергей Сергеевич Голубев, Александр Леонидович Афанасьев,
Юрий Александрович Петров

Аннотация. В исследовании рассматриваются современные подходы к применению цифровых технологий и искусственного интеллекта в процессе испытаний военной продукции. Анализируются преимущества цифровизации цифровых технологий испытаний, приводятся примеры реализации цифровых полигонов, цифровых двойников и систем предиктивной аналитики в испытаниях. Отдельное внимание уделяется проблемам и перспективам внедрения искусственного интеллекта в испытательную практику оборонной промышленности.

Ключевые слова: цифровые технологии; искусственный интеллект; военная продукция; испытания; цифровой двойник; цифровой полигон; оборонная промышленность

Для цитирования: Голубев С.С., Афанасьев А.Л., Петров Ю.А. Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта при испытаниях военной продукции // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 88-105.

Original article

Application of Digital Technologies and Artificial Intelligence in the Process of Military Products Tests

Sergei S. Golubev, Aleksandr L. Afanasev, Iurii A. Petrov

Abstract. The study examines modern approaches to the digital technologies and artificial intelligence application in the process of military products tests. The digital transformation advantages of digital test technologies are analyzed, and examples of the digital test sites, digital twins, and predictive analytics systems implementation in tests are given. Special attention is paid to the problems and prospects of artificial intelligence adaptation for the test practice of the defense industry.

Keywords: digital technologies; artificial intelligence; military products; tests; digital twin; digital test site; defense industry

For citation: Golubev S.S., Afanasev A.L., Petrov Iu.A. Application of Digital Technologies and Artificial Intelligence in the Process of Military Products Tests. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 88-105. (In Russ.).

Введение

Испытания военной продукции являются критическим этапом в жизненном цикле (ЖЦ) вооружений. Традиционные методы испытаний часто требуют значительных временных и финансовых затрат, а также сопряжены с рисками выхода из строя опытных образцов. Современные цифровые технологии и искусственный интеллект (ИИ) позволяют существенно сократить сроки испытаний, снизить их стоимость и повысить достоверность результатов [1].

Испытания военной продукции являются одним из наиболее важных этапов в ЖЦ вооружения и военной техники (ВВТ). От их качества и полноты напрямую зависят надежность, эффективность и безопасность эксплуатации создаваемых образцов вооружения. Испытания позволяют:

- подтвердить соответствие образцов вооружения требованиям техзадания и госстандартов;
- выявить скрытые конструктивные недостатки, которые невозможно определить на стадии проектирования;
- оценить ресурсные характеристики, устойчивость к внешним воздействиям, надёжность систем управления и вооружения;
- определить возможности дальнейшей модернизации и пути повышения боевых характеристик.

В условиях современных вооружённых конфликтов, характеризующихся высокой динамикой и технологичностью, важность качественных и достоверных испытаний многократно возрастает. Военная техника должна демонстрировать высокую устойчивость к кибератакам, радиоэлектронному подавлению, экстремальным климатическим и механическим нагрузкам. Ошибки или недоработки, выявленные при эксплуатации, могут привести к

катастрофическим последствиям как для личного состава, так и для обороноспособности государства в целом. Поэтому существующая система испытаний в Российской Федерации является не просто процедурой контроля качества, а стратегическим инструментом обеспечения национальной безопасности [2].

Традиционные методы испытаний, основанные на натуральных экспериментах, требуют значительных временных и материальных затрат. Нередко для проверки одного образца вооружения необходимо провести сотни испытаний в различных условиях эксплуатации. Это сопровождается большими расходами топлива, амортизацией техники, затратами на содержание и развитие испытательных полигонов и подготовку персонала. Более того, испытания опытных образцов зачастую сопряжены с их повреждением или полной утратой. Применение цифровых технологий и ИИ существенно меняет ситуацию.

Основные преимущества заключаются в следующем. Цифровое моделирование и цифровые двойники позволяют создавать виртуальные копии военной техники, которые воспроизводят все её физические, механические и функциональные характеристики; испытания цифровых моделей позволяют заранее предсказать возможные неисправности и слабые места конструкции без проведения дорогостоящих натуральных испытаний.

Большие данные (Big Data) и предиктивная аналитика благодаря датчикам, установленным на опытных образцах вооружения, генерируют огромные массивы информации. ИИ способен обрабатывать эти данные в реальном времени, выявлять закономерности и прогнозировать вероятность отказов.

Автоматизация позволяет обеспечить сокращение времени испытаний. Алгоритмы машинного обучения позволяют в десятки раз ускорить обработку данных испытаний, а цифровые (виртуальные) полигоны дают возможность моделировать десятки сценариев боевого применения параллельно, что невозможно в натуральных условиях.

Цифровые испытания позволяют снизить расходы на 20-40%, при этом уменьшается риск выхода из строя дорогостоящих опытных образцов, а также опасность для личного состава, задействованного в испытаниях.

Таким образом, цифровизация испытательных процессов становится неотъемлемым условием модернизации оборонно-промышленного комплекса. Она позволяет объединить традиционные натурные испытания с виртуальным моделированием, что обеспечивает комплексный подход к оценке эффективности военной техники.

Основными проблемами внедрения ИИ при испытаниях продукции являются угрозы кибербезопасности, связанные с использованием облачных платформ и сетей IoT (интернет вещей); а также ограниченная надёжность и верифицируемость цифровых моделей, поскольку результаты ИИ напрямую зависят от качества исходных данных и корректности алгоритмов. Имеет место недостаточная нормативно-правовая база, не полностью регламентирующая применение ИИ в критически важных и оборонных отраслях. Главной проблемой являются кадровые и организационные сложности, выражающиеся в дефиците специалистов, способных одновременно работать с испытательными методиками, Big Data и алгоритмами машинного обучения.

Совмещение возможностей ИИ и цифровых технологий открывает путь к созданию полностью интегрированных систем испытаний, где каждый этап – от проектирования до боевого применения – может контролироваться в цифровой среде. Это не только ускоряет процесс разработки вооружений, но и повышает их надёжность, что имеет стратегическое значение для обороноспособности страны.

Методы исследования

При подготовке статьи использован комплекс методов исследования, обеспечивающих целостный анализ проблемы. В качестве основного метода исследования использовался теоретический анализ и систематизация литературы, осуществлялось изучение научных публикаций, нормативных документов (ГОСТ, стандарты НАТО, ISO) и аналитических отчётов (DARPA, RAND Corporation, Lockheed Martin, Ростех). Далее проводилась систематизация и классификация существующих подходов к цифровизации испытаний. Авторами применен сравнительный метод, который применялся при сопоставлении традиционных методов испытаний с

цифровыми технологиями (цифровые двойники, IoT, Big Data, дополненная и виртуальная реальность – AR/VR), сравнении отечественного и зарубежного опыта (Россия – США – НАТО), а также при построении сравнительных таблиц по критериям: стоимость, время, точность, риски. Авторы применяли методы прогнозирования, предлагая использование принципа цифрового двойника как теоретической основы моделирования испытаний и методов предиктивной аналитики для оценки снижения отказов и повышения надёжности систем. Осуществлялось прогнозирование эффективности внедрения цифровых технологий (сокращение сроков и затрат). Методы экономического анализа применялись при оценке экономического эффекта внедрения цифровых технологий на основе данных о снижении стоимости испытаний и расчёте относительных показателей экономии и сроков сокращения испытаний. Использование методов затраты-эффективность позволило провести оценку цифровых полигонов.

Визуализация и статистический анализ данных применялся при построении графиков и диаграмм, отражающих динамику внедрения технологий, экономический эффект, сокращение сроков испытаний. Использование методов визуальной аналитики позволило наглядно представить риски и преимущества цифровизации.

Сценарный подход (метод прогнозных сценариев) применялся при формировании возможных сценариев развития испытаний в будущем: интегрированные цифровые полигоны, генеративный ИИ, квантовые вычисления и выявление рисков и преимуществ каждого сценария для оборонной промышленности.

