

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Е.А. Астафьева, О.Е. Носкова, С.И. Лыткина, Ф.М. Носков, А.М. Синичкин

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы о возможностях применения аддитивных технологий при обучении будущих бакалавров инженерного направления подготовки общетехническим дисциплинам. Проведен анализ научной литературы на предмет формирования у студентов первичных навыков применения аддитивных технологий при изучении общетехнических дисциплин. В рамках этого анализа выявлен дефицит научных публикаций, посвящённых опыту применения аддитивных технологий в рамках изучения дисциплины «Технология конструкционных материалов». Показана целесообразность и раскрыт опыт применения 3D печати в процессе обучения студентов дисциплине «Технология конструкционных материалов». Показаны преимущества применения аддитивных технологий при проведении лабораторных работ.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D печать, общетехнические дисциплины, технология конструкционных материалов, лабораторная работа.

Для цитирования: Применение аддитивных технологий при изучении дисциплины «Технология конструкционных материалов» / Е.А. Астафьева, О.Е. Носкова, С.И. Лыткина и др. // Преподаватель XXI век. 2024. № 1. Часть 1. С. 101–113. DOI: 10.31862/2073-9613-2024-1-101-113

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF THE DISCIPLINE “TECHNOLOGY OF STRUCTURAL MATERIALS”

E.A. Astafyeva, O.E. Noskova, S.I. Lytkina, F.M. Noskov, A.M. Sinichkin

Abstract. The article considers the possibilities of using additive technologies in teaching general technical disciplines to future bachelors of engineering training. The article analyzes the scientific literature on the subject of forming students' primary skills of additive technologies application in the study of general engineering disciplines. Within the framework of this analysis the lack of scientific publications devoted to the experience of using additive technologies in the framework of studying the discipline “Technology of Structural Materials” has been revealed. The article presents the expediency and reveals

© Астафьева Е.А., Носкова О.Е., Лыткина С.И., Носков Ф.М., Синичкин А.М., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

the experience of 3D printing application in the process of teaching students the discipline “Technology of Structural Materials”. The advantages of the use of additive technologies in laboratory work are also presented.

Keywords: *additive technologies, 3D printing, general technical disciplines, technology of structural materials, laboratory work.*

Cite as: Astafyeva E.A., Noskova O.E., Lytkina S.I., Noskov F.M., Sinichkin A.M. Application of Additive Technologies in the Study of the Discipline “Technology of Structural Materials”. *Prepodavatel XXI vek. Russian Journal of Education*, 2024, No. 1, part 1, pp. 101–113. DOI: 10.31862/2073-9613-2024-1-101-113

Введение

Для современного этапа экономического развития характерно массовое внедрение во все сферы жизнедеятельности цифровых технологий. С каждым годом в России увеличивается количество наукоёмких производств, основанных на интеграции промышленных и информационных технологий. Развитие высокотехнологичного производства требует наличия квалифицированных кадров, способных применять результаты научно-технического прогресса. В этой связи перед высшими учебными заведениями стоит первостепенная задача по удовлетворению спроса в выпускниках, обладающих компетенциями в области современных информационных технологий.

В настоящее время активно развиваются аддитивные технологии и получают всё более широкое распространение в различных отраслях, таких как медицина, строительство, лёгкая и тяжёлая промышленность и т. д. Область применения аддитивных технологий с каждым годом увеличивается в геометрической прогрессии. Стремительное развитие аддитивных технологий привело к повышению спроса на специалистов в области применения аддитивных технологий и сделало неизбежным внедрение этих технологий в образовательный процесс. Выпускник, обладающий навыками аддитивного производства, понимающий поведение различных материалов, обладающий знаниями технологических процессов и способов проектирования изделий, стал одним из самых востребованных специалистов на рынке труда [1].

