

Аддитивные технологии и высшая школа

Н. К. Толочко,
доктор физико-математических наук, профессор,
Н. Н. Романюк,
кандидат технических наук, доцент,
П. В. Авраменко,
кандидат технических наук, доцент;
Белорусский государственный аграрный
технический университет

Аддитивные технологии по мере своего развития все более активно вторгаются в сферу высшего образования. Они являются объектом изучения в рамках подготовки специалистов в области аддитивных технологий, а также средством обучения, способствующим более эффективному преподаванию различных учебных дисциплин.

Аддитивные технологии (AM-технологии – от англ. *Additive Manufacturing*) – это обобщенное название технологий изготовления трехмерных (3D) изделий по их компьютерным моделям путем последовательного (последовательного) добавления (наращивания) материала. Иначе их называют технологиями 3D-печати.

AM-технологии позволяют изготавливать изделия, конструкция которых характеризуется сложной формой – такой, какую трудно или невозможно обеспечить с помощью традиционных технологий. В последние годы AM-технологии стали более широко применяться в экономике и обществе. Как следствие, начала ощущаться потребность в высококвалифицированных специалистах в сфере аддитивных технологий (AM-сфере). Это привело к активному вторжению AM-технологий в высшую школу, где сегодня они играют двоякую роль: с одной стороны, являются объектом изучения в рамках подготовки AM-специалистов, а с другой – средством обучения, способствующим более эффективному преподаванию различных учебных дисциплин.

Организационные аспекты обучения в сфере аддитивных технологий

Обучение в УВО в AM-сфере может осуществляться в разных организационных формах:

- 1) преподавание отдельных дисциплин по AM-тематике для студентов, обучающихся в рамках традиционных технических или иных специальностей;
- 2) обучение студентов по специальностям AM-профиля;
- 3) подготовка специалистов в AM-сфере на курсах повышения квалификации.

В большинстве УВО реализуется первая форма обучения, которую можно рассматривать как промежуточный этап, предшествующий переходу ко второй форме обучения, по мере приобретения преподавательского опыта, формирования учебно-материальной базы, возрастания потребности в AM-специалистах в регионах и отраслях.

В таблице 1 представлены примеры организации обучения в AM-сфере в УВО России (интернет-данные). Подобная ситуация с организацией вузовской подготовки AM-специалистов имеет место и в других странах (таблицы 2, 3 [1]). Особенно значительное развитие получило обучение в AM-сфере в университетах США (Университет Пенсильвании, Массачусетский технологический институт, Универ-

Таблица 1

Обучение АМ-сфере в университетах России

Название университета	Особенности обучения
Балтийский федеральный университет	Центр 3D-печати: подготовка АМ-специалистов, выполнение АМ-исследований
Воронежский государственный технический университет	СКТБ «Аддитивные технологии»: подготовка АМ-специалистов, разработка и изготовление АМ-изделий и АМ-оборудования
Московский авиационный институт (МАИ) (НИУ ¹)	Школа 3D-печати: повышение квалификации в АМ-сфере (совместно с компанией Picaso 3D)
Московский государственный технологический университет «Станкин»	Лаборатория аддитивных технологий: подготовка АМ-специалистов; разработка и изготовление АМ-изделий и АМ-оборудования
Московский государственный технический университет имени Баумана (НИУ)	Лаборатория аддитивных технологий: подготовка АМ-специалистов, выполнение АМ-исследований
НИТУ ² «МИСиС»	Подготовка АМ-специалистов, выполнение АМ-исследований
НИЯУ ³ «МИФИ»	Центр аддитивных и лазерных технологий: подготовка АМ-специалистов, изготовление АМ-изделий
Московский политехнический университет	Подготовка АМ-специалистов
Нижегородский государственный университет	Лаборатория аддитивных технологий и проектирования материалов: подготовка АМ-специалистов; разработка и изготовление АМ-оборудования
Новосибирский государственный технический университет	Научно-образовательный центр: подготовка АМ-специалистов, разработка и изготовление АМ-оборудования
Самарский НИУ	Лаборатория аддитивных технологий: АМ-специалистов, изготовление АМ-изделий
Санкт-Петербургский государственный НИУ информационных технологий, механики и оптики	Лаборатория аддитивных технологий «ФабЛаб»: подготовка АМ-специалистов
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбПУ) (НИУ)	Подготовка АМ-специалистов, повышение квалификации в АМ-сфере, изготовление АМ-изделий, разработка АМ-оборудования
Уральский федеральный университет	Инжиниринговый центр лазерных и аддитивных технологий: подготовка АМ-специалистов, изготовление АМ-изделий

¹НИУ – Национальный исследовательский университет.