В результате сочетание этих методов позволило выявить сильные и слабые стороны цифровизации испытаний, показать её эффективность по сравнению с традиционными подходами, обозначить риски (кибербезопасность, нормативные барьеры, кадровый дефицит), а также предложить перспективные направления развития.

В настоящем исследовании результаты и выводы получены с учётом ряда допущений и ограничений, обусловленных спецификой применения цифровых технологий и ИИ при испытаниях продукции.

Во-первых, цифровые модели и цифровые двойники рассматриваются как дополнение к натурным испытаниям, а не их полная замена. Для критически важных этапов, связанных с безопасностью, приёмкой и сертификацией изделий, приоритет сохраняется за натурными методами испытаний.

Во-вторых, применение методов ИИ ограничено доступностью и качеством исходных данных. При испытаниях новых изделий объём достоверных экспериментальных данных, как правило, недостаточен, что вынуждает использовать синтетические данные, полученные на основе классических цифровых моделей. Это создаёт риск накопления ошибок и требует строгой верификации и валидации результатов.

В-третьих, экономические показатели эффективности цифровизации испытаний в статье приводятся без учёта первоначальных капитальных затрат на создание цифровых полигонов, моделей и вычислительной инфраструктуры. Экономический эффект оценивается в рамках ЖЦ продукции и проявляется преимущественно на средне- и долгосрочном горизонте.

В-четвёртых, выводы о состоянии цифровизации испытаний в Российской Федерации основаны на анализе открытых источников и отдельных реализованных проектов. В настоящее время речь идёт не о сформированной экосистеме, а о разрозненных инициативах, находящихся на разных стадиях зрелости.

Указанные ограничения не снижают научной значимости исследования, но определяют границы применимости полученных результатов и подчёркивают необходимость дальнейшего развития нормативной, методической и технологической базы цифровых испытаний.

Результаты

Ключевыми направлениями цифровизации испытаний военной продукции являются: внедрение цифровых двойников, применение Big Data и машинного обучения, создание виртуальных испытательных полигонов. Возможности замещения натурных испытаний цифровыми методами представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможности замещения натуральных испытаний цифровыми методами (с учётом специфики и ограничений)

Вид испытаний	Возможность цифровой замены	Обоснование	Испытания, остающиеся натурными
Параметрические и режимные	Высокая (частичная замена)	Хорошо формализуемые процессы, наличие математических моделей	–
Сценарные (многофакторные)	Высокая	Цифровые полигоны позволяют моделировать тысячи сценариев	–
Стендовые доводочные	Средняя	Требуется калибровка по натурным данным	Первичная проверка узлов
Полигонные эксплуатационные	Низкая	Сложные комбинированные воздействия, неопределённости среды	Большинство испытаний
Приёмочные и сертификационные	Отсутствует	Требования безопасности и нормативов	Все этапы
Испытания живучести и боевой стойкости	Отсутствует	Недостаточная воспроизводимость поражающих факторов	Все этапы

Примечание: цифровые методы используются для сокращения объёма, а не для полной замены натуральных испытаний.

Представленные в таблице 1 данные носят обобщённый и ориентировочный характер и отражают не конкретные программы испытаний, а сводные оценки по результатам зарубежных и отечественных аналитических обзоров. Цифровыми методами преимущественно заменяются параметрические, сценарные и ранние этапы доводочных испытаний, тогда как приёмочные и сертификационные испытания сохраняются в натурной форме. Снижение числа отказов оценивалось относительно статистики отказов при традиционной организации испытаний без предиктивной аналитики. Предиктивная аналитика как класс методов известна давно; а новизна заключается не в самих методах, а в масштабировании, интеграции с цифровыми двойниками и применении современных ИИ-алгоритмов.

Можно частично/в значительной доле заменять цифровыми (при наличии валидированных моделей и данных) параметрические и режимные исследования (подбор режимов, чувствительность к параметрам, оптимизация управления, испытания на «массовых» сценариях (тысячи вариантов условий (погода/рельеф/тактика), когда натурно это дорого/долго), ранние этапы доводки (поиск слабых мест конструкции, виртуальные стендовые прогоны), ситуации повышенного риска (опасные режимы (на предельных нагрузках), когда цифровой прогон снижает риск потери образца).

Нельзя полностью заменять (цифра – только дополнение) приёмочные/сертификационные испытания, влияющие на допуск к эксплуатации и безопасность, испытания на стойкость к экстремальным и плохо моделируемым воздействиям (комбинации факторов, редкие эффекты, деградация материалов), электромагнитная совместимость/устойчивость, РЭБ/кибер в реальной среде (цифра помогает, но подтверждение натурное обязательно), испытания живучести/боевой стойкости (поражающие факторы) – цифровые модели допустимы как сокращение числа прогонов, но не как полная замена. Критерием допуска к замещению является уровень доверия к модели (verification, validation and accreditation – VV&A), критичность решения, полнота охвата рисков.

Одним из наиболее перспективных направлений цифровизации испытаний военной продукции является технология цифровых двойников. Цифровой двойник – это динамическая виртуальная модель реального объекта, которая отражает его конструктивные, функциональные и эксплуатационные характеристики в реальном времени.

В военной сфере цифровые двойники применяются для моделирования поведения вооружения в различных климатических и боевых условиях, оценки надёжности и ресурса

узлов и агрегатов без проведения дорогостоящих и рискованных натуральных испытаний, прогнозирования отказов и оценки последствий разрушения узлов, деталей, комплектующих, а также подготовки персонала на основе взаимодействия с виртуальной копией вооружения.

Практическая ценность цифровых двойников заключается в том, что они позволяют создавать многовариантные сценарии испытаний и моделировать ситуации, которые в реальности невозможно воспроизвести на испытательном полигоне. Например, можно проверить устойчивость бронетехники к новым видам вооружений или смоделировать экстремальные климатические нагрузки (пустыня, Арктика, влажные тропики).

Несмотря на активное внедрение цифровых моделей и цифровых двойников в оборонной сфере, их практическое применение сталкивается с рядом системных ограничений. Ключевыми проблемами остаются недостаточная верификация и валидация моделей, ограниченная репрезентативность исходных данных и отсутствие единых стандартов интероперабельности. Документы Минобороны США и аналитические отчёты подчёркивают, что цифровые двойники пока не могут полностью заменить натурные испытания, а лишь дополняют их¹. Существенное внимание уделяется вопросам кибербезопасности и защите цифровых активов, поскольку цифровые модели становятся критически важным элементом оборонной инфраструктуры. В ответ на выявленные пробелы формируются стратегии цифрового инжиниринга, направленные на создание сквозной цифровой нити и повышение доверия к результатам моделирования. Таким образом, дальнейшее развитие цифровых двойников рассматривается как эволюционный процесс, требующий технологического, нормативного и организационного совершенствования.

По оценкам российских и зарубежных специалистов, использование цифровых двойников позволяет сократить объём натуральных испытаний до 40-50%, а также снизить риски выхода из строя опытных образцов².

Традиционные испытания военной техники требуют современного оснащения испытательных полигонов, значительных материальных ресурсов и времени. Виртуальное моделирование стало альтернативой, позволяющей переносить значительную часть испытаний в цифровую среду.

Основные возможности виртуального моделирования заключаются в тестировании на виртуальных полигонах. Современные программные комплексы создают реалистичные модели местности, включая рельеф, погодные условия, препятствия и даже динамику боевых действий. Использование AR/VR технологий (очки виртуальной и дополненной реальности) позволяет операторам взаимодействовать с моделью техники в условиях, максимально приближённых к реальным. Это обеспечивает эффективную подготовку экипажей и испытателей, быстрое внесение изменений в проект. Любая доработка конструкции может быть проверена в виртуальной среде за часы, тогда как на натурное изготовление и испытание требуются недели и месяцы.

Цифровые платформы позволяют объединять усилия различных конструкторских бюро, военных академий и исследовательских центров, обеспечивая сетевое взаимодействие при проектировании и тестировании. Благодаря виртуальному моделированию в десятки раз увеличивается количество возможных сценариев испытаний, что значительно расширяет научную и практическую базу для оценки надёжности военной техники.

