

УДК: 69.002.5

DOI: 10.53816/23061456_2022_9–10_157

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ВОЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

THE CURRENT STATE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT FOR THE CONSTRUCTION OF MILITARY INFRASTRUCTURE FACILITIES

Канд. техн. наук Ю.А. Бирюков, канд. техн. наук А.А. Демьянов, Д.Е. Кардаш

Ph.D. Yu.A. Biryukov, Ph.D. A.A. Demianov, D.E. Kardash

ВА МТО им. В.А. Хрулева

На фоне обострения геополитических конфликтов в Европе роста ограничительных политических и экономических мер, введённых государствами и международными организациями в отношении Российской Федерации, остро стоит вопрос импортозамещения применяемых технологий, комплектующих и программного обеспечения. Рынок аддитивных технологий (АТ) стремительно развивается во всех областях промышленности, в том числе и в строительстве. В статье проведён анализ современного состояния АТ. Целью работы является анализ путей развития методов аддитивного производства в строительстве и возможности их применения в Вооружённых Силах Российской Федерации.

Ключевые слова: аддитивное производство, строительные 3D-принтеры, 3D-печать, струйная печать.

Against the background of the aggravation of geopolitical conflicts in Europe, the growth of restrictive political and economic measures imposed by states and international organizations against the Russian Federation, the issue of import substitution of used technologies, components and software is acute. The market of additive technologies is rapidly developing in all areas of industry, including construction. The article analyzes the current state of additive technologies. The purpose of the work is to analyze the ways of developing the additive manufacturing method in construction and the possibility of using them in the Armed Forces of the Russian Federation.

Keywords: additive manufacturing, construction 3D printers, 3D printing, inkjet printing.

Первая современная технология трёхмерной печати появилась ещё в конце 80-х гг. прошлого века в компании «3D Systems», которая реализовала принцип стереолитографии (SLA-процессе) [1].

До середины 90-х гг. технологии, на тот момент называвшиеся технологиями быстрого прототипирования, в своём большинстве при-

менялись в научно-исследовательской и опытно-конструкторской сферах деятельности в первую очередь для моделирования для нужд военно-промышленного комплекса. Основные определения для отрасли АТ были сформированы в стандарте ASTM F2792.1549323-1. Термин АТ из данного документа можно перевести как «процесс соединения материалов, предназна-

ченных для синтеза физических объектов по данным 3D-модели САПР, обычно послойным принципом, в отличие от вычитающих (субтрактивных) технологий производства» [1].

Стоит отметить, что среди всех традиционных процессов, к которым относятся, к примеру, литейное производство, порошковое прессование, механическая обработка заготовок, не все являются субтрактивными.

Далее приведены классификации АТ:

– по принципу добавления материала:

а) прямое нанесение материала к месту подвода энергоносителя;

б) послойное осаждение материала с последующей обработкой отдельных контуров;

– по методу фиксации слоя:

а) фотополимеризация;

б) склеивание;

в) сплавление/спекание;

– по типу применяемых материалов для выращивания:

а) жидкие (акриловые и эпоксидные фотополимеры);

б) сыпучие (полимеры, пески, металлопорошки);

в) прутковые и листовые (полимеры, металлы и деревянное волокно).

Основные преимущества АТ заключаются в [2–5]:

1) исключении разногласий между конструктором и технологом в выполнении совместной работы, поскольку обе функции может выполнять один специалист;

2) возможности изготовления изделий сложной геометрической конфигурации, в т.ч. с внутренними каналами и полостями, с большой площадью поверхности, малым объемом;

3) отсутствии необходимости изготовления инструментальной оснастки и литейных форм;

4) минимизации потерь материала и производственных отходов;

5) сокращении времени поставок сырья, уменьшении объемов склада;

6) целесообразности применения при индивидуальном или мелкосерийном производстве;

7) сокращении комплектующих частей создаваемых узлов и агрегатов;

8) уменьшении количества технологических операций, автоматизации процесса, сокращения, трудоёмкости и времени изготовления.

Весь процесс аддитивного производства состоит из следующих этапов: разрабатывается 3D-модель детали с помощью программных средств объёмного моделирования; объёмная компьютерная модель конвертируется в общепринятый формат STL, загружаемый в память установки 3D-принтера; программное обеспечение установки перед началом процесса производства «режет» виртуальную модель на слои необходимой толщины (алгоритмы нарезки у каждого производителя реализованы на основе собственных программных алгоритмов и запатентованы); затем происходит послойный процесс выращивания изделий на основе данных (обрабатываются «твёрдые» участки секции). Именно такой последовательный, многоуровневый подход к изготовлению объектов характеризует аддитивный принцип.