Правительством Российской Федерации в 2021 г. была утверждена стратегия развития аддитивных технологий до 2030 г.¹ В данной стратегии затрагивается кадровая проблема, связанная с неполным соответствием профессиональных компетенций работников, предъявляемым квалификационным требованиям по всем существующим направлениям аддитивных технологий.

В настоящее время на уровне среднего профессионального образования существует специальность «Аддитивные технологии», где осуществляется подготовка техников-технологов для организации и ведения технологического процесса по изготовлению изделий с применением аддитивных технологий.

На уровне высшего образования (бакалавриат и магистратура) в настоящий момент также разработаны программы, направленные на освоение аддитивных технологий.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 июля 2021 г. № 1913-р «Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/1202107160042.pdf> (дата обращения: 09.02.2023).

К таким направлениям подготовки относятся 27.03.05 «Аддитивные технологии. Инноватика» (бакалавриат), 15.04.01 «Цифровые технологии аддитивного и заготовительного производства» (магистратура).

Однако формировать первичные навыки аддитивного производства можно и нужно и на других технических направлениях подготовки, внедряя в учебный процесс аддитивные технологии при изучении отдельных дисциплин. И как показывает обзор научных публикаций, некоторый опыт уже существует.

Наиболее часто в научной литературе встречаются публикации, посвящённые применению аддитивных технологий при обучении дисциплине «Начертательная геометрия и инженерная графика». Это объясняется неразрывной связью 3D моделирования и 3D печати. Так, в работах [2–5] авторы описывают опыт применения аддитивных технологий в курсе «Начертательная геометрия и инженерная графика», в котором интегрированы компьютерные технологии геометрического моделирования и 3D печати. Из собственного опыта преподавания хотелось бы отметить, что в связи с отсутствием в школьной программе уроков черчения, основная масса абитуриентов не имеет даже начальных навыков построения чертежей и навыков пространственного воображения. В перечисленных работах авторы отмечают роль аддитивных технологий в повышении наглядности изучаемого материала, что облегчает студентам пространственное восприятие объёмных деталей.

Большое значение имеет технология быстрого прототипирования при проектировании сборочных чертежей. Как отмечается в работе [2], даже выполнение трёхмерного твердотельного моделирования с применением САЕ-программ является недостаточным для полноценного понимания студентом выполненной компоновки технического объекта, поскольку виртуальная трёхмерная модель лишена сенсорной составляющей, поэтому зачастую студент не в полной мере получает обратную связь о своих конструкторских решениях. Технология быстрого прототипирования позволяет получить физический макет проектируемого технического объекта и выявить ошибки на этапе его проектирования.

Систематизация знаний, а также опыта практического применения аддитивных технологий при производстве и ремонте деталей машин, в том числе в сфере сельскохозяйственной техники, описана в работе [6]. Авторы работы отмечают преимущества аддитивных технологий в области восстановления изношенных и поврежденных деталей, а также необходимость подготовки квалифицированных кадров, обладающих навыками применения аддитивных технологий в сфере машиностроения и агропромышленном комплексе.

В работе [7; 8] показано положительное влияние использования технологий 3D-моделирования и 3D-прототипирования на эффективность формирования профессиональных компетенций бакалавров при изучении дисциплины «Детали машин» по сравнению с традиционными методами обучения. При изучении дисциплины «Проектирование и исследование деталей машин» 3D-печать даёт возможность на практике провести сборку проектируемой сборочной единицы, выявить ошибки и оценить работоспособность механизма.

Наибольший интерес для нашего исследования представляет работа [9], в которой рассматривается подготовка бакалавров по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов» с применением аддитивных технологий. В работе

показана возможность для студентов этого направления подготовки по выращиванию на 3D-принтере выжигаемых моделей сложной геометрической формы для получения высококачественных отливок практически любых форм и конфигураций.

Опыт применения аддитивных технологий в педагогическом образовании при обучении учителей технологии в рамках дисциплины «3D-моделирование в техническом творчестве» описан в работе [10].