²НИТУ – Национальный исследовательский технический университет.

³НИЯУ – Национальный исследовательский ядерный университет.

Таблица 2

Обучение в АМ-сфере в университетах США

Название университета	Особенности обучения
Университет Пенсильвании	Online учебный курс для магистрантов по аддитивному производству и проектированию фокусируется на том, как аддитивное производство трансформирует различные сектора экономики и общества
Массачусетский технологический институт	Два online учебных курса по аддитивному производству: краткосрочный – изучение основ 3D-печати, ознакомление с работой разных типов 3D-принтеров (FDM, SLA SLS и др.) и долгосрочный – «Аддитивное производство для инновационного проектирования и производства», посвящен различным применениям аддитивного производства
Университет Карнеги-Меллона	Учебная программа для студентов и магистрантов по аддитивному производству – обучение фундаментальным основам аддитивного производства, освоение практического опыта проектирования и изготовления изделий с использованием АМ-технологий
Университет Огайо	Учебный курс для магистрантов по компьютерному моделированию для аддитивного производства в различных секторах экономики и общества
Университет Пердью	Учебная программа по аддитивному производству направлена на то, чтобы дать студентам и работающим профессионалам базовые знания об аддитивном производстве; предлагается четыре учебных курса: «Основы аддитивного производства», «Технологии и материалы аддитивного производства», «Проектирование аддитивного производства» и «Бизнес и экономика аддитивного производства»

Таблица 3

Обучение в АМ-сфере в университетах Великобритании

Название университета	Особенности обучения
Университет Ноттингема	Учебный курс для магистрантов по аддитивному производству – изучение АМ-технологий, в том числе используемых материалов
Университет Шеффилда	Учебный курс для магистрантов по аддитивному производству – изучение АМ-технологий, в том числе используемых материалов, и особенностей их применения в машиностроении
Университет Дерби	Учебный курс для магистрантов по аддитивному производству – изучение основ проектирования и аддитивного производства, в том числе используемых материалов
Университет Центрального Ланкашира	Учебная программа для магистрантов по аддитивному производству предназначена для освоения опыта работы в области 3D-печати с практическим использованием 3D-принтеров и программного обеспечения
Университет Крэнфилда	Учебный курс для магистрантов по аддитивному производству – изучение аддитивного производства изделий из металлов, включая моделирование процессов, разработку оборудования, изучение используемых материалов; освоение практического опыта работы в рамках выполнения проектов в сотрудничестве с промышленными предприятиями

ситет Карнеги-Меллона, Университет Огайо, Университет Пердью, Университет науки и технологии Миссури, Университет Теннесси, Университет Луисвилла, Университет Делойт, Университет Колорадо и др.), где предлагаются соответствующие учебные программы и курсы в рамках бакалавриата и магистратуры [2].

Во многих УВО, проводящих обучение в АМ-сфере, создают учебно-научные подразделения, которые наряду с учебной обеспечивают и научную деятельность, связанную с совершенствованием АМ-технологий, разработкой и изготовлением АМ-изделий и АМ-оборудования. Такая совместная учебно-научная деятельность является действенным мотивационным фактором, стимулирующим повышение квалификационного уровня и студентов, и преподавателей.

Эффективность этой деятельности становится особенно значимой, если УВО осуществляют ее в сотрудничестве с научными центрами и предприятиями, специализирующимися в АМ-сфере. Например, в России в Новосибирском государственном техническом университете подготовка АМ-специалистов ведется совместно с Институтом автоматики и электрометрии, Институтом теплофизики СО РАН, а также рядом производственных предприятий; в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете подготовка АМ-специалистов ведется совместно с НТК «Маштех», изготовление АМ-изделий – совместно с ОАО «Климов» и ФГУП «ВИАМ», разработка АМ-оборудования – совместно с ГК «Росатом».

