

УДК 514.18 (043.2)

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ 3D-ПЕЧАТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ**

**Бощенко Т.В., Чепур П.В.**

*«Тюменский государственный нефтегазовый университет» (Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38); boschenko@tsogu.ru, chepur@me.com.*

Рассмотрены перспективы технологии интеллектуального проектирования и прототипирования с использованием 3D-принтеров. Представлены основные технологии 3D-печати, разработанные и внедренные в производство в настоящий момент. Описан опыт организации образовательной деятельности в вузе по подготовке студентов к олимпиадам по трёхмерному моделированию и прототипированию. Сформулированы требования к осуществлению прототипирования, позволяющие получить положительный эффект от внедрения технологии в производство. Представлены результаты деятельности по подготовке студентов вуза к олимпиаде. Установлено, что предлагаемые подходы к подготовке студентов позволили получить наивысший результат во Всероссийском конкурсе в г. Новосибирске при выполнении задания по прототипированию подставки для сотового телефона и изготовлению изделия на 3D-принтере по SLS-технологии – селективного лазерного спекания. Сделаны выводы о возможностях и перспективах развития этого направления в промышленности в масштабах всей страны.

Ключевые слова: 3D-прототипирование, 3D-печать, 3D-принтер, моделирование, трехмерное моделирование.

## **EXPERIENCE INTRODUCTION OF TECHNOLOGY PRODUCTS BASED ON PROTOTYPING 3D PRINTING IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

**Boshhenko T.V., Chepur P.V.**

*«Tyumen State Oil and Gas University» (Russia, Tyumen, Volodarskogo St. 38); chepur@me.com, a.a.tarasenko@gmail.com.*

The prospects of intelligent technology design and prototyping with 3D printers. The main 3D printing technology, developed and implemented in production at the moment. The experience of the organization of educational activities in high school to prepare students for the Olympics in three-dimensional modeling and prototyping. The requirements to implement the prototype, you always get the positive effects of the introduction of technology into production. The results of the preparatory activities for the students of the university for the olympics. It was found that the proposed approaches to the training of students allowed to get the highest score in the All-Russian competition in Novosibirsk in the quest for prototyping Stand for Cell Phone and manufacture products on a 3D printer technology for SLS - Selective Laser Sintering. Conclusions about the possibilities and prospects of development of this direction in the industry across the country.

Keywords: 3D, prototyping, 3D printing, 3D printer, modeling, three-dimensional modeling.

Модель инновационного развития экономики РФ, принятая руководством страны как единственно возможная для сокращения технологического отставания от стран Запада, подразумевает внедрение совершенно новых подходов в образовательный процесс подготовки кадров высшей квалификации. Современные тенденции в промышленности и производстве, связанные с повышением качества изделий, выходящих на конкурентный рынок, увеличением скорости реализации этапов технологической цепочки «проект – образец – изделие», свидетельствуют о необходимости максимальной автоматизации как процессов проектирования, так и изготовления продукции. Одним из таких способов, позволяющих значительно повысить производительность труда, является внедрение интеллектуальных

технологий трёхмерного моделирования и дальнейшего прототипирования изделий с использованием технологии 3D-печати.

Прототипирование – это быстрая «черновая» реализация базовой функциональности для анализа работы изделия в целом. После этапа прототипирования обязательно следуют этапы пересмотра структуры изделия, оптимизации формы и физико-механических характеристик, разработки, реализации и тестирования конечного продукта. Этап прототипирования, по мнению многих специалистов, является наиболее сложным и ответственным при разработке изделия. На этапе прототипирования малыми усилиями создается работающая система, где видна детальная картина устройства объекта с отражением его полной функциональности. Поскольку технологии трехмерного моделирования и изготовления опытных образцов нашли широкий спрос в машиностроении, приборостроении и во многих других областях, необходимо обеспечить условия для подготовки специалистов в этой сфере по самым современным и эффективным образовательным программам [1–2; 4]. Это позволит выпускникам инженерных специальностей занять лидирующие позиции на наукоёмком рынке, на котором ещё имеются не занятые ниши, однако нужно заметить, что конкуренция стремительно нарастает.

Компании, занимающиеся выпуском готовых изделий, заинтересованно относятся к прототипированию и 3D-проектированию, для них это реальный способ снизить риски, повысить качество выпускаемого изделия. Для получения положительного результата от внедрения прототипирования необходимо, чтобы оно удовлетворяло следующим потребностям.

1. Автоматизировало типовые решения и рутинные операции, освобождая время для конструирования, проработки идей и воплощения новшеств.
2. Позволяло создавать интерактивные, детализированные прототипы, доступные всем участникам проекта с возможностью оперативно вносить изменения.
3. Обеспечивало рост эффективности производства и снижение затрат по выпуску готового изделия.
4. Помогало инновационным компаниям побеждать в борьбе за первенство выхода на рынок.