Испытания современной военной техники сопровождаются генерацией огромных массивов информации. На одном танке или истребителе установлены сотни датчиков, фиксирующих тысячи параметров в реальном времени: температуру, вибрации, нагрузку, износ, работу электронных систем. Big Data в оборонной промышленности используется для сбора и хранения данных в масштабах, ранее недоступных традиционным испытательным системам, анализа закономерностей между параметрами, которые человек не способен выявить без помощи алгоритмов машинного обучения, создания предиктивных моделей, прогнозирующих вероятность

¹ Director, Operational Test and Evaluation. FY 2019 Annual Report. Washington, DC: U.S. Department of Defense, 2019. 322 p. URL: <https://www.cagw.org/sites/default/files/pdf/2019DOTEAnnualReport.pdf>

² Собачкин А. Один в один, но в цифре // Ведомости. 2023. 27 ноября. URL: <https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsub/columns/2023/11/27/1007598-odin-v-odin-no/>

поломок и отказы ещё до их возникновения, а также оптимизации испытательных программ, когда система автоматически предлагает наиболее важные сценарии для тестирования.

ИИ в сочетании с Big Data обеспечивает новую парадигму испытаний: техника не просто проверяется на соответствие требованиям, а её поведение анализируется в динамике, с учётом реальных условий эксплуатации и взаимодействия с другими элементами боевой системы (рисунок 1).

По результатам исследований НАТО и DARPA внедрение технологий Big Data в испытательные программы позволяет сократить количество натуральных отказов на 25-30%, а также ускорить процесс доводки сложных систем вооружений почти вдвое [2] (рисунок 2).

Таким образом, цифровые двойники, виртуальное моделирование и Big Data формируют основу новой цифровой экосистемы испытаний военной техники, которая сочетает высокую точность прогнозирования, сокращение сроков и снижение затрат.

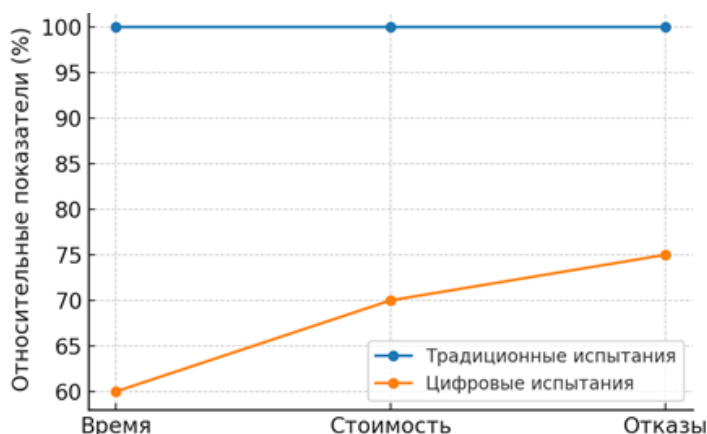


Рисунок 1 – Сравнение традиционных и цифровых испытаний

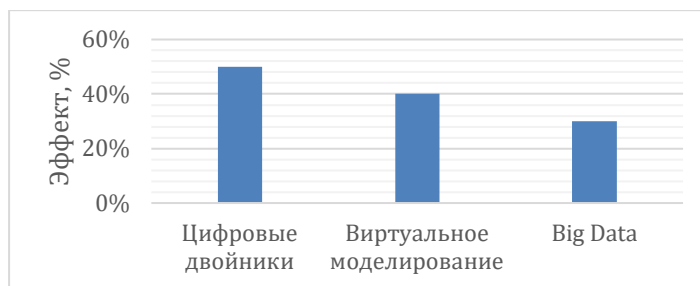


Рисунок 2 – Эффективность технологий цифровизации в испытаниях

Искусственный интеллект в процессах испытаний

ИИ используется для автоматизации анализа результатов, предиктивной аналитики и оптимизации испытательных режимов. Он позволяет выявлять скрытые закономерности в данных, прогнозировать вероятность отказов и корректировать сценарии испытаний в реальном времени (таблица 2).

Одним из наиболее значимых направлений внедрения ИИ в испытания военной продукции является автоматизация анализа результатов. Традиционный подход предполагает, что получаемые в ходе испытаний данные обрабатываются вручную либо с использованием классических статистических методов. Однако при этом возможны высокая вероятность человеческих ошибок, длительное время передачи (например, с испытательного полигона на предприятие промышленности) и обработки (от недель до месяцев), возможности выявления скрытых закономерностей ограничены.

Таблица 2 – Сравнение аналитических подходов при испытаниях изделий

Критерий	Классические аналитические методы (FMESA, RAMS, SVM и др.)	Методы с применением ИИ
Источник данных	Реальные данные испытаний и эксплуатации	Реальные + синтетические данные
Применимость к новым изделиям	Высокая	Ограниченная
Требования к объёму данных	Умеренные	Высокие
Риск накопления ошибок	Низкий	Повышенный (модель второго порядка)
Возможность выявления скрытых закономерностей	Ограниченная	Высокая (при достаточных данных)
Необходимость валидации	Обязательна	Критически обязательна

ИИ позволяет автоматически обрабатывать данные в реальном времени, формируя отчёты сразу после испытания, сравнивать результаты с эталонными моделями и выявлять отклонения, визуализировать данные в удобной форме (графики, тепловые карты, интерактивные панели), давать рекомендации испытателям, например, по изменению режима испытания или выявлению потенциальной причины неисправности. Например, при испытании бронетехники ИИ может одновременно анализировать данные о вибрациях корпуса, температуре двигателя, износе трансмиссии и нагрузке на подвеску. В результате система сама формирует вывод о том, в каком узле наиболее вероятен сбой.

Таким образом, автоматизация анализа результатов повышает скорость принятия решений, минимизирует ошибки экспертов и позволяет ускорить процесс перехода от опытного образца к серийному производству.

Предикативная аналитика

Одним из наиболее востребованных направлений внедрения ИИ в испытаниях военной продукции является предиктивная аналитика. Она основана на применении алгоритмов машинного обучения, которые используют накопленные данные для прогнозирования вероятности отказов ещё до их фактического возникновения. Ключевые задачи предиктивной аналитики заключаются в прогнозировании ресурса компонентов (например, двигателя, электроники, оптики), раннем выявлении дефектов, которые могут привести к отказам в критических ситуациях, оптимизации графика испытаний и технического обслуживания, а также снижении риска аварий и выхода из строя дорогостоящих образцов вооружения.

В современных системах предиктивная аналитика работает следующим образом. Датчики собирают информацию в реальном времени о работе всех систем военной техники. Алгоритмы ИИ сравнивают текущие показатели с историческими данными испытаний и эксплуатации. На основе выявленных закономерностей система прогнозирует вероятность выхода из строя конкретного узла.

Испытатели получают предупреждение о возможном отказе и могут внести изменения в конструкцию. Предиктивная аналитика основана на том, что каждый отказ техники имеет определённые предвестники – аномалии в работе систем, которые фиксируются датчиками, но не всегда заметны человеку.

Алгоритмы ИИ позволяют сравнивать текущие показатели с историческими данными по аналогичным образцам вооружения, выявлять аномальные тренды (например, рост температуры в узле или постепенное снижение давления в гидросистеме), рассчитывать вероятность отказа в ближайшее время, а также планировать испытания и техническое обслуживание так, чтобы минимизировать риск выхода из строя (рисунок 3).

Применение предиктивной аналитики в испытаниях сокращает количество внезапных отказов на 20–30%, а также позволяет существенно уменьшить стоимость и сроки доводки военной техники. По исследованиям DARPA, внедрение предиктивной аналитики в систему испытаний военной авиации снизило количество отказов на 27%, а стоимость испытаний – на 18% [2].

