

Перспективы применения аддитивных технологий в целях обеспечения обороны и безопасности государства

Potential applications of additive technologies for ensuring national defense and security

Д.О. Сущенко¹ ©, А.С. Жеребцов² © D.O. Sushchenko¹ ©, A.S. Zherebtsov² ©

^{1,2} Главный центр научных исследований Росгвардии, г. Москва, Российская Федерация

¹ E-mail: SushenkoDO@rosgvard.ru

² E-mail: zherebtsovas@rosgvard.ru

Аннотация. В статье рассматриваются технологические, организационные и правовые перспективы применения аддитивных технологий в системе обеспечения обороны и безопасности государства. Анализируется потенциал аддитивных технологий для повышения устойчивости логистики, сокращения рисков морального и коммерческого устаревания комплектующих, ускорения ремонта и модернизации, а также для развития компетенций цифрового проектирования и управления жизненным циклом изделий.

Abstract. The article focuses on technological, organizational, and legal prospects for using additive technologies in national defense and security system. It analyzes the potential of additive technologies to improve the logistics stability, reduce risks of parts obsolescence and depreciation, speed up maintenance and modernization as well as to develop competencies in digital design and product life cycle management.

Ключевые слова: аддитивные технологии; аддитивное производство; оборонно-промышленный комплекс; логистика; ремонт; двойное назначение

Keywords: additive technologies; additive manufacturing; military-industrial complex; logistics; maintenance; dual-purpose

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сущенко Д.О., Жеребцов А.С. Перспективы применения аддитивных технологий в целях обеспечения обороны и безопасности государства // Академический вестник войск национальной гвардии Российской Федерации. – 2026. – № 1. – С. 36–42.

Аддитивные технологии (далее – АТ), часто обозначаемые как 3D печать, в последние годы перешли из статуса вспомогательного средства ускоренного прототипирования в класс промышленных методов изготовления деталей, применимых к полимерам, металлам, композитам и ряду специальных материалов. Методологически АТ базируются на создании физического объекта по электронной геометрической модели путём добавления материала, как правило, слой за слоем, что фиксируется и в национальной терминологии аддитивного производства [1, С. 1]. Данная особенность принципиально меняет «географию» производства, позволяя переносить часть операций туда, где ранее существовали лишь эксплуатация и ремонт.

Для обороны и безопасности государства интерес к АТ обусловлен способностью повышать устойчивость логистики и снижать уязвимость цепочек поставок, особенно в условиях нестабильной внешней среды и ограничений по доступу к производственной базе. Современные тенденции развития АТ показывают, что АТ должны

применяться для устойчивости логистики, трансформации операций технического обслуживания и улучшения самообеспечения, при этом подчёркивается необходимость защищённой киберфизической инфраструктуры и процессов на всём жизненном цикле производства продукции [5, С. 3–4].

В Российской Федерации развитие АТ рассматривается как межотраслевая задача, направленная на формирование конкурентоспособной отрасли за счёт развития научно-технического и кадрового потенциала, модернизации мощностей, освоения приоритетных технологий и совершенствования нормативно-правовой базы для удовлетворения потребностей государства и заказчиков [2, С. 2].

Для оборонно-промышленного развития АТ приобретают особую значимость в связи с тем, что государственный заказ, предъявляя повышенные требования к качеству, надежности и безопасности продукции, объективно ограничивает темпы внедрения сложных технологий. В этих условиях АТ выступают инструментом,

способным повысить производственную гибкость и обеспечить устойчивое покрытие государственного спроса без снижения установленных стандартов.

Обсуждать применение АТ в оборонной сфере целесообразно начинать с пояснения базовых понятий. Под аддитивным производством понимается способ изготовления деталей на основе электронной трехмерной модели, причём изделие формируется последовательно, слой за слоем, путем добавления материала [1, С. 1].

В практическом смысле данный процесс часто ассоциируется с использованием 3D-принтера – специализированного оборудования, предназначенного для физической реализации цифровой модели. Однако важно учитывать, что 3D-принтер представляет собой лишь один из элементов более сложной аддитивной системы. Полноценное аддитивное производство включает в себя программное обеспечение для проектирования и подготовки данных, материалы и вспомогательное оборудование, операции постобработки, а также процедуры контроля качества. Таким образом, в условиях оборонно-промышленного комплекса объектом внедрения выступает не отдельное оборудование аддитивного производства, а совокупность взаимосвязанных технологических, программных и контрольных процедур, образующих целостный производственный процесс с регламентируемыми параметрами надежности и безопасности продукции.