АТ обладают некоторыми преимуществами перед традиционными технологиями производства. Их характеристики указаны в таблице 1 [6].

Выбор технологии аддитивного производства осуществляется на основании анализа по следующим критериям [1]: стоимость приобретения; производительность; качество поверхности модели; степень детализации; точность построения; трудоёмкость постобработки; стабильность модельного материала; срок службы установки до замены основных узлов; стоимость модельных (строительных и вспомогательных) материалов; надёжность и сроки поставки расходных материалов и запасных частей; развитость службы технической поддержки в регионе; стоимость текущего технического обслуживания машины; стоимость сервисного контракта (в постгарантийный период); надёжность и долговечность машины; время жизни основных узлов до замены или капремонта; требуемая квалификация и, соответственно, стоимость обслуживающего персонала, а также требуемая площадь инсталляции и инженерная инфраструктура.

Популяризация аддитивных технологий и их роль в строительной индустрии в условиях глобализации

АТ на сегодняшний день быстроразвивающаяся отрасль промышленного производства. Рынок АТ включает в себя реализацию устано-

Таблица 1

Преимущества АТ перед традиционными

Области применения	Преимущества
Быстрое прототипирование	– ускорение выхода новой продукции на рынок; – снижение затрат на разработку; – повышение эффективности и конкурентоспособности
Производство запасных частей	– сокращение времени ремонта; – уменьшение стоимости труда; – сокращение затрат на хранение
Мелкосерийное производство	– экономически эффективное производство мелких партий; – отсутствие затрат на оснастку и инструмент
Кастомизированные и уникальные изделия	– массовая кастомизация обходится по меньшей цене; – быстрое изготовление функциональных изделий; – отсутствие штрафов при изменении продукции новой конфигурации
Труднообрабатываемые изделия	– автоматизированное производство изделий сложной геометрической конфигурации при постоянной себестоимости
Обеспечение обрабатывающих производств	– сокращение трудовых затрат; – сокращение затрат на хранение; – эффективность массовой кастомизации
Быстрое производство	– одностадийное производство практически готовых изделий
Изготовление компонентов	– улучшение качества готовой продукции; – сокращение цепочки поставок; – снижение затрат на разработку
Локализованное производство по требованию	– сокращение затрат на складирование и транспортировку запасов и готовой продукции; – сокращение затрат за счёт предотвращения простоев оборудования; – сокращение цепочки поставок; – увеличение жизненного цикла продукции
Быстрый ремонт	– сокращение времени ремонта; – возможность функциональной оптимизации объектов

вок аддитивной печати, изготовление моделей или деталей на заказ или для собственных нужд, сервисное обслуживание установок, разработка программного обеспечения, обучение специалистов и операторов, рекламу и консалтинг. Согласно ежегодному отчёту Wohlers Report 2021,

представляющего собой всемирный обзор и анализ аддитивного производства и 3D-печати, о состоянии и перспективах рынка АТ в 2020 году рост отрасли увеличился на 7,5 %, до почти 12,8 млрд долларов. В области АТ строительству уделяется всего 6 % (рис. 1).

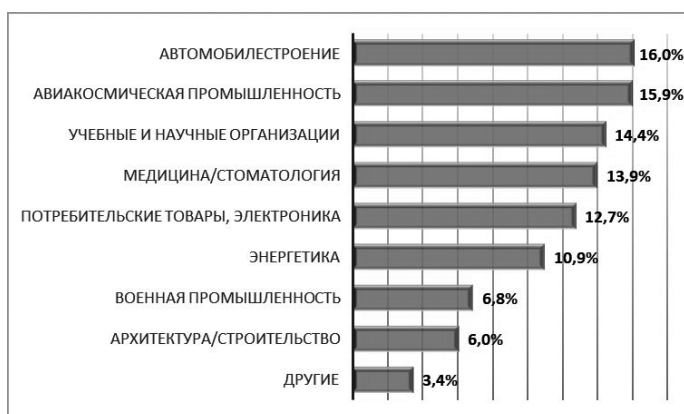


Рис. 1. Распределение отраслей в области АТ

Лидерами по продаже аддитивных промышленных систем являются США (37,8 %), Европа (27,1 %) и Азия (19,1 %) (рис. 2).

