

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА СТУДЕНТОВ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

**О.В. Жуйкова, Э.Р. Ахмедзянов**

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия*

Аддитивные технологии в последние годы активно внедряются в различные сферы современной жизни. В статье показана необходимость развития у студентов инновационного мышления и роль в этом аддитивных технологий. Рассмотрены возможности применения аддитивных технологий при подготовке студентов архитектурно-строительных направлений подготовки по дисциплинам «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» в Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова. Представлены образцы модельного фонда кафедры «Инженерная графика и технология рекламы», изготовленные с помощью печати на FDM-принтере, которые способствуют повышению наглядности изучаемого предмета и развитию пространственного мышления у студентов. Для разработки трехмерных моделей применялись системы автоматизированного проектирования (КОМПАС-3D, SolidWorks).

*Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, FDM-технология, начертательная геометрия, инженерная графика, архитектурно-строительное направление подготовки.*

Широкое распространение информационных и коммуникационных технологий во всех сферах современной жизни требует внесения соответствующих изменений в процесс подготовки специалистов технических направлений. Постоянно возникают различные технологические новинки и научные инновации, своевременное внедрение которых в учебный процесс позволяет изучить новые способы проектирования и развить инновационное мышление. Развитию навыков профессионального мышления в архитектурно-строительной сфере деятельности способствуют системы компьютерного моделирования и визуализации на основе систем автоматизированного проектирования. Одной из актуальных тенденций проектирования и визуализации объектов материального мира является использование аддитивных технологий (от англ. Additive Technologies). В таблице приведены различные определения понятия «аддитивные технологии».

Таким образом, понятие аддитивные технологии состоит из следующих смысловых единиц: изготовление, класс процессов, создание объекта из данных модели, межотраслевые технологии, послойное нанесение материала, процесс объединения материала, добавление материала, цифровая модель, создание объектов из данных 3D-моделей, CAD-модель, преобразование данных, поступающих из CAD-системы.

Возникновение технологий послойного изготовления на основе трехмерной модели относится к середине 80-х годов прошлого века. Данные методы существенно отличаются от традиционного подхода к изготовлению изделия, основанного на

удалении слоя материала заготовки путем механической обработки. Большинство подобных технологий (SLA (Stereo Lithography), SGC (Solid Ground Curing), SLS (Selective Laser Sintering), LOM (Laminated Object Manufacturing), DSPC (Direct Shell Production Casting), MJM (Multi-Jet Modeling) [2]) требуют применения дорогостоящего оборудования и применяются только в промышленности. Сырьем для изготовления могут служить пластик, бумага, керамические или металлические порошки и их связки различными способами (термическим, диффузионным, клеевым).

Лишь относительно недавно аддитивные технологии стали доступны широкой общественности в связи с распространением технологии FDM (англ. Fused Deposition Modeling) – послойной печати расплавленной полимерной нитью, которая может применяться для получения единичных изделий, приближенных по своим функциональным возможностям к серийным. Стоимость устройств FDM-печати, более известных сейчас как 3D-принтеры, снизилась до уровня, приемлемого для широкого использования в учебных заведениях и домашних условиях. Достаточно высокий уровень качества и производительности можно получить в устройствах стоимостью от 15 тыс. руб. С ростом цены устройства возможно увеличение производительности и расширение функциональных возможностей (например, использование двух и более материалов). Расходные материалы для данной технологии (пластики ABS, PLA, PETG, TPU, Nylon и др.) весьма разнообразны по функциональным возможностям и позволяют получить требуемые эксплуатационные характеристики из-

## Инженерная геометрия и компьютерная графика

делия. Их стоимость находится в приемлемых рамках и составляет 1–2 тыс. руб. за 1 кг.

В связи с ростом доступности описанной технологии становится актуальным вопрос ее применения в образовательном процессе [6–9]. Рассмотрим основные возможности, предоставляемые аддитивными технологиями при подготовке студентов архитектурно-строительных направлений подготовки по дисциплинам «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» в Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова.

Одной из основных целей освоения курса «Начертательная геометрия» является формирование у обучающихся образно-пространственного мышления. Способность мыслить пространственными образами, возникшая как необходимость ориентации среди объектов материального мира, служит средством познания разнообразных предметов и явлений, а также является необходимым условием развития творческих способностей. Сформированное пространственное мышление становится базой развития специальных способностей и предпосылкой успешного овладения научно-технической деятельностью в целом и профессиональным мышлением в архитектурной деятельности в частности.

Развитие пространственного мышления у многих современных студентов вызывает комплекс психолого-педагогических проблем, связанных с развитием образной составляющей интеллекта. Наиболее эффективным путем решения описанных проблем является повышение наглядности представляемого материала. Существенным шагом в данном направлении является внедрение в учебный процесс компьютерного пре-

зентационного оборудования, позволяющего с высоким качеством демонстрировать аудитории порядок выполнения геометрических построений и их результат.