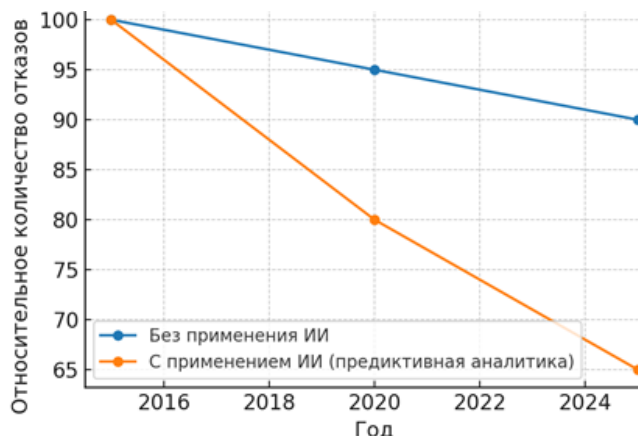


Рисунок 3 – Эффект предиктивной аналитики на снижение отказа

Пример: в США при тестировании истребителя F-35 используется система Health Monitoring System, которая в реальном времени анализирует состояние двигателя. Алгоритмы машинного обучения прогнозируют износ лопаток турбины за десятки часов до возможного разрушения, позволяя предотвратить катастрофические последствия.

Таким образом, предиктивная аналитика позволяет перейти от реактивной модели испытаний («отказ произошёл – устраняем») к проактивной («система предупредила о будущем отказе – предотвращаем»).

Машинное обучение

Третьим направлением применения ИИ является использование машинного обучения для оптимизации испытательных режимов. Традиционный подход к испытаниям строится на заранее заданных сценариях, утверждённых техзаданием, закреплённым в ГОСТах и нормативных документах. Однако такие сценарии не всегда отражают всё многообразие условий реального боевого применения и всю полноту возможных условий эксплуатации техники. Здесь на помощь приходит машинное обучение.

Машинное обучение даёт возможность комбинировать факторы воздействия, например, сильный мороз + радиоэлектронное подавление + высокие перегрузки, автоматически корректировать параметры испытаний в зависимости от полученных результатов и поведения объекта испытаний, минимизировать количество избыточных испытаний, исключая повторные проверки при наличии достаточных данных, повышать полноту и точность испытаний за счёт использования оптимизированных комбинаций факторов, а также снижать стоимость, исключая ненужные повторные проверки.

Например, при тестировании российских беспилотных летательных аппаратов алгоритмы ИИ помогают автоматически формировать оптимальные маршруты испытательных полётов. При испытаниях авиационной техники алгоритм машинного обучения может предложить скомбинировать режимы перегрузок, высоких температур и отказа части бортовых систем, что позволит выявить уязвимости конструкции раньше, чем при стандартных методиках. В результате количество критических отказов снижается на 20-25%, а общее время программы испытаний сокращается почти на треть [3]. Машинное обучение превращает испытания в адаптивный процесс, где сценарии динамически подстраиваются под полученные результаты, что значительно повышает эффективность доводки вооружений.

Источники данных для обучения ИИ могут являться стендовые/полигонные измерения (телеметрия, журналы отказов), данные эксплуатации (ремонтные базы, ТО, ресурсные показатели), результаты моделирования (в т.ч. синтетические данные), лабораторные измерения материалов/узлов, экспертная разметка (инженеры, испытатели).

Достоверность данных может гарантироваться владельцем данных, правилами доступа, происхождением каждой выборки, условиями получения, версиями программного обеспечения (ПО) и датчиков. Этому могут способствовать процедуры качества: валидация

датчиков, контроль выбросов, кросс-проверка источников, а также контроль репрезентативности (покрытие режимов/условий, матрица сценариев). При этом важна непрерывность потока (регламент): сбор, очистка, маркировка, контроль качества, обучение, тестирование, развертывание, мониторинг, переобучение. Для непрерывности важно закрепить правила остановки/отката модели при деградации качества.

Таким образом, использование ИИ в испытаниях военной продукции формирует новый стандарт испытательных процессов, который характеризуется ускорением анализа (с недель до часов), снижением числа отказов на 20-30%, оптимизацией испытательных сценариев, приближенных к реальному боевому применению и сокращением стоимости испытаний на 20-40%.

ИИ не только повышает эффективность испытаний, но и превращает их в интеллектуально управляемый процесс, обеспечивающий более надёжную и быструю доводку военной техники. В совокупности автоматизация анализа данных, предиктивная аналитика и машинное обучение формируют новый стандарт испытательных процессов. Он ориентирован не только на констатацию фактов, но и на прогнозирование, оптимизацию и интеллектуальную поддержку принятия решений. Это позволяет сократить сроки испытаний, повысить их надёжность и снизить затраты.

Цифровые (виртуальные) полигоны позволяют проводить виртуальные испытания на основе математического моделирования, использовать облачные вычисления и AR/VR технологии для обучения операторов.

Технологии цифровых полигонов

Термин «цифровой полигон» обозначает комплекс технологий, позволяющий переносить значительную часть испытаний военной техники из реальной среды в виртуальную. Такой подход сочетает натурные испытания с цифровым моделированием, создавая интегрированную испытательную экосистему, в которой военная продукция проходит проверку в условиях, максимально приближенных к боевым.

Цифровые (виртуальные) полигоны строятся на базе трёх основных технологических направлений: облачные вычисления, IoT и технологии дополненной/виртуальной реальности (AR/VR) (рисунок 4).

Широкое распространение получают облачные платформы для моделирования. Современные военные испытания требуют колоссальных вычислительных ресурсов. Например, при моделировании полёта истребителя учитываются аэродинамика, работа двигателей, поведение систем управления, внешние воздействия (погодные, климатические, радиоэлектронные). Все эти процессы сложно адекватно протестировать с помощью вычислительных возможностей персональных компьютеров.

Облачные платформы решают проблему за счёт распределённых вычислений, позволяющих параллельно моделировать десятки сценариев, масштабируемости (ресурсы автоматически увеличиваются в зависимости от сложности задачи, совместной работы разных подразделений (КБ, НИИ, военных испытательных центров) в единой цифровой среде, хранения и обработки больших массивов данных, собранных при испытаниях.

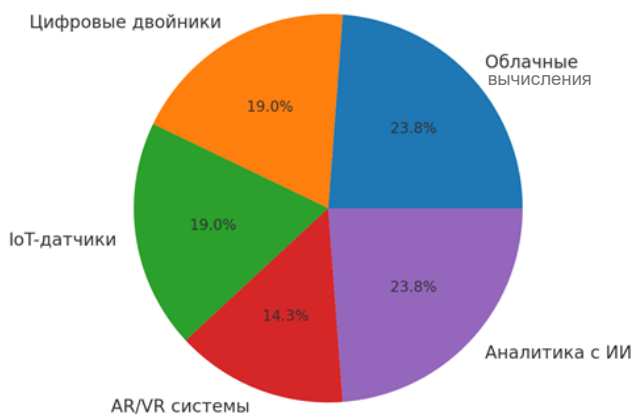


Рисунок 4 – Компоненты цифрового (виртуального) полигона

При этом важно определить, какая нужна облачная инфраструктура и в чьём ведении она должна быть. Требуется защищённое облако/гибрид (HPC³ + хранилища + MLOps⁴ + инструменты моделирования), поддержка цифровых двойников (временные ряды, потоковая обработка событий, графовые модели), защищённые контуры (раздельные домены по уровням открытости), контроль доступа, аудит, ведение журналов, интеграция с полигонной телеметрией и IoT (шлюзы, брокеры сообщений), а также резервирование, отказоустойчивость, контроль целостности данных/моделей.

Если речь о испытаниях и боевой эксплуатации – логично ядро иметь в контуре Минобороны России, а если речь идет о цифровой трансформации ОПК и НИОКР, то возможна совместная модель (Минпромторг России/интегратор и предприятия, но с обязательным шлюзом/контролем передачи в военный контур).

Облачные вычисления позволяют в десятки раз увеличить число испытательных сценариев, снизить нагрузку на натурные полигоны и существенно ускорить процесс доводки сложных систем вооружений.

Цифровые (виртуальные) полигоны невозможны без полноценной интеграции датчиков и систем IoT в военную технику. Каждый современный образец – будь то танк, корабль или беспилотник – оснащается сотнями сенсоров, которые фиксируют параметры работы в режиме реального времени [4].