В этой связи показательным является опыт организации подготовки АМ-специалистов в США в Университете Оберн, где в рамках программы General Electric Additive Education создан Центр промышленного аддитивного производства, которому компания General Electric предоставила металлические 3D-принтеры, используемые как в учебной, так и в научно-производственной деятельности [2]. Здесь следует особо отметить, что в США сотрудничество университетов и промышленных предприятий в АМ-сфере довольно активно поддерживается правительством. Эта поддержка включает финансирование АМ-исследований, выполняемых совместно университетами и предприятиями, за счет государственных средств, стимулирование трансфера АМ-технологий от университетов к предприятиям, а также организацию университетами и предприятиями совместной подготовки АМ-специалистов, предусматривающей непосредственное ознакомление студентов с производственными предприятиями [3].

Как правило, в УВО (включая указанные в таблицах 1–3) готовят АМ-специалистов для машиностроения, поскольку АМ-технологии получили наибольшее распространение именно в машиностроении. Вместе с тем в отдельных УВО ведется подготовка специалистов по применению АМ-технологий в других

производственных и социальных сферах. Так, в России Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники готовит специалистов и выполняет исследования по применению АМ-технологий в электронике, а Казанский федеральный университет – в медицине; в США университеты Пенсильвании и Огайо готовят специалистов по применению АМ-технологий как в промышленности, так и в медицине.

Обучение в АМ-сфере ведется в УВО в основном в стационарных условиях в рамках бакалавриата или магистратуры, реже – аспирантуры, а также в рамках курсов повышения квалификации. Кроме того, возможны дистанционные и выездные формы обучения в АМ-сфере. Они рассчитаны на охват территориально удаленных аудиторий, используются для повышения квалификации сотрудников предприятий, а также для проведения работы по профориентации с целью привлечь молодежь к обучению специальностям, имеющимся в УВО, и благодаря этому обеспечить высокий конкурсный отбор.

Обычно профориентационная работа в АМ-сфере проводится университетами на основе партнерских соглашений со школами. В этой связи представляет интерес предложенная в США инициатива по реализации экспериментальной социально-ориентированной программы Агентства оборонных передовых исследовательских проектов (Defense Advanced Research Projects Agency Manufacturing Experimentation and Outreach program) [3]. Согласно этой программе, учащиеся старших классов средних школ вовлекаются в эксперименты по проектированию различных изделий и их последующему изготовлению с помощью 3D-принтеров, специально предоставленных школам.

Для дистанционного обучения в АМ-сфере широко используются возможности интернет-технологий: онлайн-лекции и онлайн-семинары, инструменты онлайн-дизайна для творческих площадок Makerspace [3].

Показательным примером выездного обучения в АМ-сфере является опыт Университета прикладных наук Аахена (Германия) по созданию мобильной АМ-лаборатории на базе двухэтажного автобуса [4]. На верхнем этаже автобуса размещены сиденье преподавателя и восемь учебных мест, оборудованных FDM-3D-принтерами и компьютерами с необходимым программным обеспечением, нижний этаж служит выставочным залом с демонстрационными деталями, полученными с помощью АМ-технологий. На каждом этаже есть конференц-зал для проведения встреч или презентаций с участием до двадцати человек. Такая АМ-лаборатория совершает регулярные поездки в школы и другие учебные заведения, на предприятия, ярмарки, конгрессы и другие публичные мероприятия.

Методические аспекты обучения в сфере аддитивных технологий

Несмотря на то, что подготовка АМ-специалистов в высшей школе получила довольно заметное развитие, до сих пор не существует общепризнанных, апробированных и готовых к применению высокоэффективных методических моделей АМ-обучения [3].

Во многих УВО, осуществляющих АМ-обучение, считают, что это обучение не следует ограничивать ознакомлением с процессами 3D-печати и работой 3D-принтеров. Оно должно быть гораздо шире. В частности, будущие АМ-специалисты должны владеть современными методами проектирования, такими как топологическая оптимизация и бионическое проектирование, с учетом возможностей АМ-технологий; знать свойства материалов, используемых для 3D-печати; уметь осуществлять их рациональный выбор для разных видов АМ-технологий; прогнозировать экономические и экологические последствия применения АМ-технологий [5].