Обзор научно-методической литературы показал, что аддитивные технологии широко распространены в различных сферах деятельности человека, а их изучение и подготовка соответствующих квалифицированных кадров являются актуальными и востребованными в обществе.

Перед высшими учебными заведениями стоит задача по внедрению аддитивных технологий в образовательный процесс, реализации различных новых образовательных идей и проектов, позволяющих выводить студентов и выпускников на принципиально новый уровень квалификации, соответствующий требованиям времени и запросам работодателей.

В настоящее время разрабатываются методики по применению аддитивных технологий при изучении различных учебных дисциплин, что позволяет решать различные учебные задачи [11]. Несмотря на активное внедрение аддитивных технологий в процесс обучения, информация о применении данной технологии при обучении студентов дисциплине «Технология конструкционных материалов» практически отсутствует. Логичными являются попытки применения аддитивных технологий для повышения эффективности изучения комплексной дисциплины «Технология конструкционных материалов».

Таким образом, **цель** данной работы заключается в определении роли и места аддитивных технологий при обучении студентов дисциплине «Технология конструкционных материалов».

Результаты исследования

Понятие «аддитивные» сформировано от английского *add* — «добавлять», и слово «аддитивные» определяется как «добавляющие». Согласно ГОСТ Р57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015, аддитивное производство — это «процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки)». В соответствии с этим под аддитивными технологиями понимают комплекс методов и средств создания трехмерного объекта по данным цифровой модели (или CAD-модели) путем его послойного построения с помощью установки для аддитивного производства (3D-принтера). Данные технологии позволяют быстро конструировать и воспроизводить объекты, отличающиеся высокой трудоемкостью создания в условиях традиционного производства, от мельчайших изделий приборостроения и медицины до крупных промышленных конструкций, таких, например, как рабочее колесо гидротурбины [12–15].

Дисциплина «Технология конструкционных материалов» (ТКМ) на этапе первичной технологической подготовки студентов 1–2 курса имеет важное значение. Основная цель дисциплины состоит в формировании у студентов компетенций в области технологических методов получения заготовок для деталей машин или конструкций

и методов их обработки. Одной из задач дисциплины ТКМ является изучение процессов заготовительного производства и проектирование технологий изготовления заготовок деталей машин простой конфигурации такими методами, как литье и обработка давлением. Наряду с традиционными технологиями, содержание курса ТКМ постоянно дополняется современными технологиями, к которым относится аддитивное производство [16].

В настоящее время в целях внедрения в учебный процесс современных наукоёмких технологий преподавателями кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов» Сибирского федерального университета (СФУ) разрабатываются методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по ТКМ с применением аддитивных технологий. В качестве примера опишем опыт оптимизации методики проведения лабораторных работ по теме «Литьё сплавов в песчаные формы» посредством применения 3D печати.

При выполнении лабораторной работы по проектированию технологии процесса изготовления литой заготовки студенту не всегда достаточно знаний и наглядных объектов, полученных после лабораторной работы по изготовлению песчаных форм. Использование 3D печати при проектировании позволяет сформировать у студента знания с учетом существующей технологической последовательности процесса литья.

При выполнении данной лабораторной работы студент должен по заданному чертежу детали (см. рис. 1) спроектировать чертеж литой заготовки (отливки) с учетом её положения в литейной форме, припусков и напусков, а также выполнить чертежи стержня и модели отливки (см. рис. 2) с применением программных систем трёхмерного моделирования (AutoCAD, Компас-3D, SolidWorks).

Графическую часть лабораторных работ по трёхмерному моделированию студенты выполняют с использованием знаний по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика», которую студенты 1 курса изучают параллельно с ТКМ, и возможностью получить квалифицированную консультацию по выполнению 3D-модели. В результате студент уже с начала обучения на практике осознаёт междисциплинарный характер выполняемых профессионально-ориентированных учебных заданий.