Количество компаний, выпускающих профессиональные установки, увеличилось с 213 в 2019 г. до 228 в 2020 году (в 2017, 2018 их количество составляло 135 и 177, соответственно) (рис. 3), при этом новые компании выпускают системы с более продвинутыми свойствами: с открытыми по материалам платформами, с более высокими скоростями печати с меньшей стоимостью установок [7].

Так, в первую мировую тройку потребителей оборудования для АТ входят США (33,6 %), Китай (10,6 %), Япония (9,3 %), доля России равна 1,6 %. При этом доля любительских и полупрофессиональных принтеров составляет 91,6 %, а профессиональных и промышленных — 8,4%. Крупнейшими компаниями по производству установок аддитивной печати являются Швеция, Германия и США (табл. 2) [7].

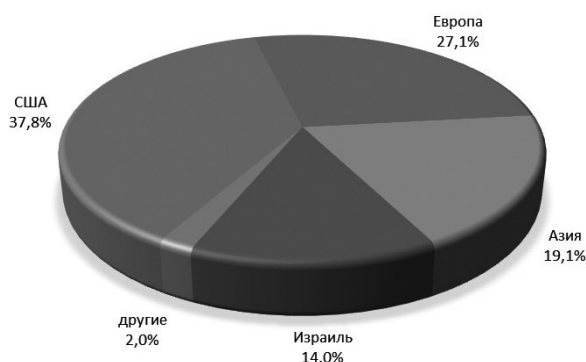


Рис. 2. Доля продаж аддитивных промышленных систем по странам (континентам)

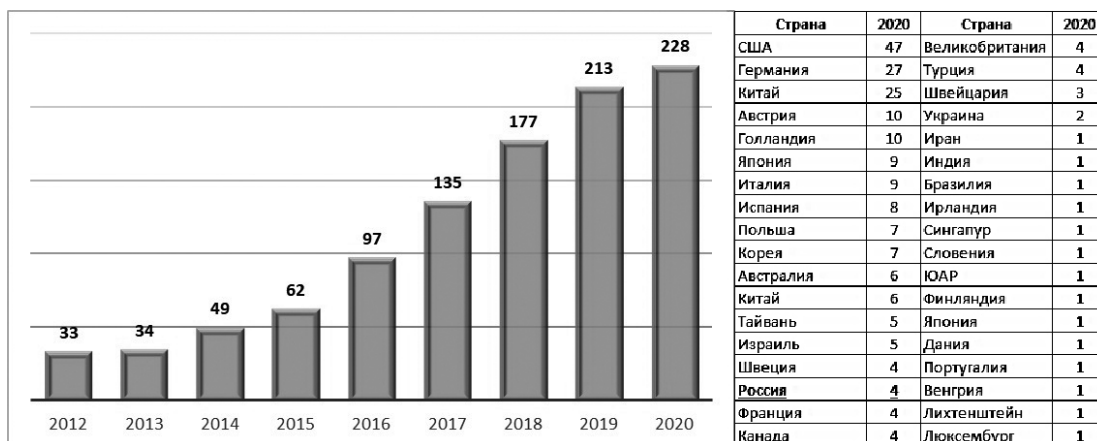


Рис. 3. Динамика роста количества компаний, производящих аддитивные промышленные установки

В строительной индустрии до недавнего времени метод аддитивной печати применялся только для создания небольших конструкций, единичных и мелкосерийный бетонных и железобетонных изделий. В строительстве более крупных объектов строительные компании пока не торопятся применять 3D-печать, ввиду отсутствия соответствующих строительных норм и требований, как к 3D-принтерам, так и к применяемым материалам.

Таблица 2

Крупнейшие компании-производители установок аддитивной печати

№ п/п	Название производителя	Страна производителя
1.	Arcam AB	Швеция
2.	Concept Laser GmbH	ФРГ
3.	EnvisionTEC Inc.	США, ФРГ
4.	EOS GmbH	ФРГ
5.	ExOne	США
6.	Farsoon High-tech Co., Ltd	КНР
7.	Objet Geometries Inc.	США, Израиль
8.	Optomec Inc.	США
9.	Realizer GmbH	ФРГ
10.	Renishaw plc	Великобритания
11.	Sciaky Inc.	США
12.	SLM Solutions Group AG	ФРГ
13.	Stratasys Ltd	США
14.	Trumpf GmbH & Co.	ФРГ
15.	Voxeljet AG	ФРГ
16.	3D Systems Corp.	США

Применение технологии нового поколения активно используется во многих странах. Так, например, в Амстердаме был построен железобетонный мост длиной 8 метров (рис. 4). Из биопластика в Нидерландах печатают кабинки для

отдыха и жилые дома (рис. 5). Двухэтажный монолитный жилой дом в Бельгии, был распечатан на 3D-принтере [8] и достигает 8 метров в высоту и имеет площадь в 90 квадратных метров (рис. 6).