Для части обучаемых, которым необходимо видеть материальную реализацию рассматриваемых в задачах абстрактных геометрических объектов, оценить их форму и геометрические особенности до начала выполнения собственных графических построений, повышению наглядности представления способствует использование трехмерных моделей исходных условий задач, подлежащих построению на аудиторных занятиях и полученных с применением аддитивных технологий. Совокупность таких моделей образует модельный фонд дисциплины. Для разработки трехмерных моделей применяются системы автоматизированного проектирования (КОМПАС-3D, SolidWorks). Оборудовать аудиторию необходимыми для обучения образцами и макетами, подготовленными путем печати на FDM-принтере, можно за короткий срок при минимальных затратах.

Список тем курса «Начертательная геометрия», в которых могут эффективно использоваться макеты, сформированные с помощью технологии 3D-печати, достаточно обширен:

- проецирование точки, прямой, плоскости;
- поверхности;
- нахождение проекций точек и линий на плоскостях и поверхностях;
- позиционные задачи:
  - построение проекций фигур с вырезами;
  - пересечение прямой с поверхностью;
  - пересечение поверхностей вращения.

К сожалению, есть и такие темы курса, которые ввиду сложности выполняемых построений не

### Понятие «аддитивные технологии»

№	Определение	Автор
1	Аддитивные технологии предполагают изготовление (построение) физического объекта (детали) методом послойного нанесения (добавления, англ. – «add») материала, в отличие от традиционных методов формирования детали за счёт удаления (subtraction – вычитание) материала из массива заготовки	М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш [4]
2	Аддитивные технологии – класс процессов, которые автоматически создают сложные трехмерные физические объекты без инструментального их изготовления, путем преобразования данных, поступающих из CAD-системы	В.А. Валетов [2]
3	Аддитивные технологии (от английского Additive Fabrication) – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или CAD-модели) методом послойного добавления (add, англ. – добавлять, отсюда и название) материала	М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина [5]
4	Аддитивные технологии – процесс объединения материала с целью создания объекта из данных модели, как правило, слой за слоем, в отличие от «вычитающих» производственных технологий	ASTM F2792-12a (American Society for Testing and Materials) 2012 [1]
5	Аддитивные технологии – это межатраслевые технологии получения трехмерных материальных объектов из цифровой модели путем послойного нанесения материала	В.А. Дресвянников, Е.П. Страхов [3]
6	Аддитивные технологии – это соединение материалов для создания объектов из данных 3D-моделей слой за слоем. Этим они отличаются от обычных субтрактивных технологий производства, подразумевающих механическую обработку – удаление вещества из заготовки	А.В. Уланов, И.И. Юров [10]



Рис. 1. Примеры макетов для занятий по начертательной геометрии



Рис. 2. Примеры сборных макетов для занятий по начертательной геометрии

поддаются реализации в виде модели на текущем этапе развития применяемой технологии.

Модели пространственных тел в большинстве случаев печатаются целиком без применения поддерживающих структур, что способствует повышению технологичности изготовления и качества. При формировании моделей, связанных с проектированием точек, прямых и плоскостей, а также направленные на демонстрацию применения методов решения ряда задач, целесообразно выполнять сборные макеты из отдельных элементов, соединяемых с помощью клея или штифтов.

На кафедре «Инженерная графика и технология рекламы» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова работы по формированию описанного модельного фонда в целом завершены. Типичные размеры моделей, включающих плоскости проекций, – 100 мм, моделей пространственных тел – 70–80 мм. При необходимости в ходе подготовки к печати размер модели может быть легко изменен в программе-слайсере (применялись Cura и Repetier-Host). На рис. 1 и 2 приведены примеры образцов модельного фонда дисциплины «Начертательная геометрия», выполненные как единое целое, и сборные макеты.

Подход, основанный на использовании модельного фонда, созданного с помощью технологии 3D-печати, применим и на начальном этапе

изучения «Инженерной графики». Цельные и разборные макеты деталей и сборочных единиц улучшают понимание следующих тем:

- построение изображений: виды, разрезы, сечения;
- виды соединений;
- чертеж детали;
- сборочный чертеж;
- элементы строительных конструкций.

Примеры образцов макетов по дисциплине «Инженерная графика» приведены на рис. 3 и 4.