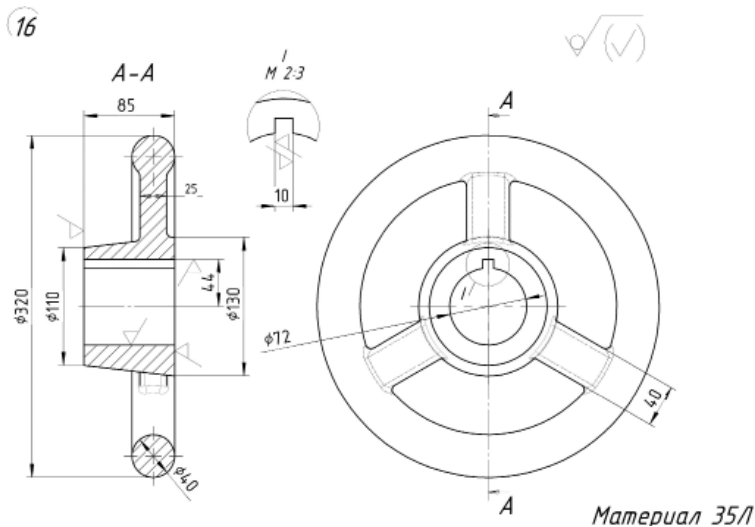


Рис. 1. Чертеж детали – вариант задания

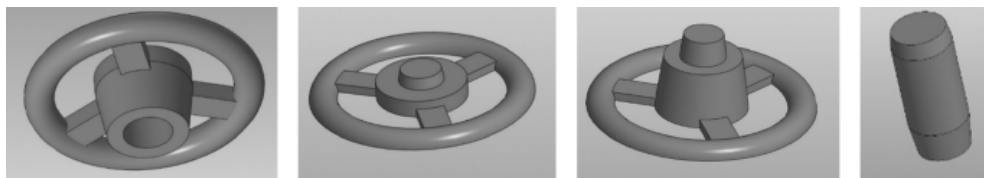


Рис. 2. Выполненные в графической программе 3D чертежи (CAD модели):
 а — отливки детали; б, в — верхней и нижней частей модели отливки;
 г — литейного стержня

На следующем этапе лабораторной работы по разработанной 3D-модели выполняется печать моделей отливки на 3D принтере (см. рис. 3). Полноценная литейная оснастка в промышленном производстве изготавливается после тщательной конструкторской и технологической подготовки на профессиональных принтерах — дорогих АМ-машинах. Технологии «быстрого прототипирования» применяют главным образом на начальной стадии проектов для воспроизведения геометрического образа изделия. Для целей прототипирования чаще используются недорогие 3D-принтеры [12], как в нашем случае. На таких машинах нельзя добиться высокого качества поверхности и прочности изделия. Однако полученный прототип модели отливки (см. рис. 3), используемый нами так же, как элемент оснастки, прекрасно выдерживает ручную формовку, позволяя получить полость формы без привлечения специалиста-модельщика.



Рис. 3. Модель отливки, полученная при помощи 3D печати

После получения при помощи аддитивной технологии модели отливки, она по частям заформовывается в опоки с элементами литниковой системы методом ручной формовки (см. рис. 4: а, б, в).



а



б



в

Рис. 4. Изготовление литейной формы по разъемной модели (а, б, в)

Далее модель извлекают, устанавливают стальной стержень, покрытый противопригарной краской (см. рис. 5 а), собирают литейную форму и заливают её литейным алюминиевым сплавом АК12 (см. рис. 5 б).



а



б

Рис. 5. Извлечение модели (а) и заливка формы сплавом АК12 (б)

После кристаллизации сплава форму разрушают (см. рис. 6 а), извлекая отливку со стержнем и литниковой системой (см. рис. 6 б).



Рис. 6. Выбивка отливки из литейной формы (а), отливка с литниковой системой и стержнем (б)

Из отливки (см. рис. 6 б) выбивается стержень и отрезается литниковая система. Из этой литой заготовки (см. рис. 7 а) после механической обработки получится деталь (см. рис. 1).