В производственной практике АМ-технологии часто применяются в сочетании с традиционными технологиями обработки материалов. Поэтому программы АМ-обучения следует составлять таким образом, чтобы будущие АМ-специалисты могли использовать полученные знания и навыки в области аддитивного производства в традиционных производственных системах [2]. Соответственно, при формировании учебно-методической и информационной базы АМ-обучения надо уделять внимание разработке не только базовых учебников по аддитивному производству, но также специальных разделов по аддитивному производству в составе классических учебников для инженерных специальностей [3].

Одним из перспективных подходов к АМ-обучению в высшей школе является создание так называемых «фабрик обучения», когда студенты непосредственно работают на производственных предприятиях, где они разрабатывают и изготавливают с помощью АМ-технологий изделия, востребованные на рынке [3].

В разных УВО используются различные методические варианты АМ-обучения. Рассмотрим в качестве примера курс по 3D-моделированию и быстрому прототипированию, который был разработан и предложен в качестве факультативного курса для студентов всех инженерных дисциплин Университета Мерсер в США [6].

Учебный план курса включает следующие разделы:

- принципы аддитивного производства, различия между традиционными и аддитивными производственными процессами;
- современные достижения в сфере различных видов АМ-технологий;
- постобработка АМ-изделий;
- программное обеспечение аддитивного производства;

- области применения АМ-технологий, включая технику и медицину;

- перспективы использования АМ-технологий в бизнесе.

АМ-обучение ведется по проектно-ориентированной методике, согласно которой студенческим командам предлагается решать задачи по проектированию конкретных изделий, их аддитивному производству и сбыту на основе маркетинговых исследований.

Для получения практического опыта студентами, проходящими этот курс, была создана лаборатория АМ-технологий, оснащенная программным обеспечением САПР, 3D-принтерами, 3D-сканерами, станками с ЧПУ, контрольно-измерительной аппаратурой.

На лабораторных занятиях студенты проектируют и изготавливают различные по форме детали с помощью станков с ЧПУ и 3D-принтеров и делают сравнительную оценку полученных результатов, в частности, определяют размерную точность.

При выполнении лабораторных заданий в Университете Мерсер (как, впрочем, и во многих других университетах) используются сравнительно дешевые FDM-3D-принтеры, у которых материалом для печати служат пластики ABS и PLA.

Вместе с тем в ряде УВО при АМ-обучении используются и весьма дорогие 3D-принтеры (стоимостью до 500 тыс. долларов и выше). Так, в Швейцарии в Цюрихском университете прикладных наук студентам машиностроительных специальностей преподается курс по аддитивному производству, в рамках которого они выполняют практические работы на 3D-принтерах, печатающих путем селективного лазерного сплавления металлических порошков (технология Selective Laser Melting, SLM) [7]. SLM-3D-принтеры также используются при АМ-обучении в США в Техасском университете в Остине и Политехническом университете Виргинии, в Германии в Техническом университете Ахена, в Бельгии в Левенском университете, во Франции в Инженерной школе Сент-Этьена, в России в МГТУ имени Баумана, НИЯУ МИФИ, Самарском НИУ, Уральском федеральном университете и др.

Наряду с высокой стоимостью некоторых типов 3D-принтеров имеются и другие барьеры, сдерживающие развитие АМ-обучения в УВО. К ним, в частности, относятся недостаточная учебно-методическая база, а также недостаточная квалификация преподавателей. С целью преодоления этих барьеров предлагаются различные меры. Например, в США в Техасском университете в Эль-Пасо применяются методы виртуального АМ-обучения студентов, а университеты в Финляндии в рамках сотрудничества делятся друг с другом своими учебными материалами, ускоряя тем самым освоение методик АМ-обучения. Одним из эффективных путей преодоления этих барьеров является организация разработки и производства 3D-принтеров

на базе университетов, что позволит не только снизить их стоимость и повысить их доступность, но также создать мощную техническую базу для проведения как обучения, так и исследований в АМ-сфере [3].

Применение аддитивных технологий в образовательном процессе

Как отмечалось выше, АМ-технологии являются не только объектом изучения, но и средством обучения, способствующим более эффективному преподаванию различных учебных дисциплин, совершенствованию форм и методик обучения, повышению мотивации к обучению и развитию новых компетенций студентов.