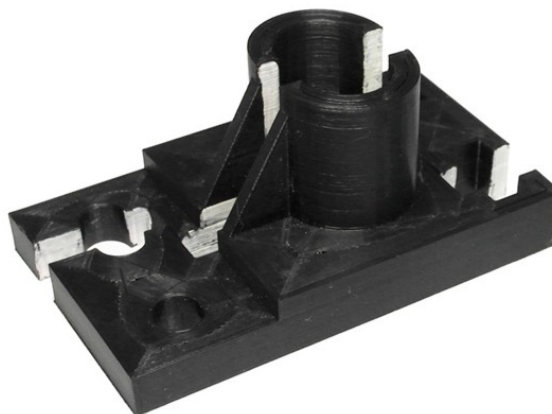


Рис. 3. Пример макета детали с иллюстрацией сложного ступенчатого разреза



Рис. 4. Макеты по теме «Виды соединений»

В настоящее время процесс формирования профессиональных компетенций студентами часто заканчивается после освоения теоретического курса и решения базовых задач проектирования, без практического применения полученных знаний. При изучении инженерной графики все в большем объеме применяется компьютерная графика, позволяющая автоматизировать выполнение и повысить качество чертежей, а также разработать трехмерную модель проектируемого объекта. Большинство вузов используют программные продукты отечественной и зарубежной разработки, направленные на решение описанных задач, такие как КОМПАС-3D, AutoCAD, ArchiCAD, SolidWorks и др. Полученная в результате выполнения задания трехмерная модель значительно повышает наглядность итогового построения. Однако создание прототипа проектируемого объекта является задачей, недоступной для большинства обучающихся. Применение 3D-печати на основе FDM-технологии позволяет во многом решить эту проблему. К сожалению, относительно низкая скорость печати и малая распространенность данной техники в совокупности с некоторыми имеющимися техническими ограничениями пока не позволяют внедрить технологии прототипирования в учебный процесс начальных курсов обучения в полном объеме, когда каждый студент будет иметь возможность разработать и реализовать разрабатываемый объект «в материале».

Возможность создания макета реального объекта в большей степени важна при курсовом проектировании, когда необходимо реализовать творческий подход, начиная от первоначальной идеи, через нахождение решения, к реализации готового продукта. На текущем этапе технического оснащения более рациональной является следующая схема: в качестве поощрения студентам, первым выполнившим задание в полном объеме, предоставляется возможность реализовать свой проект путем 3D-печати на FDM-принтере в качестве руководителя. Остальные студенты группы имеют возможность принять участие в его изготовлении путем формирования моделей и изготовления отдельных элементов конструкции. Построенный в результате проектирования объект может в дальнейшем использоваться в учебном процессе в качестве образца (рис. 5).



Рис. 5. Составной макет здания

Аддитивные технологии в виде FDM-печати могут быть легко освоены студентами, имеющими навыки 3D-моделирования в системах автоматизированного проектирования. Для этого не требуется специальная подготовка, они достаточно безопасны, имеется широкий выбор соответствующего программного обеспечения, большая часть которого является бесплатным и легка в освоении. В результате университет, взявший на вооружение данные технологии, сможет готовить специалистов, способных выполнять реальные задачи, и тем самым повысить свой престиж. Также это сможет повысить творческие способности обучаемых и научить внедрять их проекты в реальную жизнь.

### Литература

1. ASTM F2792-12a (American Society for Testing and Materials) 2012
2. Валетов, В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учебное пособие / В.А. Валетов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
3. Дресвянников, В.А. Аддитивные технологии как технологическая инновация: понятие, содержание, анализ развития / В.А. Дресвянников, Е.П. Страхов // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2018. – № 1. – URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2018/01/15666> (дата обращения: 07.02.2019)
4. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров /

М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

5. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. – 22 с.

6. Лейбов, А.М. Применение технологий 3D-прототипирования в образовательном процессе / А.М. Лейбов, Р.В. Каменев, О.М. Осокина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 93.

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

8. Технологии 3D-печати. – URL: [https://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology/](https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/) (дата обращения 01.02.2019)

9. Трухина, Н.В. Организационные и методические проблемы внедрения 3D-принтеров в учебный процесс / Н.В. Трухина, Б.В. Гаврилюк. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnye-i-metodicheskie-problemy-vnedreniya-3d-printerov-v-uchebnyu-protsess> (дата обращения 01.02.2019)

10. Уланов, А.В. Современные инновационные разработки в цифровом производстве. аддитивные технологии / А.В. Уланов, И.И. Юров // Международный школьный научный вестник. – 2017. – № 1. – С. 96–102. – URL: <http://school-herald.ru/ru/article/view?id=147> (дата обращения: 17.03.2019)

**Жуйкова Ольга Викторовна**, кандидат педагогических наук, Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, заведующий кафедрой «Инженерная графика и технология рекламы» (Ижевск), [zhuykovaolga2012@mail.ru](mailto:zhuykovaolga2012@mail.ru)

**Ахмедзянов Эдуард Ронисович**, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, доцент кафедры «Инженерная графика и технология рекламы» (Ижевск), [akhmedzianov@gmail.com](mailto:akhmedzianov@gmail.com)

Поступила в редакцию 30 мая 2019 г.