Рис. 4. Железобетонный мост в Амстердаме, построенный аддитивным способом



а



б

Рис. 5. Кабинка для отдыха (а) и жилой дом (б) в Нидерландах



Рис. 6. Двухэтажный жилой дом в Бельгии, «распечатанный» на 3D-принтере

Нужно отметить, что, появившись совсем недавно как новый тип оборудования, строительные принтеры стремительно развиваются и имеют ряд преимуществ:

- облегчение технологического процесса;
- высокая скорость возведения;
- возведение на сложном рельефе;
- ровность и точность возводимой поверхности;
- возможность печати мелких деталей;
- не требуется проведение профилактических мероприятий (остановка при перегреве);
- большой выбор материала при использовании.

Понимание экономических показателей такого вида производства уже есть — это отказ от использования опалубки, составляющей порядка 50 % себестоимости возведения монолитной конструкции, снижение расходов на работников и заработную плату, избавление от трат на вывоз мусора, так как 3D-печать — практически безотходное производство. И самое главное: сокращение продолжительности инвестиционно-строительного цикла и более быстрый возврат инвестиций [11].

Основные минусы — это большой расход электроэнергии и усадка до 50 %. Также готовые элементы некоторых моделей 3D-принтеров имеют невысокую прочность, которые требуют дополнительного укрепления или усиления арматурой, что на сегодняшний день при использовании метода аддитивного строительства пока производится вручную. Для усиления больших конструкций в бетонный раствор вводят фибру, за исключением металлической, потому как она более крупная и жёсткая, что не позволит раствору проходить через сопло экструдера.

Технология 3D-печати может быть использована в Вооружённых Силах Российской Федерации для возведения сооружений и зданий. Складские одноэтажные помещения и хранилища, укрытия для личного состава, временное жильё для военнослужащих и гражданского населения, вспомогательные сооружения, оборонительные укрепления, а также элементы многоэтажных построек (стены, перекрытия) — все это можно возвести с помощью 3D-принтера с минимальными затратами сил личного состава и времени. Корпус морской пехоты армии США

ещё в 2018 году за 40 часов аддитивным способом возвели бетонную казарму площадью 47 м², а в 2020 году в полевых условиях возвели укрытие для транспортных средств. Преимуществом внедрения данной технологии, является отсутствие необходимости доставки железобетонных (металлических) конструкций и грузоподъёмной техники [9, 12]. Применение технологии аддитивного производства существенно сокращает затраты на производство железобетонных конструкций, время на возведение объектов, трудозатраты. В Вооружённых Силах России применение АТ на практике пока не рассматривалось, в то время как строительные 3D-принтеры могут применяться и при возведении временных перегрузочных районов, укрытий для военной и специальной техники, личного состава и других объектов военной инфраструктуры в полевых условиях [13].

Развитие строительных АТ зарубежных стран

Несомненный плюс некоторых моделей строительных 3D-принтеров — это возможность проводить работы на сложном рельефе при возведении объектов временного характера. Для транспортировки строительного принтера требуется стандартная спецтехника, а установка и настройка занимает около 30 минут.

Стремительное развитие АТ началось ещё в 2014 году. Свой опыт продемонстрировала китайская компания WinSun, которая всего за 24 часа построила десять малоэтажных домов из переработанных строительных и промышленных отходов, а затем напечатала и пятиэтажное здание [14]. А в 2015 году китайская компания Zhuoda Group за три часа собрала двухэтажную виллу, созданную из отдельных напечатанных блоков (рис. 7).

При строительстве зданий и сооружений аддитивным способом есть большой потенциал для совершенствования, что является альтернативой для традиционных методов производства. Многие зарубежные строительные компании уделяют этому направлению особое внимание. Но на фоне видимых преимуществ есть и недостатки, которыми являются высокая стоимость 3D-принтеров, чувствительность к погодным условиям, ограниченные возможности по другим



Рис. 7. Здания, напечатанные на строительных 3D-принтерах.