Функции IoT и датчиков в испытаниях заключаются в сборе телеметрических данных (скорость, перегрузки, вибрации, температура, давление, уровень износа), передаче информации на испытательные центры через защищённые каналы связи, формировании «цифрового следа» эксплуатации каждого образца, а также взаимодействии с цифровыми двойниками для уточнения математических моделей (рисунок 5).

Взаимодействие IoT и облачных технологий осуществляется следующим образом. Происходит сбор данных (IoT-датчики), фиксирующих температуру, вибрации, давление, скорость, износ и другие параметры. Затем данные по защищённым каналам связи поступают в распределённые дата-центры, где облачные алгоритмы обрабатывают информацию, выявляют аномалии и прогнозируют возможные отказы. Результаты анализа отображаются в удобной форме для инженеров и испытателей (графики, модели, VR-среда). Решения испытателей принимаются на основе полученной информации. Специалисты принимают решения о корректировке испытаний, модернизации конструкции или повторных тестах. Таким образом, IoT и облака образуют замкнутый контур, включающий технику, сенсоры, облако, аналитику, визуализацию и управленческие решения.

По данным исследований NATO Science & Technology Organization, интеграция IoT в военные испытания позволила увеличить полноту собираемых данных более чем на 60% по сравнению с традиционными методами⁵.

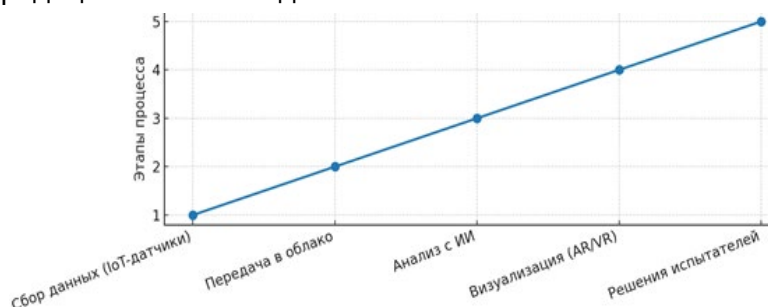


Рисунок 5 – Схема взаимодействия IoT и облачных технологий

³ HPC (High-Performance Computing) – вычислительные мощности для обучения и настройки моделей.

⁴ MLOps (Machine Learning Operations) – набор практик, процессов и инструментов для управления полным жизненным циклом моделей машинного обучения: от подготовки данных и обучения до развертывания, мониторинга и обновления моделей в промышленной эксплуатации.

⁵ NATO Science & Technology Organization. Science & Technology Trends 2025-2045. Vol.1: Public Release. Brussels: NATO STO, 2025. 120 p. URL: https://sto-trends.com/assets/briefing-papers/NATO_STO_Science_and_Technology_Trends_2025_2045_Volume_1_English.pdf

Например, в России АО «Концерн «Калашников» внедряет систему цифрового мониторинга состояния стрелкового оружия. В ней используются миниатюрные сенсоры, фиксирующие количество выстрелов, износ ствола и вероятность отказа. Эти данные в режиме реального времени поступают в аналитическую систему, где с помощью ИИ строятся прогнозы ресурса оружия⁶.

Таким образом, IoT превращает военную технику в «говорящий объект», который сам сообщает об изменениях своего состояния и позволяет проектировать и проводить испытания с максимальной точностью.

Технологии дополненной и виртуальной реальности

Другим ключевым направлением развития цифровых (виртуальных) полигонов является использование технологий дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR). Эти инструменты позволяют испытателям, инженерам и военным операторам работать с техникой в иммерсионной среде, максимально приближенной к реальной.

Основные возможности AR/VR заключаются в проведении виртуальных испытаний в условиях боевого применения (например, симуляция боя танка в городской среде или полёта истребителя в условиях радиоэлектронного подавления), обучении экипажей без использования дорогостоящих натуральных образцов, визуализации внутренних процессов работы техники, которые невозможно увидеть при реальных испытаниях (например, распределение температурных нагрузок внутри двигателя), создании «комбинированных полигонов», где часть испытаний проводится в реальности, а часть – в виртуальной среде.

Например, корпорация Lockheed Martin использует VR-платформы для испытаний авиационных систем. Лётчики и инженеры могут одновременно находиться в едином виртуальном пространстве, тестируя работу самолёта в десятках сценариев, которые невозможно реализовать на реальных полигонах⁷.

В России AR/VR активно внедряется в обучении военных специалистов. Например, при подготовке операторов ПВО используются системы дополненной реальности, которые позволяют тренироваться в условиях имитации массированного авиационного налёта.

AR/VR не только удешевляют испытания и обучение, но и позволяют значительно увеличить количество сценариев, включая те, что были бы слишком опасны или невозможны для реализации в реальности [5].

Цифровые (виртуальные) полигоны представляют собой инновационную инфраструктуру военных испытаний, которая объединяет облачные вычисления, IoT и технологии AR/VR. Их применение позволяет снизить нагрузку на испытательные полигоны, ускорить доводку вооружений, повысить достоверность результатов испытаний, обеспечить подготовку персонала в максимально приближенных к реальным боевым условиям (таблица 3).

Таблица 3 – Экономический эффект цифровизации испытаний

Показатель	Эффект	Условия достижения
Снижение стоимости испытательных работ	20-40%	Без учёта капитальных затрат
Сокращение сроков испытаний	25-50%	При гибридной схеме (цифра + натура)
Снижение аварийности опытных образцов	До 20%	При наличии предиктивных моделей
Совокупный эффект в ЖЦ	Проявляется на средне- и долгосрочном горизонте	После окупаемости цифровой инфраструктуры

⁶ Хомяков А. Концерн «Калашников» создал мишень с искусственным интеллектом // Военное дело. 2024. 19 декабря. URL: <https://voennoedelo.com/posts/id67912-kontsern-kalashnikov-sozdal-mishen-s-iskusstvennym-intellektom>

⁷ Lockheed Martin. Immersive Training Devices: Blending Real and Simulated Worlds Together. 2023. URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2023/immersive-training-devices-blending-real-and-simulated-worlds-together.html>

Таким образом, цифровые (виртуальные) полигоны становятся ключевым инструментом цифровой трансформации оборонной промышленности, обеспечивая более высокий уровень безопасности, качества, эффективности и экономичности испытаний.

Обсуждение

Современные тенденции цифровизации испытаний военной техники находят отражение не только в теоретических разработках, но и в конкретных практических проектах. Россия и зарубежные страны активно внедряют технологии цифровых двойников, предиктивной аналитики и виртуального моделирования в оборонную промышленность [6].

Госкорпорация «Ростех» является одним из лидеров цифровой трансформации в оборонной отрасли. В рамках своих предприятий (АО «Концерн «Уралвагонзавод», АО «Вертолёты России», АО «Концерн «Калашников») ведётся активная работа по внедрению технологий ИИ в испытательные процессы. В АО «Концерн «Уралвагонзавод» разрабатываются цифровые (виртуальные) полигоны для испытаний бронетехники, где моделируются условия городского боя, степных и арктических ландшафтов.

В холдинге АО «Вертолёты России» внедряются системы предиктивной аналитики, которые прогнозируют износ лопастей и узлов трансмиссии вертолётов ещё до наступления отказа. В АО «Объединённая авиастроительная корпорация» активно используется концепция цифрового двойника при испытаниях перспективных авиационных комплексов. Так, при создании самолётов семейства МС-21 и Су-57 внедрены цифровые платформы, позволяющие проводить виртуальные аэродинамические испытания, моделировать поведение планера и систем при перегрузках. Используются облачные системы моделирования, которые сокращают время испытаний на 30-40%⁸.

АО «Концерн «Калашников» внедряет систему мониторинга стрелкового оружия с применением IoT-датчиков. При натурных испытаниях каждое оружие получает цифровой паспорт, в который вносятся данные о количестве выстрелов, износе и техническом состоянии. Применение ИИ позволяет анализировать статистику стрельб и выявлять закономерности отказов в зависимости от условий эксплуатации.

