

Ноздрин Александр Олегович,

курсант 3 курса

Еремеев Артем Сергеевич,

курсант 3 курса

Научный руководитель Якубов А. В.,

старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕМОНТА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ И ПТРК

Аннотация. Статья посвящена исследованию роли и места аддитивных технологий (3D-печати) в системе технического обеспечения и модернизации стрелкового оружия и переносных противотанковых ракетных комплексов далее (ПТРК). Рассматриваются ключевые тренды применения высокопрочных полимеров (РЕЕК, РЕI) и металлических порошков (мартенситно-стареющие стали, титановые сплавы) для производства ответственных деталей. Особое внимание уделяется трансформации логистики через концепцию «цифрового склада», методам топологической оптимизации, а также системным рискам (кибербезопасность, несанкционированное производство). Авторы выявляют основные тенденции развития гибридных производственных экосистем и предлагают трехуровневую модель внедрения аддитивных технологий в войсках.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, стрелковое оружие, ПТРК, топологическая оптимизация, цифровой склад, импортозамещение, противодействие несанкционированному производству.

Современный этап развития вооружения характеризуется разногласием между необходимостью повышения тактико-технических характеристик и жесткими ограничениями по массе, логистике и времени ремонта. Аддитивные технологии (Additive Manufacturing) – метод создания трехмерных объектов, деталей или вещей путем послойного добавления материала: пластика, металла, бетона и, возможно, в будущем – человеческой ткани. Такие трехмерные или 3D-объекты создаются с помощью 3D-принтеров. Название технологий произошло от английского слова add – добавлять.

Аддитивные технологии (3D-печать), ранее считавшиеся инструментом прототипирования, перешли в разряд оперативно-тактических средств обеспечения войск. В условиях урбанизированных конфликтов и высокой интенсивности боевых действий способность быстро изготовить или восстановить деталь оружия на месте становится архиважным фактором боеготовности.

Данная статья обобщает результаты научно-исследовательской работы по шифру «Эксплуатация», выявляя шесть основных тенденций внедрения 3D-печати для стрелкового оружия и ПТРК.

Основная часть

Тенденция – переход от универсальных полимеров к композитам и суперсплавам для ответственных деталей.

Устарел подход, основанный на использовании стандартных пластиков (ABS, PLA). Современные требования диктуют применение материалов инженерного класса. Высокопрочные полимеры (PEEK, PEI): обеспечивают прочность, сравнимую с алюминием, при значительно меньшем весе. Выдерживают температуры до 250°C, химически инертны.

Полиэфирэфиркетон (PEEK) – это высокотемпературный термопласт с выдающейся механической прочностью, химической стойкостью и стабильностью размеров даже при длительной эксплуатации.

Полиэфиримид (PEI) – представляет собой аморфный полимер, прозрачный с янтарным оттенком, термостойкий и обладает отличными электрическими свойствами, негорюч.

Применение: приклады, цевья, корпуса прицелов, направляющие.

Армированные композиты (Onyx + Carbon Fiber/Kevlar): позволяют создавать детали с программируемой анизотропией – исключительной прочностью в заданных направлениях. Применение: высоконагруженные кронштейны, рамные конструкции ПТРК.

Металлические порошки (SLM/DMLS): мартенситно-стареющие стали (18Ni-300) для затворов и ударно-спусковых механизмов (прочность до 2 000 МПа); титановые сплавы (Ti-6Al-4V) для облегченных корпусов; жаропрочные никелевые сплавы (Inconel) – это группа высокопроизводительных сплавов на основе никеля, известных своей исключительной жаростойкостью, окислению и коррозионной стойкостью, особенно в экстремальных условиях. Применение для газоотводных трубок.

Тенденция топологическая оптимизация как метод инженерного синтеза, а не субъективного облегчения.

Вместо традиционного проектирования «от геометрии» применяется математически строгий синтез «от нагрузок». Алгоритм (метод SIMP) на основе метода конечных элементов удаляет материал из зон с низким уровнем напряжений, создавая структуры, напоминающие костную ткань.

Пример (рычаг затворной задержки): оптимизированная Y-образная структура из стали 18Ni-300 увеличила усталостный ресурс в 3–5 раз по сравнению со штамповкой.

Тенденция функциональная интеграция: от сборки узлов к печати единого модуля.

Сборка из десятков деталей заменяется производством единого, многофункционального компонента за одну операцию. Это достигается за счет сложной внутренней геометрии, недоступной для традиционной обработки.

Интеграция креплений: цевье с монолитными рельсами Пикатинни – цевье тактическое из авиационного алюминиевого сплава для придания максимальной прочности и долговечности. Четыре планки Picatinny, обеспечивают максимальную гибкость при выборе и установке навесных приспособлений, повышение жесткости на кручение на 40–60 %, исключение люфтов.

Интеграция теплоотвода: цевье-радиатор с развитой поверхностью и турбулизаторами, отводящее на 15–20 % больше тепла от ствола.

Интеграция полостей: приклад со встроенным герметичным отсеком для аккумулятора прицела и посадочным гнездом под электронику.

Тенденция трансформация логистики: переход от физических складов к «цифровым репозиториям».