а — из переработанных строительных и промышленных отходов; б — пятиэтажное здание, собранное из отдельных напечатанных блоков; в — двухэтажная вила, собранная за три часа из отдельных напечатанных блоков

видам работ и необходимость дополнительного обучения операторов 3D-печати.

Технологии 3D-печати развиваются стремительно, и указанные недостатки являются лишь временными. Прогресс в исследовании бетонных смесей позволит производить строительство готовыми составами, учитывая конкретные задачи и цели.

Из огромного разнообразия зарубежных производителей строительных 3D-принтеров можно выделить несколько компаний, чья продукция отличается своей конструкцией и применяемыми материалами.

3D-принтер WinSun — представляет собой конструкцию портального типа (рис. 8). Компания не раскрывает особенности конструкции своей модели, но сообщает, что при создании аппарата и в процессе его наладки и доработки

было оформлено 129 патентов международного образца. Материалом обычно является состав собственной разработки WinSun, состоящий из различных строительных отходов и даже из элементов ранее снесённых сооружений [15].

BetAbram — словенская компания, специализирующаяся на создании оборудования для 3D-печати. Их флагманский 3D-принтер BetAbram P1 (рис. 8), при невысокой конструкции — около трёх метров, способен напечатать дом площадью в 144 квадратных метра [16].

COBOD является лидером в Европе по производству строительных 3D-принтеров. После успешной демонстрации в 2017 году работы принтера BOD компания разработала 3D-принтер 2 поколения BOD2, который запущен в серийное производство и поставляется по всему миру. BOD2 является модульным и

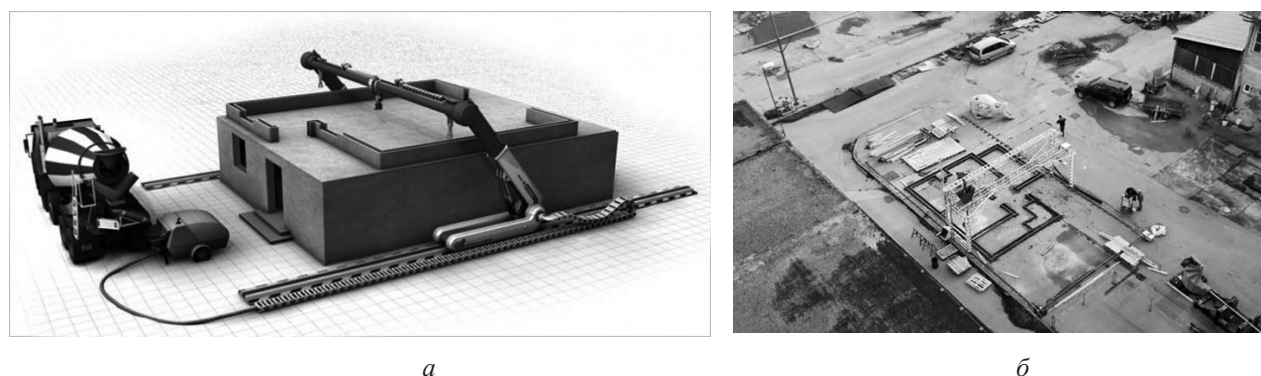


Рис. 8. Зарубежные строительные 3D-принтеры:

а — макет 3D-принтера компании WinSun; б — 3D-принтер BetAbram P1

может быть адаптирован под различные размеры (рис. 9) [17].

IMPRIMANTE 3D BETON французской компании Constructions-3D является целым комплексом, который включает в себя сам 3D-принтер, контейнер, насосную систему и переносной компьютер с панелью управления и установленной пилотной программой. Их принтер (рис. 9) мобилен благодаря своим резиновым гусеницам и помещается в 20-футовый транспортный контейнер для удобной транспортировки [18].

Vulcan — это строительный принтер нового поколения американской компании ICON (рис. 10), разработанный специально для быстрого, более доступного и более свободного проектирования прочных одноэтажных зданий.

Он в состоянии изготовить жилой дом площадью до 186 кв. м всего за один день [19].

Развитие строительных АТ в России

В России среди производителей строительных 3D-принтеров лидерами являются: АМТ-Спецавиа, Aris Cog и Arkon.