Системный подход к внедрению АТ предполагает учет проблемы технологического устаревания, которая наиболее отчетливо проявляется на этапах ремонта и материально-технического обеспечения, характеризующихся длительными и специфическими жизненными циклами оборонной продукции.

Один из ключевых потенциалов АТ для обороны и защиты государства связан с возможностью воспроизводства компонентов. Вместе с тем, практическая результативность такого подхода определяется скоростью и обоснованностью процедур квалификации аддитивного производства

деталей с точки зрения их безопасности и пригодности к эксплуатации [6, С. 2]. В этом контексте АТ не устраняют необходимость формирования доказательной базы, а, напротив, усиливают её зависимость от параметров производственного процесса и качества исходных данных (рис. 1).

Перспективы применения АТ в целях обороны и защиты государства целесообразно анализировать через несколько сценариев, различающихся по месту производства и уровню риска (рис. 2).

Централизованное аддитивное производство, реализуемое в тыловых и заводских условиях, представляется наиболее управляемым и технологически предсказуемым сценарием применения АТ в оборонной сфере. Именно в таких условиях проще обеспечить стабильность исходных материалов, воспроизводимость параметров процесса, полный цикл постобработки и испытаний, а также функционирование единой системы квалификации изделий. На данном уровне АТ демонстрируют наибольшую эффективность при изготовлении малых и ограниченных серий, а также деталей, выпуск которых традиционными методами сопряжен с высокими затратами на специализированную оснастку и длительную подготовку производства.

Сценарий использования АТ в ремонтной инфраструктуре прежде всего ориентирован на сокращение сроков восстановления вооружения, военной и специальной техники и на снижение зависимости от поставок редких или снятых с производства комплектующих.

В этом контексте ключевое значение приобретает не столько сам процесс печати, сколько формирование согласованной цифровой среды, включающей обмен верифицированными трехмерными моделями, управление данными о материале и процессе, а также сопряжение аддитивного производства с существующими механизмами закупок и снабжения [4, С. 4]. При данном сценарии происходит трансформация ремонтных подразделений из периферийных элементов системы обеспечения в полноценные узлы цифрового производственного контура. Сценарий распреде-

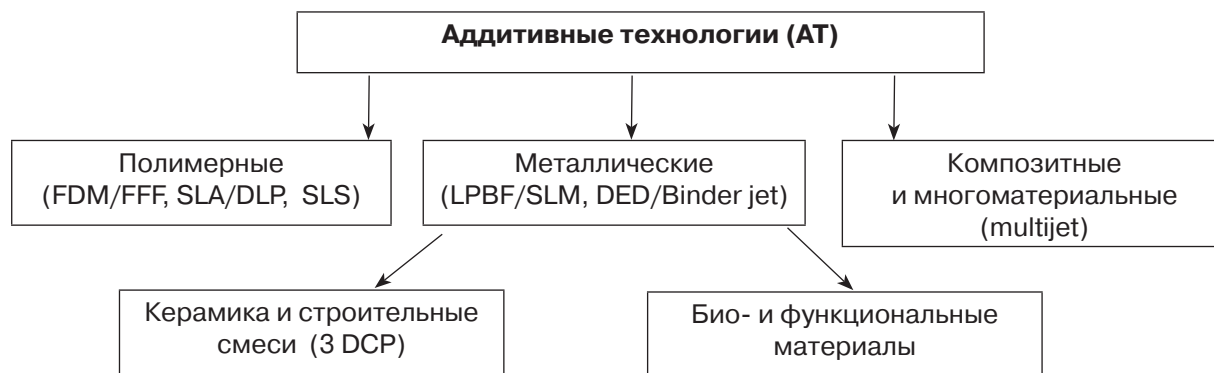


Рис. 1. Обобщенная классификация аддитивных технологий по группам материалов и процессов



Рис. 2. Возможности аддитивных технологий в целях обороны и защиты государства

ленного аддитивного производства, реализуемого вблизи места потребления, обладает высокой оперативной привлекательностью, однако одновременно характеризуется наибольшей технической сложностью. Его практическая реализация требует дифференцированного подхода к квалификации и допуску изделий в зависимости от их функционального назначения и допустимых последствий отказа.

В условиях ограниченных возможностей контроля качества и испытаний на передовых позициях это объективно сужает номенклатуру деталей, допустимых к изготовлению, повышает требования к защищенности цифровой инфраструктуры и прослеживаемости данных процесса [5, С. 3–4; 2, С. 10].

Наиболее стратегически значимым представляется сценарий разработки изделий, изначально спроектированных с учетом возможностей и ограничений АТ. В этом случае аддитивное производство перестает быть вспомогательным инструментом и становится основой для изменения логики проектирования, снабжения и поддержки изделий на всем протяжении их жизненного цикла.