Рис. 7. Металлическая отливка из АК12, полученная литьём в песчано-глинистую форму (а); прототипы отливки детали и стержня, полученные при помощи 3D печати (б)

Выполняя данную лабораторную работу, студенты проходят все этапы литейного производства: от создания 3D-модели будущего изделия с применением современных прикладных программ, изготовления литейной оснастки с применением 3D-печати до литья песчано-глинистой формы, что позволяет сформировать у студентов компетенции как в области литейного производства, так и в области аддитивных технологий.

Ещё одной из основных задач практического применения аддитивных технологий является получение прототипа изделия в максимально короткие сроки. Возможность быстрого получения прообраза изделия (прототипа) при помощи 3D печати позволяет в рамках учебного графика, если нет условий для изготовления и заливки фор-

мы, напечатать не только модель отливки, но и прототипы отливок и стержней (см. рис. 7 б) по их чертежам (см. рис. 2 а, з). Студенту важно увидеть геометрию спроектированных им объектов для анализа поверхности, например, отливку при назначении операций обработки резанием для превращения литой заготовки в деталь.

При изготовлении прототипов объектов только для визуализации можно уменьшить их масштаб, чтобы сократить временной цикл 3D печати (см. рис. 8).

Изготовление прототипов технических объектов при изучении различных дисциплин является дополнительным средством визуализации изучаемых объектов.

Так, например, на занятиях по инженерной графике использование 3D-принтера позволяет воплощать объёмные модели деталей в материале, что облегчает студентам понимание объёмных форм предмета и даёт возможность протестировать результаты работы [3]. У многих студентов абстрактное представление о функциях деталей механизма, основанное только на его плоском изображении, не всегда адекватно отражает реальное назначение.

Применение 3D-принтеров на практических занятиях по дисциплинам «Теория механизмов и машин» и «Детали машин» позволяет довести процесс обучения до создания деталей и сборки из них даже работающих проектируемых механизмов [там же; 17].



Рис. 8. Модели отливки разного масштаба

Выводы

Можно констатировать, что в нашем случае применение аддитивных технологий значительно ускоряет и упрощает процесс изготовления оснастки (моделей отливок) для лабораторных работ по литейному производству для любого варианта студенческого задания. Это даёт возможность студентам проследить технологическую последовательность процесса, включающего проектирование литой заготовки и оснастки, изготовление оснастки, изготовление литейной формы и получение отливки.

Возможность изготовить каждый спроектированный объект методом 3D-печати позволяет студенту увидеть результат своей работы не только на бумаге или экране монитора, но в виде реального прототипа.

Использование 3D-печати демонстрирует преимущества аддитивных технологий «добавления», таких как безотходность и скорость. Студенты могут сравнивать их с традиционными «вычитающими» технологиями литья и механообработки, где удаление («вычитание») материала из массива заготовки (см. рис. 6 б и 7 а) для получения детали (см. рис. 1) осуществляется более длительными и с большими отходами операциями резания.