АМ-технологии с учетом их широкого распространения в экономике и обществе могут быть востребованы при подготовке специалистов в самых разных производственных и социальных сферах (таблица 4) (интернет-данные).

Применение аддитивных технологий при изучении различных учебных дисциплин в основном сводится к созданию наглядных пособий в виде 3D-моделей изучаемых объектов, которые могут дать гораздо большее представление об объектах, их форме, структуре и свойствах, чем их двумерные репродукции в книгах [8]. Особенно значительный эффект обучения с применением аддитивных технологий может быть достигнут при преподавании технических дисциплин, когда студентам предоставляются возможности изучать во взаимосвязи особенности проектирования и изготовления различных технических устройств или их отдельных деталей. Так, в лаборатории ФабЛаб Университета ИТМО (Санкт-Петербург) студенты проектируют и изготавливают путем 3D-печати корпуса квадрокоптеров, в СКБ «Formula Student»

Нижегородского государственного технического университета – прототипы высокоскоростных транспортных средств, в Центре технологической поддержки образования НИТУ «МИСиС» – литейные модели и формы [10].

Студенты разных специальностей, овладевшие знаниями в области аддитивных технологий и практическими навыками применения этих технологий в своей будущей работе, смогут более успешно решать вопросы трудоустройства после окончания учебы в УВО, поскольку спрос на таких высококвалифицированных специалистов у работодателей будет выше [8].

При изучении различных учебных дисциплин в большинстве УВО обычно применяются два типа 3D-принтеров, отличающихся сравнительно малой стоимостью: FDM-3D-принтеры (печатают пластиковыми волокнами, стоят до 3 тыс. долларов) и микро-SLA-3D-принтеры (печатают фотополимерными смолами, стоят до 10 тыс. долларов) [9].

Применение аддитивных технологий обеспечивает значительный образовательный эффект не только при изучении учебных дисциплин, но и при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Аддитивные технологии в УВО Беларуси

В последние годы АМ-обучение начало довольно активно развиваться в УВО Беларуси (таблица 5 [9]). Важно отметить, что, несмотря на сравнительно короткий срок с начала развития АМ-обучения, уже в нескольких университетах ведется подготовка бакалавров по специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий». Кроме того, Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси осуществляет подготовку магистран-

Таблица 4

Применение АМ-технологий в качестве средства обучения

Направления обучения	Особенности применения АМ-технологий в образовательном процессе
Машиностроение	Создание 3D-моделей деталей машин, а также формообразующих элементов технологической оснастки и инструментов для изготовления деталей (литейные модели, литейные формы, электроды-инструменты, режущие инструменты)
Электроника	Создание 3D-моделей изделий электроники или их элементов
Архитектура и строительство	Создание 3D-макетов архитектурных ландшафтов и строительных сооружений
Легкая промышленность	Создание 3D-моделей обуви или ее элементов (обувные колодки, подошвы, каблуки, стельки), экстраординарных по форме 3D-образцов обуви и одежды высокой моды
Индустрия питания	Создание 3D-моделей пищевых блюд, в частности, кондитерских изделий в специальном скульптурном исполнении
Медицина	Создание 3D-моделей частей человеческого тела при анатомическом моделировании, хирургическом планировании, протезировании, а также объемных структур биологических тканей
Математика	Создание 3D-моделей геометрических тел
Химия и биология	Создание 3D-моделей атомов, молекул (в частности, цепочек ДНК), биологических клеток
География	Создание 3D-макетов географических ландшафтов
Геология	Создание 3D-моделей геологических объектов
Археология	Создание 3D-моделей археологических находок и древних ископаемых, 3D-копий археологических коллекций
История	Создание 3D-моделей исторических артефактов, 3D-копий музейных объектов
Искусство	Создание скульптур и 3D-элементов диорам, 3D-образцов художественной керамики, сувенирной продукции