Такой подход способен привести к качественному сдвигу в организации оборонного производства, однако его реализация требует внедрения принципов проектирования под АТ, глубокой интеграции с системами управления жизненным циклом изделий и формирования устойчивых процедур допуска и верификации.

С точки зрения обороны ключевой вопрос заключается в том, какие именно элементы цепочки поставок улучшаются при использовании АТ. Данные технологии не уничтожают логистику, а перераспределяют её нагрузку. Вместо перевозки большого количества номенклатурных позиций возрастает роль управления данными распределения сырья и контроля пригодности моделей. При корректной организации это позволяет уменьшить объём физического склада и ускорить восполнение потребности, особенно для редких и нестандартных деталей.

Анализ практики эксплуатации вооружения, военной и специальной техники показывает, что сочетание длительных циклов платформ и ограниченной доступности поставщиков запасных частей приводит к ситуации, при которой поддержание необходимого уровня готовности всё чаще требует нестандартных решений, включая воспроизводство отдельных компонентов малыми партиями [6, С. 2]. В этих условиях АТ создают предпосылки для перехода к модели производства по требованию, позволяя сокращать сроки восстановления техники и снижать зависимость от внешних поставок.

Практика применения АТ в оборонной сфере также свидетельствует о том, что наибольший эффект достигается при устранении дефицита запасных частей, обусловленного как техническим, так и коммерческим устареванием, а так-

же чрезмерной продолжительностью поставок [3, С. 7]. В этом контексте особое значение приобретает системный анализ управляемого инвентаря, позволяющий выявлять номенклатуру компонентов, наиболее подходящих для аддитивного производства. Отсюда следует вывод о том, что внедрение АТ в оборонно-промышленный комплекс должно начинаться не с разрозненных инициатив, а с целенаправленного аналитического отбора деталей по совокупности критериев дефицитности, функциональной критичности, возможности обеспечения контроля качества и ожидаемого эффекта по времени восстановления.

В практической реализации цифрового склада принципиально то, что хранятся не только геометрии, но и технологические маршруты, допустимые площадки изготовления и требования к контролю. Таким образом, логистический эффект обусловлен не просто наличием принтера, а наличием управляемого контура данных, обеспечивающего повторяемость и юридическую определённость.

В оборонном контуре переход к АТ невозможен без формализации требований к качеству и квалификации процессов. Отличие АТ от многих традиционных методов производства заключается в высокой чувствительности к режимам печати и состоянию сырья. Поэтому квалификация должна включать контроль входного сырья, контроль процесса и подтверждение свойств готового изделия.

Важным элементом является стремление к унификации определений риска на уровне ведомств, что снижает вероятность фрагментации практик и позволяет быстрее масштабировать успешные решения.

Отдельного внимания требует постобработка и неразрушающий контроль. Для металлических изделий постобработка часто необходима для снятия внутренних напряжений, повышения плотности и стабилизации свойств; для полимеров важны режимы отвердевания, усадка и старение. В оборонном применении итоговый допуск должен учитывать весь маршрут «печать – постобработка – контроль», а значит инфраструктура внедрения должна включать не только аддитивные установки, но и оборудование контроля, протоколы испытаний и системы прослеживаемости.

АТ формируют специфическую поверхность угроз: цифровое вмешательство может привести к физическим последствиям. На практике это означает необходимость управления доступом к моделям, проверки целостности данных, а также контроля конфигурации программного обеспечения оборудования.

Помимо киберрисков возникает риск неконтролируемого распространения технологий

двойного назначения. Отмечается рост военной применимости АТ и параллельное развитие практик изготовления оружия вне традиционного военного домена, что усложняет режимы контроля и мониторинга [7, С. 5–6]. Для государства это означает необходимость сочетать развитие легитимной промышленной базы, защиту данных и экспортный контроль по критически значимым компонентам.

Внедрение АТ в оборонной сфере объективно требует выстраивания механизмов защиты технологических и инвестиционных результатов от несанкционированного распространения, а также соблюдения установленных ограничений в сфере внешнеэкономического и экспортного регулирования [5, С. 4].

В национальном контуре данная задача может быть решена за счёт дифференциации уровней доступа к цифровым моделям и технологическим маршрутам, применения средств криптографической аутентификации и целостности данных, а также формирования процедур аудита для производственных площадок, допущенных к изготовлению определённых классов изделий. Такой подход позволяет связать техническую реализацию аддитивного производства с требованиями информационной и технологической безопасности.