АМТ-Спецавиа — ведущий производитель 3D-принтеров для строительства частных домов. Линейка их продукции включает малоформатные принтеры (для печати малых архитектурных форм и изделий, рабочая площадь до 12 м²), среднеформатные принтеры (рис. 11) (для изготовления отдельных элементов конструкций и частей зданий для их последующей сборки, ра-



а



б

Рис. 9. Зарубежные строительные 3D-принтеры:
а — 3D-принтер BOD2; б — 3D-принтер IMPRIMANTE 3D BETON



Рис. 10. 3D-принтер Vulcan компании ICON



Рис. 11. Строительный 3D-принтер среднего формата AMT S-6044 LONG 2

бочая площадь до 55 м²) и строительные принтеры большого формата (для печати зданий на строительной площадке с рабочей площадью до 340 м² и высотой до 80 метров) [10, 15].

Печать производится с применением стандартной бетонной смеси М300 на основе ПЦ400–500, т.е. тем, что имеется в свободной продаже, в качестве инертных материалов возможно применять любые нерудные материалы с фракцией до 2,5 мм, например керамзит.

На рис. 12 представлены здания и сооружения, которые были возведены с помощью технологии 3D-печати.

Aris Cor — ещё один отечественный производитель строительных 3D-принтеров, способных печатать здания высотой до трёх этажей. В 2017 году в Ступино Московской области был напечатан первый дом с помощью

3D-принтера производства Aris Cor (рис. 13). Для контроля работы и подачи материала требуется всего два человека. Благодаря оснащению системой стабилизации, 3D-принтер может быть установлен на любой поверхности, без предварительно подготовленной площадки. В 2019 году компания Aris Cor напечатала административное здание в Дубае, попав в Книгу рекордов Гиннеса (рис. 13). В то время, когда большие здания возводились из ранее напечатанных блоков, Aris Cor напечатали здание «целиком» [20].

Компания Arkon — отечественный производитель 3D-принтеров. Их проект «Бетонатор» — это комплекс роботизированных средств для строительства, который был представлен в 2018 году на Международном военно-техническом форуме «Армия-2018» (рис. 14). Проект направ-



а



б

Рис. 12. Объекты, напечатанные аддитивным способом компанией АМТ-Спецавиа:
а — жилой дом в Ярославле; б — Палехский фонтан в Ивановской области



а



б

Рис. 13. Здания, напечатанные компанией *Apis Cor*:
а — в г. Ступино Московской обл., площадью 38 м²; б — административное здание в Дубае



Рис. 14. Строительный 3D-принтер, проект «Бетонатор»

лен на создание вертикально интегрированной технологии строительства малоэтажных домов с помощью 3D-печати.

Российские производители строительных 3D-принтеров ничем не уступают, а в некоторых технологических решениях превосходят зарубежных производителей, и основным преимуществом является тот факт, что применяемые составы строительных смесей используются в традиционном строительстве. Таким образом, строительные 3D-принтеры могут свободно применяться и в интересах Министерства обороны Российской Федерации, применяемые материалы для возведения объектов военной инфраструктуры могут закупаться в

любом регионе и у любого ближайшего производителя.

При профессиональном подходе к поставленной задаче по обоснованию целевой и экономической эффективности процессов жизнеобеспечения воинских подразделений с применением аддитивных технологий может быть достигнута достаточно высокая степень интеграции образования, науки и промышленности, для повышения качества условий размещения малочисленных воинских подразделений видов и родов войск в Арктическом регионе, в регионах с умеренным и жарким климатом, что позволит внести существенный вклад в укрепление обороноспособности нашего государства [21].

Заключение

Несмотря на довольно высокую стоимость оборудования, многообразие (различность) применяемых материалов и программного обеспечения, дефицит подготовленных специалистов, отсутствие в программах образования профильных учебных дисциплин, строительные компании охотно популяризуют данную технологию и инвестируют в развитие аддитивного производства, считая, что внедрение строительных 3D-принтеров в производственный процесс, процесс строительства малоэтажных зданий, как временных, так и капитальных, сократит расходы на содержание и эксплуатацию строительного оборудования и механизмов, снизит количество строительного мусора, а также трудозатрат. Решение данных проблем на сегодняшний день возлагают на себя предприятия промышленности, которые популяризуют новую технологию строительства объектов и заинтересованы в реализации проектов как по производству технических решений, так и реализации конечной продукции и услуг. В то же время пока немногие учебные заведения России активно внедряют в программы обучения АТ, стремясь осуществлять подготовку специалистов, имеющих необходимые компетенции для осуществления деятельности в сфере новых перспективных технологий. В высших учебных заведениях Минобороны России внедрение АТ в области строительства частично рассматривается на профильных дисциплинах в ознакомительных целях, но на сегодняшний день, пока строительные 3D-принтеры не займут устойчивую нишу среди средств механизации при возведении строительных объектов, данная технология будет иметь только частное значение. Разработка и реализация стратегии внедрения способов возведения строительных объектов аддитивным методом позволит преодолеть барьеры, препятствующие применению данных технологий в Вооруженных Силах Российской Федерации.