Обучение в АМ-сфере в университетах Беларуси

Название университета	Особенности обучения
Белорусский государственный университет	Центр научного творчества ФабЛаб: освоение студентами практических навыков 3D-печати
Белорусский государственный технологический университет	Подготовка АМ-специалистов (специальность 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»)
Белорусский национальный технический университет	Участие студентов в разработке и создании 3D-принтеров
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники	Освоение студентами практических навыков 3D-печати изделий, разрабатываемых по графическим заданиям на кафедре инженерной графики
Белорусско-Российский университет	Лаборатория «Аддитивные технологии»: подготовка АМ-специалистов (специальность 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»)
Брестский государственный технический университет	Обучение студентов основам АМ-технологий, выполнение АМ-исследований
Гомельский государственный технический университет	Подготовка АМ-специалистов (специальность 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»)
Витебский государственный технологический университет	Учебно-научно-производственная лаборатория аддитивных технологий: подготовка АМ-специалистов (специальность 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»), научная и производственная деятельность в АМ-сфере
Полоцкий государственный университет	Лаборатория компьютерного моделирования и быстрого прототипирования: подготовка АМ-специалистов (специальность 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»)

тов по специальности 1-31 80 18 «Аддитивные технологии».

В большинстве УВО Беларуси для АМ-обучения используются в основном FDM-3D-принтеры. И только в Белорусско-Российском университете при подготовке АМ-специалистов для машиностроения применяется SLM-3D-принтер.

Список использованных источников

1. *Jamie, D.* TOP 10 3D Printing & Additive Manufacturing University Degrees. 2019 [Электронный ресурс] / D. Jamie. – Режим доступа: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-uni-degrees-201120174/>. – Дата доступа: 06.06.2020.
2. *Alabi, M. O.* Framework for Effective Additive Manufacturing Education at South African Universities. PhD Thesis / M. O. Alabi. – North-West University, 2019. – 272 pp.
3. *Huang, Y.* Frontiers of Additive Manufacturing Research and Education. Report of NSF Add. Manuf. Workshop, July, 2013 / Y. Huang, M. C. Leu. – University of Florida, 2014. – 26 pp.
4. Education Packed in Technology to Promote Innovations: Teaching Additive Manufacturing Based on a Rolling Lab / L. K. Thurn [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2017, 137, 02013.

5. *Williams, C. B.* Design for Additive Manufacturing Curriculum: A Problem- and Project-based Approach / C. B. Williams, C. C. Seepersad // Proc. 23rd Ann. Int. Solid Freeform Fabrication Symp. (SFF 2012). Austin, TX, 2012. – P. 81–92.

6. *Radharamanan, R.* Additive Manufacturing in Manufacturing Education: A New Course Development and Implementation / R. Radharamanan // Proc. ASEE2017. – Paper ID #20377. – 15 pp.

7. *Kirchheim, A.* Why Education and Training in the Field of Additive Manufacturing is a Necessity. The Right Way to Teach Students and Professionals / A. Kirchheim, H.-J. Dennig, L. Zumofen // Springer Int. Publishing AG 2018. Industrializing Additive Manufacturing – Proc. AMPA2017. – 9 pp.

8. *Заседатель, В. С.* Образовательный потенциал технологий быстрого прототипирования / В. С. Заседатель // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, № 5. – 14 с.

9. *Липницкий, Л. А.* Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процессе / Л. А. Липницкий, Т. В. Пильгун // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018. – № 3. – С. 76–82.

10. 3D-технологии в российском образовании. Блиц-опрос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dpulse.ru/news/intervyu/3d-tehnologii-v-rossiiskom-obrazovanii-blits-opros-chast-2/>. – Дата доступа: 06.06.2020.

Аннотация

В статье раскрывается двоякая роль аддитивных технологий в образовательном процессе университетов – как объекта изучения и как средства обучения. Выполнен анализ организационных и методических аспектов подготовки специалистов в сфере аддитивных технологий, а также возможностей использования аддитивных технологий для более эффективного преподавания различных учебных дисциплин. Кратко рассмотрены особенности обучения аддитивным технологиям в университетах Беларуси.

Abstract

The article considers the dual role of additive technologies in the educational process of universities – as an object of study and as a means of learning. The analysis of organizational and methodological aspects of training specialists in the field of additive technologies, as well as the possibilities of using additive technologies for more effective teaching of various academic disciplines is carried out. Briefly discussed are the features of teaching additive technologies in Belarusian universities.