Отдельного внимания требует правовое сопровождение аддитивного производства, прежде всего в части регулирования интеллектуальной собственности и распределения ответственности за конечное изделие.

Анализ показывает, что для аддитивно изготовленных компонентов необходима чёткая фиксация прав на цифровую документацию и ясное определение субъектов, несущих ответственность за безопасность и надёжность детали на различных этапах её жизненного цикла [6, С. 2] (рис. 3).

В условиях оборонной логистики, где в процессе могут последовательно участвовать разработчик конструкции, владелец исходных данных, оператор аддитивного оборудования, подразделение контроля и конечный эксплуатант, отсутствие формализованного распределения ответственности создаёт существенные институциональные риски. Без их предварительного разрешения практическое внедрение аддитивных технологий неизбежно сталкивается с организационными и правовыми барьерами, способными нивелировать технологические преимущества данного подхода.

Организационная перспектива внедрения АТ в обороне определяется тем, что технология требует междисциплинарных компетенций и устойчивых процедур. Российская стратегия развития АТ подчёркивает необходимость консолидации



Рис. 3. Возможности аддитивных технологий в целях обороны и защиты государства

усилий государства, науки и бизнеса для формирования благоприятного правового и делового климата и обеспечения технологического и кадрового потенциала [2, С. 3]. В оборонно-промышленном комплексе такой подход реализуется через сеть центров компетенций, способных выполнять функции квалификации моделей, испытаний, формирования библиотек и методик контроля, а также через создание типовых учебных программ.

Инфраструктура данных, обеспечивающая «цифровой склад» и цифровую нить, должна включать управление версиями, метаданными и правами доступа, а также механизмы фиксации результатов квалификации. Это означает, что внедрение АТ требует инвестиций не только в оборудование, но и в информационные системы и процессы управления жизненным циклом.

Отдельным вопросом является материальное обеспечение. Распределённая печать переносит логистическую нагрузку с готовых деталей на сырьё, расходники и обслуживание самих установок. Следовательно, устойчивость АТ-контуров определяется устойчивостью поставок полимеров, порошков, смол и иных материалов, а также процедурами контроля их качества, хранения и регенерации. Без этого распределённая модель может увеличить вариабельность свойств и снизить доверие к изделиям.

Таким образом, международная практика указывает на общий принцип: АТ становятся оборонно

значимыми тогда, когда они интегрированы в контур данных, стандартизации и обучения, а их применение регулируется риск-ориентированными процедурами. В противном случае высокие ожидания могут смениться разочарованием из-за затрат на сертификацию и сложности с обеспечением воспроизводимости, что также отмечается в исследованиях о барьерах внедрения [7, С. 5].

Российская стратегия развития АТ фиксирует межотраслевой характер и необходимость совершенствования нормативной базы для удовлетворения потребностей государства и иных заказчиков [2, С. 2].

Для обороны это означает, что потенциальные эффекты АТ зависят от того, насколько быстро будет сформирован комплекс стандартов и процедур, позволяющих безопасно применять детали АТ в жизненном цикле техники. Наличие в стратегии раздела по управлению рисками, включая риски финансирования и кадрового дефицита, подчёркивает, что внедрение рассматривается как системный процесс, чувствительный к макроусловиям [2, С. 24–25].

Исследовательские работы в области контроля вооружений и безопасности обращают внимание на двойственную природу АТ. Их промышленная реализация требует существенных ресурсов, но одновременно снижается порог для производства отдельных компонентов и возрастает роль цифровых данных. Отмечается расширение во-

енной применимости и появление практик производства оружия вне оборонно-промышленного комплекса [7, С. 5–6].

Это формирует новый контур рисков, где объектом регулирования становятся не только станки и материалы, но и цифровые модели и их распространение. Формирование экономически устойчивой модели внедрения АТ часто означает переход от проектного подхода к портфельному управлению, когда отбирается группа задач с ожидаемым эффектом в готовности и устойчивости.

Наличие целевых показателей развития отрасли, включая оценку рынка и динамику продаж оборудования и услуг, в стратегических документах позволяет рассматривать АТ как растущую индустрию, а не разовый проект [2, С. 20–23]. Для оборонного заказчика это важно тем, что экономическая устойчивость зависит от широты промышленной кооперации и доступности компетенций на рынке.

В логистических системах обороны значимым источником затрат выступает хранение номенклатурных запасов, особенно если речь идёт о деталях редкого спроса, но высокой критичности. Переход части таких позиций в режим «цифрового склада» способен снизить потребность в складских площадях и улучшить управляемость запасов, однако экономия возможна лишь при наличии процедур управления данными и приёмы, нашедших практическую реализацию.