Как показывает практика, применение прикладных программ по 3D-конструированию и 3D-печати при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов» значительно повышает у студентов интерес к освоению учебного материала, развивает техническое мышление, позволяет приблизить содержание дисциплины к реальному процессу проектно-конструкторской деятельности и современного производства, поэтому необходимо продолжать разрабатывать методики, позволяющие более широко внедрять аддитивные технологии в учебный процесс.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дресвянников, В.А., Страхов, Е.П., Дорофеев, В.Д. Структуризация направлений освоения аддитивных технологий. Концепция подхода к созданию интегрированной среды освоения аддитивных технологий на базе университета // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2018. № 2(46). С. 164–174.
2. Зеленцов, В.В., Щеглов, Г.А. Опыт интеграции CAD-технологий и 3D-печати в учебном плане подготовки инженеров // Открытое образование. 2016. № 5. С. 27–34.
3. Гаврилюк, Б.В., Трухина, Н.В. Организационные и методические проблемы внедрения 3D-принтеров в учебный процесс // Педагогический имидж. 2018. № 1(38).
4. Кузьменко, Е.Л., Белоусова, Т.М., Терновская, О.В. Опыт использования компьютерной графики и аддитивных технологий в военно-научной работе курсантов // Проблемы современного образования. 2022. № 6. С. 266–275.
5. Литвинова, М.А. Применение аддитивных технологий в процессе обучения инженерной графике // Журнал педагогических исследований. 2023. № 2. С. 94–98.
6. Толочко, Н.К. Аддитивные технологии в производстве и ремонте машин / Н.К. Толочко, С.О. Нукешев, Н.Н. Романюк, С.И. Мендалиева. Нур-Султан: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2022. 184 с.
7. Каменев, Р.В., Лейбов, А.М., Осокина, О.М. Применение технологий 3d-прототипирования в образовательном процессе // Научное обозрение. Педагогические науки. 2015. № 2. С. 45–46.
8. Иванова, Г.В. Использование аддитивных технологий производства в обучении студентов / Г.В. Иванова, В.Л. Полонский, Е.А. Тарасенко, Ю.А. Бисеров, А.А. Смирнов, Ю.А. Круглик // Фундаментальные основы механики. 2022. № 9. С. 6–10.
9. Крюкова, А.В., Старова, О.В., Мосоров, В.И. Использование аддитивной технологии при подготовке бакалавров по направлению «Технология художественной обработки материалов» // Ползуновский альманах. 2021. № 3. С. 72–76.
10. Хрусталева, Н.В., Логинов, А.Н., Логинова, Д.Н. Применение аддитивных технологий в проектной деятельности студентов педагогических вузов // Педагогика: вопросы теории и практики. 2022. № 8. С. 871–877.
11. Чудинский, Р.М., Горбунов, Н.А. Роль и место аддитивных технологий в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 5. С. 26–35.
12. Зеленко, М.А., Нагайцев, М.В., Довбыш, В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. М.: НАМИ, 2015. 220 с.

13. Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производственные процессы // *Машиностроение и смежные отрасли*. 2021. № 1 (141). С. 42–51.
14. Муравьев, А.А., Маркова, Н.С., Тарпанов, А.С. Перспективные направления развития и применения аддитивных технологий в машиностроении // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. № 4–1 (330). С. 85–96.
15. Финогеев, Д.Ю., Решетникова, О.П. Аддитивные технологии в современном производстве деталей точного машиностроения // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2020. № 3 (86). С. 63–71.
16. Астафьева, Е.А. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов направления 22.03.01 / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, О.А. Масанский, В.С. Казаков. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. 476 с.
17. Белоновская, И.Д. Аддитивные технологии в целевом обучении студентов инженерно-технических направлений подготовки / И.Д. Белоновская, А.И. Сердюк, Е.М. Езерская, К.С. Романенко. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2018. 116 с.