DOI: 10.14529/build190308

## ADDITIVE TECHNOLOGIES AS A MEANS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF EDUCATIONAL PROCESS FOR ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION STUDENTS

**O.V. Zhuykova**, [zhuykovaolga2012@mail.ru](mailto:zhuykovaolga2012@mail.ru)

**E.R. Akhmedzyanov**, [akhmedzianov@gmail.com](mailto:akhmedzianov@gmail.com)

*Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation*

Recently, additive technologies have been actively introduced into various spheres of modern life. The paper highlights the need to develop students' innovative thinking and shows how additive technologies can be used for that. It considers the possibilities for using additive technologies in teaching Descriptive Geometry and Engineering Graphics courses for the Architecture and Construction students at M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University. The paper also presents models printed with the use of FDM printer at the Department of Engineering Graphics and Advertising Technology, which contribute to increasing the visualization of the course content and developing students' spatial thinking. Computer-aided design systems (KOMPAS-3D, SolidWorks) were used to develop three-dimensional models.

*Keywords: additive technologies, 3D printing, FDM technology, descriptive geometry, engineering graphics, Architecture and Construction program.*

### References

1. *ASTM F2792-12a* [American Society for Testing and Materials], 2012.
2. Valetov V.A. *Additivnyye tekhnologii (sostoyaniye i perspektivy)* [Additive Technologies (Current State and Prospects)]. Schoolbook]. St. Petersburg, ITMO Publ., 2015.63 p.
3. Dresvyannikov V.A., Strakhov E.P. [Additive Technologies as a Technological Innovation: Concept, Content, Development Analysis]. *Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tekhnologiy* [Electronic Scientific & Practical Journal "Economics and Innovations Management"], 2018, no. 1(76). Available at: <http://ekonomika.snauka.ru/2018/01/15666> (accessed: 07.02.2019)

4. Zlenko M.A., Nagaytsev M.V., Dovbysh V.M. *Additivnyye tekhnologii v mashinostroyenii: posobiye dlya inzhenerov* [Additive Technologies in Engineering: a Handbook for Engineers]. Moscow, NAMI Publ., 2015. 220 p.
5. Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutyulina I.N. *Additivnyye tekhnologii v mashinostroyenii* [Additive Technologies in Engineering]. St. Petersburg, SPbGPU Publ., 2013. 22 p.
6. Leybov A.M., Kamenev R.V., Osokina O.M. [The Use of 3D-Prototyping Technologies in the Educational Process]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems in Science and Education], 2014, no. 5, pp. 93–94. (in Russ.).
7. Lipnitski L.A., Pilgun T.V. [Additive Technologies and their Perspectives in Education. *Sistemnyy analiz i prikladnaya informatika*. [System Analysis and Informatics], 2018, no. 3, pp. 76–82.(in Russ.).
8. *Tekhnologii 3D-pechati* [3D Printing Technology]. Available at: [https://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology/](https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/) (accessed: 01.02.2019).
9. Trukhina N.V., Gavrilyuk B.V. [Organizational and Methodological Problems of Introducing 3D Printers in the Educational Process]. *Teoriya i metodika professional'nogo obrazovaniya* [Theory and Methods of Professional Education], 2018, no. 1(38), pp. 135–143. (in Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnye-i-metodicheskie-problemy-vnedreniya-3d-printerov-v-uchebnyy-protsess> (accessed: 01.02.2019).
10. Ulanov A.V., Yurov I.I. [Modern Innovative Developments in Digital Production. Additive Technologies]. *Mezhdunarodnyy shkol'nyy nauchnyy vestnik* [International Scientific School Bulletin], 2017, no. 1, pp. 96–102. (in Russ.). Available at: <http://school-herald.ru/ru/article/view?id=147> (accessed: 17.03.2019).

*Received 30 May 2019*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Жуйкова, О.В. Аддитивные технологии как средство повышения эффективности учебного процесса студентов архитектурно-строительных направлений подготовки / О.В. Жуйкова, Э.Р. Ахмедзянов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 55–60. DOI: 10.14529/build190308

### FOR CITATION

Zhuykova O.V., Akhmedzyanov E.R. Additive Technologies as a Means of Improving the Efficiency of Educational Process for Architecture and Construction Students. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2019, vol. 19, no. 3, pp. 55–60. (in Russ.). DOI: 10.14529/build190308