Экономическая результативность внедрения аддитивных технологий в оборонной сфере, как правило, не сводится к прямому снижению себестоимости отдельной детали. На ранних этапах применения высокие затраты на специализированные материалы, квалификацию персонала и процедуры контроля качества способны существенно ограничивать ценовой эффект аддитивного производства.

Вместе с тем, в оборонной экономике используется расширенное понимание эффективности, основанное на категории стоимости, которая охватывает не только цену изготовления изделия, но и издержки, связанные с простоем техники,

необходимостью срочной доставки, рисками срыва поставок и потерями, возникающими при невозможности своевременного выполнения поставленных задач.

С этой точки зрения АТ следует рассматривать не изолированно как альтернативный способ производства, а как инструмент повышения устойчивости логистических процессов и уровня самообеспечения оборонной системы [5, С. 3–4]. Их ценность проявляется в способности снижать совокупные потери в течение жизненного цикла вооружения и военной техники, даже при отсутствии немедленного выигрыша по себестоимости отдельного компонента.

В научном плане это обуславливает необходимость оценки эффективности АТ на основе интегрального эффекта в рамках жизненного цикла изделия, а не через сопоставление стоимости изготовления единицы продукции с традиционными методами производства.

Перспективы применения АТ в интересах обороны и безопасности государства определяются не столько наличием оборудования, сколько способностью сформировать доверенный цифрово-производственный контур. АТ дают потенциал повышения устойчивости логистики, снижения негативных эффектов устаревания, ускорения ремонта и развития новых конструкций. Одновременно они предъявляют повышенные требования к квалификации процессов, прослеживаемости и кибербезопасности данных, а также к правовым режимам ответственности и контроля распространения.

Наиболее рациональной представляется гибридная модель: централизованные квалифицированные мощности и центры компетенций обеспечивают разработку, испытания и верификацию моделей и процессов, а распределённые площадки ближней печати работают в рамках защищённой цифровой нити, единой терминологии и стандартов качества.

В этой конфигурации АТ становятся инструментом повышения готовности и устойчивости, оставаясь управляемыми с точки зрения рисков и правового регулирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 57558-2025 (ИСО/АСТМ 52900:2021) «Национальный стандарт Российской Федерации. Аддитивные технологии. Базовые принципы. Термины и определения» (утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 20.03.2025 г. № 191-ст). – М.: Стандартинформ, 2025.
2. Распоряжение правительства Российской Федерации от 14 августа 2021 г. № 1913-р «Об утверждении Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» // СПС «КонсультантПлюс»: [сайт]. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 16.12.2025).
3. Defence Advanced Manufacturing Strategy. – London: UK Ministry of Defence, 2025. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/defence-advanced-manufacturing-strategy> (дата обращения: 16.12.2025).
4. DLA Additive Manufacturing Implementation Plan for DoDI 5000.93. – Defense Logistics Agency, 2022: [сайт]. – URL: https://www.dla.mil/Portals/104/Documents/InformationOperations/Research%20and%20Development/DLA%20Additive%20Manufacturing%20Implementation%20Plan_01Jun2022.pdf?ver=iONnPBInAnUuLhTi6dyQQ%3D%3D (дата обращения: 16.12.2025).
5. DoDI 5000.93. Use of Additive Manufacturing in the DoD – Washington, DC: U.S. Department of Defense, 2021: [сайт]. – URL: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500093p.PDF> (дата обращения: 16.12.2025).
6. Ladetto Q. Additive Manufacturing and Obsolescence Management in the Defence Context. – Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2017: [сайт]. – URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/perspectives/PE100/PE171/RAND_PE171.pdf (дата обращения: 16.12.2025).
7. Suckau L. Additive Manufacturing in the Military Technology Sector: Application and Proliferation of an Emerged Technology. – Frankfurt am Main: PRIF Report, 2025: [сайт]. – URL: https://www.prif.org/fileadmin/Daten/Publikationen/Prif_Reports/2025/PRIF_3_2025_barrierefrei.pdf (дата обращения: 16.12.2025).
8. Valtonen I., Rautio S., Salmi M. Capability development in hybrid organizations: enhancing military logistics with additive manufacturing // Progress in Additive Manufacturing: [сайт]. – URL: https://research.aalto.fi/files/89252187/Capability_development_in_hybrid_organizations.pdf (дата обращения: 16.12.2025).

Статья проверена программой Антиплагиат. Оригинальность – 94 %.

Статья поступила в редакцию 25.12.2025; одобрена после рецензирования 20.01.2026; принята к публикации 25.02.2026.