Зарубежные разработки представлены DARPA (Агентство перспективных оборонных исследовательских проектов США), которое активно инвестирует в разработку технологий цифровых полигонов. В рамках программы Digital Test Range создаются виртуальные испытательные полигоны, которые позволяют моделировать работу новых видов вооружений в условиях сетевых войн и кибератак. DARPA развивает технологии Generative AI, позволяющие автоматически создавать тысячи сценариев испытаний для оценки живучести систем.

Один из крупнейших мировых производителей вооружений Lockheed Martin применяет цифровые технологии при испытаниях авиационной и морской техники. При создании истребителя F-35 используется цифровой двойник самолёта, который моделирует состояние каждой детали и прогнозирует её ресурс. Lockheed Martin внедряет VR-тренажёры для испытателей, позволяющие обкатывать новые режимы работы бортовых систем без риска повреждения дорогостоящего оборудования. По данным компании, цифровизация испытаний F-35 позволила сократить объём натурных тестов почти на 40% и снизить их стоимость на 25%.

Применение цифровых технологий позволяет сократить сроки испытаний на 30-50%, снизить стоимость на 20-40% и повысить точность прогнозов более чем на 90%. Переход от традиционных методов испытаний к цифровым сопровождался не только ускорением процессов, но и кардинальным изменением качества результатов. Одним из главных эффектов внедрения цифровых технологий является значительное сокращение сроков испытаний. При традиционной системе полный цикл испытаний новых образцов мог занимать от 5 до 7 лет. С использованием цифровых двойников и предиктивной аналитики этот срок сокращается на 30-50%, что особенно важно в условиях быстро меняющихся военных угроз (рисунок 6).

⁸ "Вертолёты России" разработали уникальную систему для выявления скрытых повреждений лопастей вертолётов // Авиапорт. 2016. 18 мая. URL: <https://www.aviaport.ru/news/386521/>

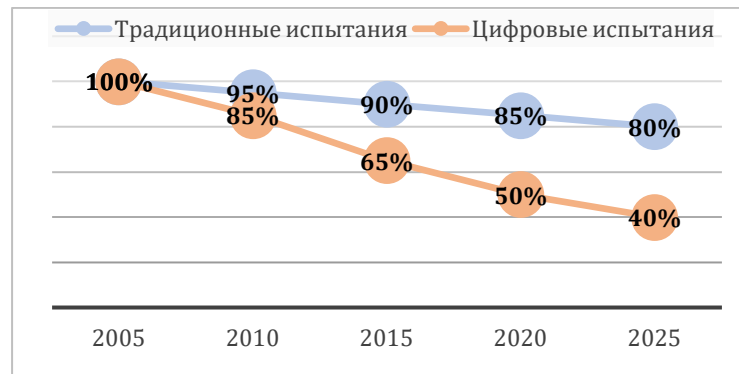


Рисунок 6 – Динамика сокращения сроков испытаний, %

Оценка стоимости разработки, сопровождения цифровых двойников практически осуществляется через сокращение натуральных прогонов (ΔN тестов), уменьшение времени цикла (ΔT), снижение потерь/поломок опытных образцов ($\Delta Risk$), снижение стоимости техобслуживания и ремонта в эксплуатации (через предиктивное обслуживание).

Для включения в техзадание цифровых полигонов/двойников вводят такие показатели эффективности, как доля сценариев, закрываемых цифровыми испытаниями (например, $\geq X\%$), целевое сокращение сроков испытаний (например, $-Y\%$), а также целевое снижение отказов в ходе испытаний/эксплуатации, требования к точности прогнозов (например, доверительные интервалы) и требования к V&A и трассируемости.

Например, испытания современного истребителя по старым методикам – до 6 лет. При применении цифрового (виртуального) полигона и моделирования – около 3,5-4 лет.

Таким образом, цифровизация испытаний позволяет быстрее внедрять новые образцы вооружений в серийное производство и поставлять их войскам.

Экономический эффект внедрения цифровых технологий проявляется в снижении затрат на натурные испытания (меньше расходов на топливо, боеприпасы, аренду и содержание испытательных полигонов) отмечается снижение износа дорогостоящих опытных образцов и сокращение расходов на персонал, уменьшение потерь от аварий и отказов. Автоматизация анализа данных позволяет сократить численность группы испытателей на 20-25%.

Предиктивная аналитика снижает риск выхода техники из строя во время испытаний, что экономит миллионы долларов/рублей, обеспечивает повышение эффективности исследований и разработок (НИОКР), дает возможность многократного моделирования, сокращает время доводки образцов и ускоряет переход к серийному производству (таблица 4).

По оценкам RAND Corporation, внедрение цифровых полигонов и цифровых двойников в США позволило снизить общую стоимость программы испытаний авиационной техники на 18-25%. В России, по данным Минпромторга, аналогичные проекты в оборонной промышленности показали экономию на уровне 15-20% бюджета НИОКР [7].

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации испытательных процессов, широкое внедрение ИИ и цифровых технологий в оборонной сфере сопряжено с рядом проблем и рисков. Эти барьеры носят как технический, так и организационно-правовой характер, и их преодоление является обязательным условием успешной реализации цифровых (виртуальных) полигонов и интеллектуальных систем испытаний.

Основными проблемами являются вопросы кибербезопасности, надёжности цифровых моделей, а также необходимость разработки нормативной правовой базы для применения ИИ в оборонной сфере (таблица 5), (рисунок 7)⁹.

Использование облачных вычислений, цифровых двойников и сетей IoT в военной технике неизбежно приводит к росту киберугроз и рискам несанкционированного доступа. Система испытаний, основанная на облачных вычислениях, уязвима для атак, направленных на хищение данных о конструкции вооружений и параметрах испытаний. Опасность кибервмешательства в

⁹ Хомяков А. Концерн «Калашников»... Указ. соч.

испытания заключается в том, что недоброжелатель может изменить цифровую модель, что приведёт к искажённым результатам и ошибочным решениям при доводке военной техники. При использовании распределённых полигонов необходима устойчивая и защищённая связь. В случае радиоэлектронного подавления возможен сбой всей системы.

Таким образом, цифровизация испытаний требует создания специализированных средств киберзащиты, включая шифрование данных, квантовую криптографию и защищённые каналы связи военного назначения.

Цифровые двойники и виртуальные полигоны строятся на основе математических моделей, которые в идеале должны максимально точно воспроизводить физические процессы. Однако здесь возникают риски недостаточности исходных данных. Если данные о поведении техники в экстремальных условиях отсутствуют, модель не сможет адекватно прогнозировать результаты. При этом даже самые продвинутые цифровые двойники часто используют приближённые алгоритмы, что снижает достоверность полученных результатов.

Таблица 4 – Сравнительная таблица «традиционные испытания по сравнению с цифровыми испытаниями»

Показатель	Традиционные испытания	Цифровые испытания
Время проведения	Месяцы-годы	Сокращено в 2-3 раза
Стоимость	Очень высокая	На 30-40% ниже
Масштабируемость	Ограничена реальными полигонами	Практически неограниченная
Риск выхода техники из строя	Высокий	Минимизирован благодаря моделированию
Автоматизация анализа	Отсутствует	ИИ-алгоритмы в реальном времени
Точность прогнозирования	Средняя (60-70%)	Высокая (90-95%)
Безопасность испытателей	Есть риск аварий	Полная безопасность

Таблица 5 – Основные проблемы внедрения цифровых технологий и возможные решения

Проблема	Возможное решение
Кибербезопасность	Внедрение защищённых каналов связи, квантовой криптографии, системы мониторинга киберугроз
Надёжность цифровых моделей	Регулярная валидация моделей на основе натуральных данных, использование гибридных испытаний (натурные + цифровые)
Нормативно-правовая база	Разработка ГОСТов и военных стандартов по применению ИИ и цифровых двойников в испытаниях
Высокая стоимость внедрения	Государственное финансирование, создание межведомственных центров компетенций, использование модульных платформ
Зависимость от технологий	Импортозамещение, разработка отечественного ПО и процессоров, создание собственных облачных решений
Подготовка кадров	Создание специализированных программ обучения, развитие военных и инженерных кафедр по ИИ и Big Data