REFERENCES

1. Dresvyannikov, V.A., Strakhov, E.P., Dorofeev, V.D. Strukturizaciya napravlenij osvoeniya additivnyh tekhnologij. Konceptiya podhoda k sozdaniyu integrirovannoj sredy osvoeniya additivnyh tekhnologij na baze universiteta [Structuring the Directions of Development of Additive Technologies. The Concept of an Approach to Creating an Integrated Environment for the Development of Additive Technologies on the Basis of the University], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Obshchestvennye nauki* = News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Social Sciences, 2018, No. 2 (46), pp. 164–174. (in Russ.)
2. Zelencov, V.V., Shcheglov, G.A. Opyt integracii CAD-tekhnologij i 3D-pechati v uchebnoy podgotovke inzhenerov [Experience in Integrating CAD Technologies and 3D Printing in the Engineering Training Curriculum], *Otkrytoe obrazovanie* = Open Education, 2016, No. 5, pp. 27–34. (in Russ.)
3. Gavriljuk, B.V., Truhina, N.V. Organizacionnye i metodicheskie problemy vnedreniya 3D-printerov v uchebnyj process [Organizational and Methodological Problems of Introducing 3D Printers into the Educational Process], *Pedagogicheskij imidzh* = Pedagogical Image, 2018, No. 1 (38). (in Russ.)
4. Kuzmenko, E.L., Belousova, T.M., Ternovskaya, O.V. Opyt ispolzovaniya kompyuternoj grafiki i additivnyh tekhnologij v voenno-nauchnoy rabote kursantov [Experience of Using Computer Graphics and Additive Technologies in the Military Scientific Work of Cadets], *Problemy sovremennogo obrazovaniya* = Problems of Modern Education, 2022, No. 6, pp. 266–275. (in Russ.)
5. Litvinova, M.A. Primenenie additivnyh tekhnologij v processe obucheniya inzhenernoj grafike [Application of Additive Technologies in the Process of Teaching Engineering Graphics], *Zhurnal pedagogicheskikh issledovanij* = Journal of Pedagogical Research, 2023, No. 2, pp. 94–98. (in Russ.)

6. Tolochko, N.K., Nukeshev, S.O., Romanyuk, N.N., Mendaliev, S.I. *Additivnye tekhnologii v proizvodstve i remonte mashin: uchebnoe posobie* [Additive Technologies in the Production and Repair of Machines: A Textbook]. Nur-Sultan, Kazahskij agrotekhnicheskij issledovatel'skij universitet im. S. Seifullina, 2022, 184 p. (in Russ.)
7. Kamenev, R.V., Leibov, A.M., Osokina, O.M. Primenenie tekhnologij 3d-prototipirovaniya v obrazovatel'nom processe [Application of 3D Prototyping Technologies in the Educational Process], *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki* = Scientific Review. Pedagogical Sciences, 2015, No. 2, pp. 45–46. (in Russ.)
8. Ivanova, G.V., Polonsky, V.L., Tarasenko, E.A., Biserov, Yu.A., Smirnov, A.A., Kruglyak, Yu.A. Ispolzovanie additivnykh tekhnologij proizvodstva v obuchenii studentov [The Use of Additive Manufacturing Technologies in Teaching Students], *Fundamentalnye osnovy mekhaniki* = Fundamentals of Mechanics, 2022, No. 9, pp. 6–10. (in Russ.)
9. Kryukova, A.V., Starova, O.V., Mosorov, V.I. Ispolzovanie additivnoj tekhnologii pri podgotovke bakalavrov po napravleniyu “Tekhnologiya hudozhestvennoj obrabotki materialov” [The Use of Additive Technology in the Preparation of Bachelors in the Direction of “Technology of Artistic Processing of Materials”], *Polzunovskij almanah* = Polzunovsky Almanac, 2021, No. 3, pp. 72–76. (in Russ.)
10. Khrustaleva, N.V., Loginov, A.N., Loginova, D.N. Primenenie additivnykh tekhnologij v proektnoj deyatel'nosti studentov pedagogicheskikh vuzov [Application of Additive Technologies in the Project Activities of Students of Pedagogical Universities], *Pedagogika: voprosy teorii i praktiki* = Pedagogy: Issues of Theory and Practice, 2022, No. 8, pp. 871–877. (in Russ.)
11. Chudinsky, R.M., Gorbunov, N.A. Rol i mesto additivnykh tekhnologij v obrazovatel'nom processe [The Role and Place of Additive Technologies in the Educational Process], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education, 2022, No. 5, pp. 26–35. (in Russ.)
12. Zelenko, M.A., Nagaytsev, M.V., Dovbysh, V.M. *Additivnye tekhnologii v mashinostroenii: posobie dlya inzhenerov* [Additive Technologies in Mechanical Engineering: A Manual for Engineers]. Moscow, Nauchno-issledovatel'skij avtomobilnyj i avtomotornyj institute, 2015, 220 p. (in Russ.)
13. *Rynok tekhnologij 3D-pechati v Rossii i mire: perspektivy vnedreniya additivnykh tekhnologij v proizvodstvennye processy* [3D Printing Technology Market in Russia and the World: Prospects for the Introduction of Additive Technologies into Production Processes], *Mashinostroenie i smezhnye otrasli* = Mechanical engineering and related industries, 2021, No. 1 (141), pp. 42–51. (in Russ.)
14. Muravyev, A.A., Markova, N.S., Tarapanov, A.S. Perspektivnye napravleniya razvitiya i primeneniya additivnykh tekhnologij v mashinostroenii [Promising Directions of Development and Application of Additive Technologies in Mechanical Engineering], *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* = Fundamental and applied problems of engineering and technology, 2018, No. 4–1 (330), pp. 85–96. (in Russ.)
15. Finogeev, D.Yu., Reshetnikova, O.P. Additivnye tekhnologii v sovremen'nom proizvodstve detalej tochnogo mashinostroeniya [Additive Technologies in Modern Production of Precision Engineering Parts], *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of the Saratov State Technical University, 2020, No. 3 (86), pp. 63–71. (in Russ.)