Литература

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. — М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». 2015. 220 с.
2. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 8. С. 210–217.
3. Кузнецов П.А. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. № 2 (14). С. 4–10.
4. Литунов С.Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1 / Омский научный вестник. 2016. № 1 (145). С. 12–17.
5. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники. «Труды МАИ». 2014. № 78. URL: <https://mai.ru/publications/index.php?ID=53682> (дата обращения: 11.05.2022).
6. Attaran M. The rise of 3D-printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing: Business Horizons. 2017. № 60(5). URL: https://www.researchgate.net/publication/313904803_The_rise_of_3-D_printingThe_advantages_of_additive_manufacturing_over_traditional_manufacturing (дата обращения: 11.05.2022).
7. 3D-printing and additive manufacturing. Global State of the Industry: Wohlers Report. 2021. URL: <https://wohlersassociates.com/2021report.htm> (дата обращения: 11.05.2022).
8. В Бельгии появился первый двухэтажный дом, целиком напечатанный на 3D-принтере: Archi.ru. 2021. URL: <https://archi.ru/news/88722/v-belgii-poyavilsya-pervyi-dvukhetazhnyi-dom-celikom-napechatannyy-na-d-printere> (дата обращения: 13.05.2022).
9. 3D-принтер «Бетонатор 1». Официальный сайт производителя Arkon. 2020. URL: <https://arkon3d.ru/3dcp/> (дата обращения: 13.05.2022).
10. Строительный 3D-принтер «АМТ» S-6044. Официальный сайт производителя Спецавиа. 2021. URL: <https://specavia.pro/catalog/stroitelnye-3d-printery/dlya-ceha/printer-stroitelnyjj-trekhmernojj-pechati-3d-s-6044> (дата обращения: 17.11.2021).
11. Строительство зданий с помощью 3D-принтеров: мечта или реальность: Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. 2021. URL: <https://stoi.mos.ru/mobile/articles/stroitel-stvo-zdaniy-s-pomoshch-iu-3d-printerov-mechta-ili-realnost>

3d-printierov-miechta-ili-rieal-nost (дата обращения: 17.11.2021).

12. Руденко А.Е., Кардаш Д.Е. Опыт строительства аддитивным методом войсковых объектов армии США // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. — СПб.: НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) ВА МТО. 2020. С. 140–146.

13. Демьянов А.А., Кардаш Д.Е., Горохов Д.И. Возможности применения 3D-принтеров при организации временного перегрузочного района // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. — СПб.: НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) ВА МТО. 2021. С. 173–177.

14. Аддитивные технологии в строительстве: ожидание и перспективы // Журнал «Аддитивные технологии». 2021. № 4. 48 с.

15. COMPANY PROFILE. Официальный сайт производителя WinSun. 2020. URL: <http://www.winsun3d.com/En/About> (дата обращения: 13.05.2022).

16. Absolutely simple, fascinating and magical to use. Официальный сайт производителя Bet-Abram. 2019. URL: <https://betabram.com> (дата обращения: 13.05.2022).

17. Modular 3D construction PRINTER. Официальный сайт производителя Cobod. 2020. URL: <https://cobod.com/bod2> (дата обращения: 13.05.2022).

18. UNE SOLUTION CLÉ EN MAIN. Официальный сайт производителя Constructions-3d. 2020. URL: <https://www.constructions-3d.com/la-maxi-printer> (дата обращения: 13.05.2022).

19. Introducing the Vulcan 3D Printer for Homes. Официальный сайт производителя ICON, — 2020. URL: <https://www.iconbuild.com/updates/introducing-the-vulcan-3d-printer-for-homes> (дата обращения: 13.05.2022).

20. Демьянов А.А., Кардаш Д.Е., Кузнецова В.Н. Развитие аддитивного метода строительства в России // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. — СПб.: НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) ВА МТО. 2021. С. 151–157.

21. Мороз А.Ф., Кравец Д.Ю., Каптюх А.Н. Автономные мобильные комплексы жизнеобеспечения для малочисленных воинских подраз-

делений в Арктическом регионе // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. Вып. 3–4 (141–142). С. 3–8.