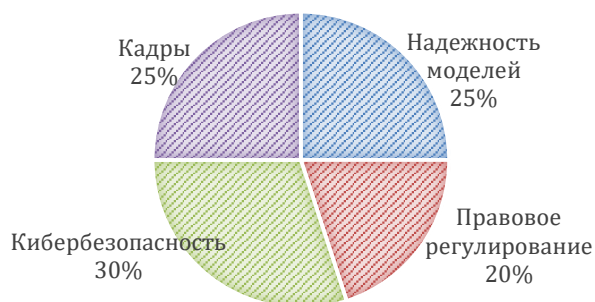


Рисунок 7 – Основные риски внедрения цифровых технологий в испытания

Имеют место ошибки программного обеспечения. Сложные цифровые системы уязвимы к техническим ошибкам, которые могут привести к неверным выводам при испытаниях. Например, при испытаниях авиационных двигателей за рубежом отмечалось, что цифровая модель не учла влияние сочетания высокой влажности и песчаной пыли. В результате реальные испытания показали ускоренный износ лопаток турбины, что не было предсказано системой. Поэтому необходимо регулярно проверять цифровые модели на основе натуральных данных, создавать механизмы «обратной связи» между реальными испытаниями и их цифровыми аналогами.

Цифровизация испытаний ставит перед государством и оборонной промышленностью задачу разработки новой нормативной правовой базы. Сегодня отсутствует комплекс нормативно-технических документов, регламентирующих применение ИИ и цифровых двойников в испытательных программах и методиках испытаний. В случае ошибки цифровой модели неясно, кто несёт ответственность: разработчик ПО, производитель техники или испытательный центр.

Возникают и этические вопросы. Так, применение ИИ в испытаниях вооружений вызывает вопросы о допустимости автономных решений, особенно если речь идёт о системах летального действия. Например, в России действует соответствующий ГОСТ, регламентирующий испытания военной техники. Однако он практически не учитывает возможности применения ИИ и цифровых моделей. Аналогичные пробелы существуют и в зарубежных системах стандартизации (NATO STANAG)¹⁰.

В связи с этим необходима разработка нового пакета нормативных документов, включающего правила создания цифровых двойников, проверки моделей, использования ИИ и защиты данных.

Дополнительные риски заключаются в высокой стоимости внедрения, а создание цифровых полигонов и суперкомпьютерной инфраструктуры требует миллиардных инвестиций. На начальных этапах эффект экономии может быть неочевиден. Использование импортных компонентов и ПО создаёт угрозу технологической зависимости. В условиях санкций этот риск особенно велик.

Для работы с цифровыми полигонами необходимы специалисты нового профиля – инженеры-аналитики данных, эксперты по ИИ, специалисты по AR/VR, сегодня их дефицит тормозит процесс цифровизации.

Таким образом, несмотря на очевидные преимущества цифровых технологий, их внедрение в испытательные процессы сопровождается серьёзными рисками: от угроз кибербезопасности до недостоверности цифровых моделей и отсутствия нормативной базы. Преодоление этих проблем требует комплексного подхода, заключающегося в создании защищённой инфраструктуры, разработке национальных и международных стандартов, интеграции цифровых испытаний с натурными проверками, а также подготовки кадров нового поколения. Только при условии решения этих задач цифровизация испытаний сможет обеспечить гарантированную надёжность и безопасность военной техники.

Цифровизация испытаний военной техники уже сегодня демонстрирует высокую эффективность, однако дальнейшее развитие технологий открывает ещё более широкие перспективы. В будущем ожидается широкое внедрение генеративного ИИ, интеграция квантовых вычислений и создание полностью цифровых испытательных комплексов. В ближайшие десятилетия можно выделить три ключевых направления, которые радикально изменят подход к испытаниям: полная интеграция цифровых полигонов, внедрение генеративного ИИ и использование квантовых вычислений.

На современном этапе цифровые полигоны внедряются точно – в авиации, бронетехнике или отдельных сегментах ВМФ. Однако в будущем ожидается их полная интеграция в единый испытательный контур оборонно-промышленного комплекса¹¹.

¹⁰ Lockheed Martin. Immersive Training Devices... *Op. cit.*

¹¹ Рудковский А. Полное погружение: цифровые полигоны для виртуальных испытаний авионики самолётов MC-21 создадут в России // Первый технический. 2025. 24 сентября. URL: <https://www1.ru/news/2025/09/24/polnoe-pogruzenie-cifrovye-poligony-dlia-virtualnyx-ispytanii-avioniki-samoletov-ms-21-sozdadut-v-r.html>

Основные характеристики полностью интегрированных цифровых полигонов заключаются в формировании единой облачной инфраструктуры, связывающей военные предприятия, КБ, НИИ и испытательные центры. Автоматизированный обмен данными между натурными и цифровыми испытаниями должен проходить в режиме реального времени. Акцент в работе должен быть смещен на создание сетевых военных полигонов, где одновременно моделируются воздушные, наземные, морские и кибероперации. Прогнозируется массовое использование AR/VR, позволяющее испытателям, конструкторам и военным операторам совместно участвовать в тестах [8].

Современные системы ИИ в основном выполняют задачи анализа и прогнозирования. Однако развитие генеративных моделей (Generative AI) открывает новые горизонты. Возможности генеративного ИИ в испытаниях заключаются в автоматической генерации сценариев испытаний. Алгоритмы создают сотни и тысячи вариантов боевого применения техники, учитывая неожиданные комбинации факторов. Генеративный ИИ способен моделировать действия условного противника с разными тактиками, что позволяет проверить устойчивость систем к новым угрозам. Алгоритм может не только анализировать слабые места, но и предлагать новые варианты компоновки узлов и деталей. При этом происходит самообучение цифровых полигонов. Чем больше испытаний проводится, тем более разнообразные и точные сценарии формирует ИИ¹².

Уже сегодня Lockheed Martin и Boeing тестируют генеративные модели для автоматического проектирования и испытаний беспилотников, а в России ведутся исследования по использованию нейросетей для имитации боевых сценариев¹³.

Таким образом, генеративный ИИ превращает испытания из фиксированной программы в динамически развивающийся процесс, который постоянно расширяет количество вариантов проверки.

Одним из наиболее революционных направлений станет интеграция цифровых испытаний с квантовыми вычислительными системами. Возможные эффекты квантовых вычислений заключаются в моделировании сложнейших физических процессов. Например, поведение гиперзвуковых летательных аппаратов или взаимодействие корабельных энергетических установок в экстремальных условиях. При этом осуществляется сверхбыстрая обработка данных, так как квантовые алгоритмы позволяют анализировать огромные массивы телеметрии в считанные секунды и улучшение криптографической защиты. Квантовые методы обещают принципиально новый уровень кибербезопасности при передаче данных испытаний¹⁴.

Квантовый ИИ сможет выявлять такие закономерности, которые недоступны классическим алгоритмам машинного обучения. Например, в России Центр квантовых технологий при МГУ и РКЦ «Прогресс» ведут исследования по применению квантовых методов к задачам моделирования аэродинамики и баллистики¹⁵.

Готовность отечественных технологий к внедрению ИИ в испытания можно оценить по отдельным компонентам как высокую. «Узким местом» является интеграция в сквозную цифровую систему и наличие зрелых платформ цифровых двойников уровня предприятия.

Приоритетного импортозамещения требуют специализированные цепочки CAD / CAE / PLM / MBSE (система автоматизированного проектирования / системы инженерного анализа и моделирования / управление жизненным циклом изделия / системная инженерия, основанная на моделях – там, где критическая зависимость), облачные платформы IoT и цифровых двойников, стек MLOps (если привязаны к зарубежным экосистемам), критичные библиотеки численного моделирования/оптимизации.