16. Astafyeva, E.A., Noskov, F.M., Masansky, O.A., Kazakov, V.S. *Tekhnologiya konstrukcionnyh materialov: uchebnik dlya studentov napravleniya 22.03.01* [Technology of Structural Materials: Textbook for Students of the Direction 22.03.01]. Krasnoyarsk, Sibirskij federalnyj universitet, 2017, 476 p. (in Russ.)
17. Belonovskaya, I.D., Serdyuk, A.I., Yezerkaya, E.M., Romanenko, K.S. *Additivnye tekhnologii v celevom obuchenii studentov inzhenerno-tekhnicheskikh napravlenij podgotovki: uchebnoe posobie* [Additive Technologies in the Targeted Training of Students of Engineering and Technical Areas of Training: A Textbook]. Orenburg, Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, 2018, 116 p. (in Russ.)

Астафьева Евгения Александровна, кандидат технических наук, доцент, кафедра материаловедения и технологии обработки материалов, Сибирский Федеральный университет, astevgeniya@yandex.ru

Evgeniya A. Astafyeva, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Materials Science and Technology of Materials Processing, Siberian Federal University, astevgeniya@yandex.ru

Носкова Ольга Евгеньевна, кандидат педагогических наук, доцент, кафедра общетехнических дисциплин, Красноярский государственный аграрный университет, krasolgdadom@yandex.ru

Olga E. Noskova, PhD in Education, Associate Professor, General Technical Disciplines Department, Krasnoyarsk State Agrarian University, krasolgdadom@yandex.ru

Лыткина Светлана Игоревна, кандидат технических наук, доцент, кафедра материаловедения и технологии обработки материалов, Сибирский Федеральный университет, slytkina@sfu-kras.ru

Svetlana I. Lytkina, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Materials Science and Technology of Materials Processing, Siberian Federal University, slytkina@sfu-kras.ru

Носков Федор Михайлович, доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра материаловедения и технологии обработки материалов, Сибирский Федеральный университет, yesoono@yandex.ru

Fedor M. Noskov, ScD in Engineering, Associate Professor, Professor, Department of Materials Science and Technology of Materials Processing, Siberian Federal University, yesoono@yandex.ru

Синичкин Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра материаловедения и технологии обработки материалов, Сибирский Федеральный университет

Alexander M. Sinichkin, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Materials Science and Technology of Materials Processing, Siberian Federal University

Статья поступила в редакцию 28.09.2023. Принята к публикации 24.11.2023

The paper was submitted 28.09.2023. Accepted for publication 24.11.2023