References

1. Zlenko M.A., Nagaytsev M.V., Dovbysh V.M. Additive technologies in mechanical engineering. // SSC RF FSUE «NAMI». — Moscow. 2015. 220 p.

2. Chemodurov A.N. The use of additive technologies in the production of mechanical engineering products. // Izvestiya TulGU. Technical science. 2016. №. 8. P. 210–217.

3. Kuznetsov P.A. Additive technologies based on metal powder materials for the Russian industry // News of materials science. Science and technology. 2015. №. 2 (14). P. 4–10.

4. Litunov S.N. Review and analysis of additive technologies. Part 1 // Omsk Scientific Bulletin. 2016. №. 1 (145). P. 12–17.

5. Chumakov D.M. Prospects for the use of additive technologies in the creation of aviation and rocket and space technology. // «Proceedings of MAI». [Electronic resource]. 2014. № 78. Access mode: <https://mai.ru/publications/index.php?ID=53682>.

6. Attaran M. The rise of 3D-printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing: Business Horizons. [Electronic resource]. 2017. №. 60(5). Access mode: https://www.researchgate.net/publication/313904803_The_rise_of_3-D_printingThe_advantages_of_additive_manufacturing_over_traditional_manufacturing.

7. 3D-printing and additive manufacturing. Global State of the Industry: Wohlers Report. [Electronic resource]. 2021. Access mode: <https:// Wohlersassociates.com/2021report.htm>.

8. In Belgium, the first two-story house appeared, entirely printed on a 3D printer: Archi.ru. [Electronic resource]. 2021. Access mode: <https://archi.ru/news/88722/v-belgii-poyavilsya-pervyi-dvukhetazhnyi-dom-celikom-napechatannyi-na-d-printere>.

9. 3D-printer «Betonator 1». Official website of the manufacturer Arkon. [Electronic resource]. 2020. Access mode: <https://arkon3d.ru/3dcp/>.

10. Construction 3D printer «AMT» S-6044. Official website of the manufacturer Spetsavia.

[Electronic resource]. 2021. Access mode: <https://specavia.pro/catalog/stroitelnye-3d-printery/dlya-ceha/printer-stroitelnyjj-trekhmernojj-pechati-3d-s-6044>.

11. Construction of buildings using 3D printers: dream or reality. A complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow [Electronic resource]. 2021. Access mode: <https://stroim.mos.ru/mobile/articles/stroitel-stvo-zdaniy-s-pomoshch-iu-3d-printerov-miechta-ili-real-nost>.

12. Rudenko A.E., Kardash D.E. Experience in the construction of military facilities of the US Army by the additive method // Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation. 2020. — St. Petersburg. Pp. 140–146.

13. Demyanov A.A., Kardash D.E., Gorokhov D.I. Possibilities of using 3D printers in the organization of a temporary transshipment area // Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation. 2021. — St. Petersburg. Pp. 173–177.

14. Additive Technologies in Construction: Expectations and Prospects // Additive Technologies Journal. 2021. № 4. 48 p.

15. COMPANY PROFILE. Official website of the manufacturer WinSun. [Electronic resource]. 2020. Access mode: <http://www.winsun3d.com/En/About>.

16. Absolutely simple, fascinating and magical to use. Official website of the manufacturer BetAbram. [Electronic resource]. 2019. Access mode: <https://betabram.com>.

17. MODULAR 3D CONSTRUCTION PRINTER. Official website of the manufacturer Cobod. [Electronic resource]. 2020. Access mode: <https://cobod.com/bod2>.

18. UNE SOLUTION CLÉ EN MAIN. Official website of the manufacturer Constructions-3d. [Electronic resource]. 2020. Access mode: <https://www.constructions-3d.com/la-maxi-printer>.

19. Introducing the Vulcan 3D-printer for Homes. ICON official website [Electronic resource]. 2020 Access mode: <https://www.iconbuild.com/updates/introducing-the-vulcan-3d-printer-for-homes>.

20. Demyanov A.A., Kardash D.E., Kuznetsova V.N. Development of the additive construction method in Russia // Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation. 2021. — St. Petersburg. Pp. 151–157.

21. Moroz A.F., Kravets D.Yu., Kaptyukh A.N. Autonomous mobile life support systems for small military units in the Arctic region // Issues of defense technology. Series 16: technical means of countering terrorism. 2020. Issue 3–4 (141–142). Pp. 3–8.