¹² Волнянский А. Генеративный ИИ (GenAI): возможности и применение // Colobridge. 2025. 19 августа. URL: <https://blog.colobridge.net/2025/08/generative-artificial-intelligence/>

¹³ Агеев А. Беспилотники Lockheed Martin уже умеют самостоятельно принимать критические боевые решения // Techcult. 2025. 15 дек. URL: <https://www.techcult.ru/technology/15948-bespilotniki-lockheed-martin-umeyut-prinimat-resheniya>

¹⁴ Смирнов Г. «Квантовое превосходство» и ИИ: что нас ждет // AI Smart Hub. 2025. 2 июля. URL: <https://aismarthub.ru/articles/view/kvantovoe-prevosходstvo-i-ii-cto-nas-zhdet>

¹⁵ 72-кубитный квантовый компьютер на атомной платформе собрали в МГУ // Наука.рф. 2025. 22 декабря. URL: <https://наука.рф/news/72-kubitnyy-kvantovyy-kvantovyy-kompyuter-na-atomnoy-platfome-sobrali-v-mgu/>

При этом целесообразно создавать/доводить заново единые «опорные» отечественные платформы цифровых двойников для ВВТ (с VV&A, конфигурационным управлением, доменами разного уровня открытости), отечественные цифровые полигоны с поддержкой сценариев мультидоменности и интеграцией телеметрии.

Необходимо перспективно нормативно закреплять как интерфейс распределённого моделирования (при необходимости), так и ISO 23247 (для цифровых двойников производства), но для ВВТ нужны профили/дополнения по безопасности и разным уровням открытости. При этом возможно комбинировать частичное импортозамещение с частичной разработкой отраслевых модулей и шлюзов интероперабельности.

Нормативные документы должны регулировать термины и область применения (цифровой полигон, цифровой двойник, модель, уровень доверия), требования VV&A/аккредитации моделей (уровни доказательности, области валидности, управление неопределённостью, требования к данным (происхождение, качество, метаданные, хранение, сроки, доступ), требования к ИИ (метрики, мониторинг дрейфа, воспроизводимость, объяснимость, границы применения), кибербезопасность (защита моделей как критических активов, контроль доступа, журналирование), конфигурационное управление (версии модели/ПО/данных, связь с техзаданием и изменениями изделия), порядок применения результатов цифровых испытаний (что можно засчитывать, при каких условиях, как оформлять отчётность), требования к инфраструктуре (в т.ч. облачной) и разграничение контуров по секретности и требования к компетенциям и аттестации персонала (испытатели/аналитики/ML-инженеры).

Будущее испытаний военной продукции определяется следующими трендами: полная цифровая интеграция – от отдельных виртуальных моделей к национальной системе цифровых полигонов; интеллектуализация испытаний – переход от предиктивного ИИ к генеративным моделям, создающим новые сценарии, а также квантовый прорыв – радикальное ускорение моделирования и обработки данных, новое качество защиты информации.

Таким образом, перспективы развития цифровых технологий в испытаниях военной продукции обещают не только улучшение текущих практик, но и создание принципиально новой парадигмы испытаний, где виртуальная и реальная среда будут полностью интегрированы, а ИИ станет ключевым инструментом обеспечения надёжности и безопасности вооружений.

Заключение

Развитие цифровых технологий и ИИ оказывает революционное воздействие на систему испытаний военной продукции. В условиях стремительного усложнения вооружений и необходимости ускоренного цикла «исследование – разработка – испытания – серийное производство» традиционные методы проверки становятся недостаточно эффективными.

Проведённый анализ показал, что цифровизация испытательных процессов открывает целый комплекс преимуществ: сокращение сроков испытаний на 30-50% за счёт использования цифровых двойников и виртуальных полигонов; снижение стоимости испытаний на 20-40% благодаря уменьшению объёма натуральных тестов и оптимизации ресурсов; повышение точности прогнозирования отказов до 90-95% за счёт применения предиктивной аналитики и Big Data; рост безопасности испытаний, так как значительная часть сценариев переносится в виртуальную среду; масштабируемость испытаний – возможность моделировать сотни и тысячи вариантов боевого применения техники, включая те, что невозможно реализовать в реальности.

При этом исследование показало, что переход к цифровым полигонам и интеллектуальным системам испытаний сопряжён с рядом проблем и рисков. Наиболее серьёзными являются: угрозы кибербезопасности, связанные с использованием облачных систем и сетей IoT; недостаточная надёжность цифровых моделей, требующая регулярной валидации на основе натуральных данных; отсутствие нормативно-правовой базы, которая закрепляла бы правила применения ИИ в оборонной сфере; дефицит квалифицированных кадров, способных работать с технологиями Big Data, AR/VR и квантовыми вычислениями.

Тем не менее мировая практика (опыт России, США и НАТО) показывает, что преимущества цифровизации значительно перевешивают её риски. Уже сегодня цифровые полигоны, генеративный ИИ и интеграция IoT становятся частью стандартных программ испытаний авиации, бронетехники и ВМФ.

Особый интерес представляют перспективные направления развития: переход к полностью интегрированным цифровым полигонам, объединяющим авиацию, бронетехнику и флот в единую виртуальную среду; использование генеративного ИИ, способного автоматически создавать сценарии испытаний и моделировать действия виртуального противника; внедрение квантовых вычислений, обеспечивающих сверхбыструю обработку данных, точное моделирование гиперзвуковых процессов и принципиально новый уровень криптографической защиты.

Таким образом, можно заключить, что цифровизация испытаний военной продукции является не просто технологическим трендом, а стратегическим направлением развития оборонно-промышленного комплекса. Она позволяет не только ускорить цикл создания новых вооружений, но и повысить их качество, надёжность и боевую устойчивость. Для России это особенно важно, поскольку в условиях современных геополитических вызовов обеспечение технологического суверенитета и повышение эффективности оборонной сферы становятся ключевыми факторами национальной безопасности. В перспективе цифровые технологии и ИИ превратят испытания военной продукции из статичного процесса проверки в динамическую интеллектуальную систему, где каждый новый опыт будет автоматически обогащать цифровую модель и повышать уровень готовности вооружений к реальному применению. Применение цифровых технологий и ИИ в испытаниях военной продукции является ключевым направлением цифровой трансформации оборонной промышленности. Оно позволит обеспечить высокую эффективность, безопасность и конкурентоспособность вооружений.

Список источников

1. Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний вооружения, военной и специальной техники. М.: Граница, 2007. 408 с.
2. Горский А.С., Полушкин В.М., Ермоленко А.В. Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 28-38.
3. Андриевский Б.Р., Попов А.М., Михайлов В.А., Попов Ф.А. Применение методов искусственного интеллекта для управления полетом беспилотных летательных аппаратов // Аэрокосмическая техника и технологии. 2023. Т.1. №2. С. 72-107.
4. Голубев С.С., Чеботарев С.С. Информационные технологии как ключевой механизм устойчивого развития оборонных промышленных предприятий в современных условиях // Экономические стратегии. 2018. Т.20. №3(153). С. 68-81.
5. Горский А.С. Актуальные вопросы виртуальных испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2023. №2(64). С. 35-39.
6. Комаров Н.М., Голубев С.С., Пащенко Д.С., Щербаков А.Г. Инструменты искусственного интеллекта в программах цифровой трансформации промышленных предприятий // Мир новой экономики. 2024. Т.18. №3. С. 6-16.
7. Шпак П.С., Сычева Е.Г. Экономические ориентиры и перспективы развития концепции цифровых двойников в авиационной отрасли России // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2024. Т.22. №4. С. 33-42.
8. Кабанов, А. А., Амосов, М. В. VR/AR в изучении, создании и эксплуатации аэрокосмической техники: из макромира в микромир, от наблюдения к действиям // Труды МАИ. 2023. №128. С. 1-41.

Информация об авторах

С.С. Голубев – доктор экономических наук, профессор, SPIN код автора 6313-4466.
А.Л. Афанасьев – кандидат технических наук, SPIN код автора 3270-2456.
Ю.А. Петров – ORCID-идентификатор автора 0009-0008-8852-279X.