Происходит смена шаблона от управления предметами к управлению данными. Физическая деталь, требующая складирования, учета и транспортировки, заменяется цифровым CAD-файлом.

CAD-файл – это цифровой файл проекта, созданный с помощью программного обеспечения для автоматизированного проектирования (CAD), который содержит 2D-чертежи или 3D-модели объектов, деталей или узлов. Он используется для создания технических чертежей, схем, эскизов и 3D-визуализации для проектирования, архитектуры, строительства и разработки продуктов

Преимущества: неисчерпаемость, мгновенная передача по защищенным каналам, отсутствие затрат на хранение, возможность мгновенного обновления конструкции.

Модель распределенного ремонта (трехуровневая система):

Уровень 1 (Центральная база): промышленные SLM/DED-принтеры для сложных и ответственных деталей.

Уровень 2 (Подвижная мастерская ПРВМ): портативные DED-комплексы для металлов и крупногабаритные полимерные принтеры.

Уровень 3 (Полевой комплект ПРК): компактные FDM-принтеры для экстренного изготовления простейших деталей (рукоятки, заглушки).

Эффект: сокращение среднего времени восстановления с недель до часов.

Тенденция снижение импортозависимости при росте новых системных рисков.

Аддитивные технологии становятся инструментом технологического суверенитета, позволяя воспроизводить детали для устаревших образцов (обратный инжиниринг) и создавать функциональные аналоги импортных компонентов. Однако это порождает три группы критических рисков:

Киберугрозы: хищение CAD-файлов (аналог кражи производственного ноу-хау), внедрение дефектов в модель («мина замедленного действия»), блокировка доступа к репозиторию.

Несанкционированное производство: создание «призрачного оружия» (ghost guns), составных частей оружия автоспусков, глушителей и других, обход государственного контроля.

Новая зависимость: от импорта высокопрочных полимеров, армированных композитов, металлических порошков, лазеров и программного обеспечения для систем автоматизированного проектирования.

Тенденция внедрение многоуровневой защиты цифровых моделей.

На фоне растущих киберугроз и нормативных требований, наличие в организации нескольких уровней защиты от киберугроз – больше не желательная опция, а необходимость.

Для защиты цифровых моделей формируется национальная система защищенного аддитивного производства (НСЗАП). В результате, концепция эшелонированной защиты (Defense in Depth) как никогда актуальна.

Правовой уровень: приравнивание цифровых моделей критических компонентов к физическим носителям гостайны. Основан на принципе минимального доступа.

Технический уровень: Воздушный зазор (Air Gap) – это именно та концепция, где сеть или компьютер полностью физически отделены от любых внешних соединений, включая интернет. Такая практика стала символом максимальной осторожности: когда важнее всего не удобство, а стопроцентный контроль над информацией.

Сквозное шифрование (в покое и в движении). Системы управления цифровыми правами (DRM), привязывающие файл к конкретному авторизованному принтеру.

Криптографическая защита: цифровые водяные знаки и стеганография (микроеметрия, измененная структура поддержек) для определения источника утечки.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило, что аддитивные технологии являются не просто инструментом изготовления деталей, а стимулятором трансформации всего жизненного цикла вооружения. Установлено, что применение высокопрочных полимеров (PEEK, PEI) и металлических порошков (мартенситно-стареющие стали, титановые сплавы) позволяет изменять конструкции, структуры деталей и их варьирующихся параметров при заданном критерии оптимальности с сохранением или улучшением их функционала, со снижением массы на 30–50 % и повышением усталостного ресурса в 3–5 раз. Разработанная трехуровневая модель ремонта (центральная база → подвижная мастерская → полевой комплект) в сочетании с концепцией «цифрового склада» сокращает время восстановления техники с недель до часов, обеспечивая технологическую независимость. Выявлены и систематизированы основные риски: киберугрозы целостности репозиторий, несанкционированное производство и новая зависимость от импорта сырья. Для их минимизации предложена концепция эшелонированной защиты. Сквозное шифрование системы на основе DRM-технологий, цифровых водяных знаков и изолированных сетей. Практическая значимость работы заключается в создании методологических основ для поэтапного внедрения аддитивных технологий в систему технического обеспечения войск.

Список использованных источников

1. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. – 2nd ed. – New York: Springer, 2015. – 498 p.
2. Gorsse, S. Additive Manufacturing of Metals: From Fundamental Technology to Rocket Nozzles, Medical Implants, and Custom Jewelry / S. Gorsse, C. Hutchinson, M. Goune, et al. // Metal Additive Manufacturing. – 2017. – Vol. 3, No. 2. – P. 84-89.
3. Leary, M. Topology Optimisation for Additive Manufacturing / M. Leary // Design for Additive Manufacturing. – Elsevier, 2020. – P. 187–215.
4. Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 21 октября 2024 года) [Электронный ресурс] : утв. Минпромторгом России 25 дек. 2020 г. № 225.
5. Liu, S. Mechanical Properties and Microstructure of 18Ni-300 Maraging Steel Fabricated by Selective Laser Melting / S. Liu, Y.C. Shin // Materials Science and Engineering: A. – 2020. – Vol. 792. – Article 139646.