Опыт использования различных программных комплексов, 3D-принтеров показал, что с помощью 3D-прототипирования возможна проверка будущего изделия на соответствие эталонам геометрической формы, размеров, функционала, цвета (и даже прочностных свойств [5–8]) до начала полномасштабного производства. Многоэтапная оптимизация моделей изделия позволяет выполнять разработку продукта с учетом эргономики и высокой функциональности объектов и механизмов. Использование 3D-печати позволяет ускорить процесс проектирования нового изделия. Прототипирование изделий используется при

экспериментальном, единичном и мелкосерийном производстве. Китайские коллеги уже предложили оборудование промышленной 3D-печати каркасов малоэтажных зданий из специальных пластиков, заполняемых в дальнейшем различными экологичными наполнителями. Несомненно, что повышение скорости и точности печати, расширение номенклатуры оборудования позволит внедрять технологию в масштабное серийное производство. Однако для этого, несомненно, требуется проведение широких научных исследований для развития технологии. Далее представлены основные технологии 3D-печати, разработанные и внедренные в производство в настоящий момент [10].

1. *Лазерная стереолитография* – послойное наращивание трехмерных объектов из жидкой фотополимерной смолы, затвердевающей под действием лазерного луча.
2. *Селективное лазерное спекание* – лазер высокой мощности используется для спекания небольших частиц пластика, керамики, стекольной муки или металла в трехмерную структуру.
3. *Электронно-лучевая плавка* – метод аддитивного производства, схожий с селективным лазерным спеканием (SLS), но использующий вместо лазера луч высокоэнергетических электронов.
4. *Моделирование методом наплавления* – технология 3D-печати, в которой создание объекта происходит за счет расплавленного пластика.
5. *Способ ламинирования* – послойное формирование объекта путем склеивания слоев материала, которые обрезаются ножом или лазером.
6. *Полиструйная технология* – 3D-принтеры выпускают струи жидкого фотополимера, который образует слои на модельном лотке и мгновенно фиксируется ультрафиолетовым излучением.
7. *Послойное распределение клеящего вещества по гипсовому порошку* – порошковый метод производства, аналогичный SLS, но вместо спекания или плавления порошка используется связующее вещество (клей), которое вводится в порошок.
8. *Моделирование методом напыления с последующим фрезерованием слоя* – построение высокоточной модели с абсолютно гладкой поверхностью за счет механически движущейся головки.
9. *3D-печать с проклейкой бумажных листов* – недавно появившаяся технология, которая позволяет печатать изделия из обычной бумаги формата А4. Резец из твердосплавной стали вырезает каждый слой будущей модели из листа бумаги. Затем слои проклеиваются обычным канцелярским клеем на водной основе.
10. *Контурное изготовление* – это строительная технология, устройство для печати больше похоже на козловой кран. Вместо многотонного крюка устройство имеет распыляющую

бетонную смесь головку со встроенными пневматическими формователями поверхностей. Мгновенно застывающий бетонный раствор слой за слоем наносится на основу дома.

Поскольку научный прогресс продолжает свое движение вперед, этот список технологий 3D-печати пополняется стремительными темпами.

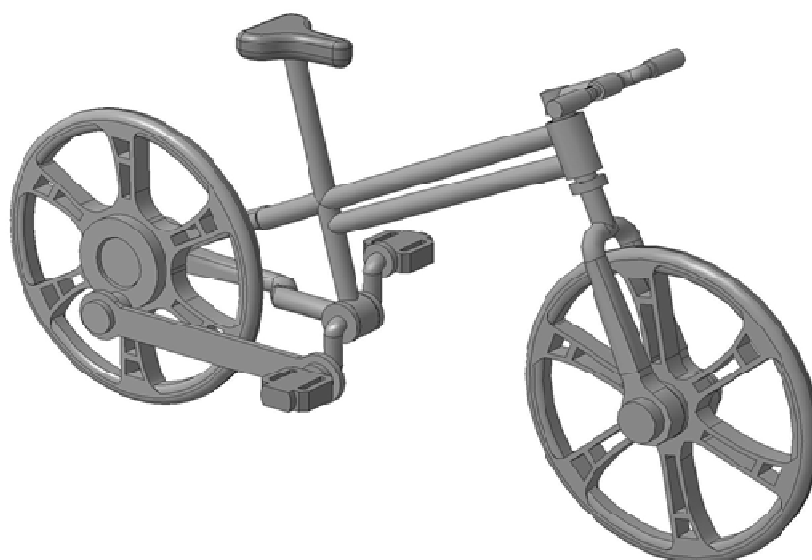
Рассматривая опыт и достижения авторов данной статьи, отметим, что нами была собрана команда из талантливых студентов и проведено интенсивное обучение навыкам прототипирования [9]. Поскольку основные знания в области 3D-моделирования (с использованием программных комплексов AutoCAD, Компас), а также начертательной геометрии и инженерной графики были получены студентами из базовых курсов Тюменского государственного нефтегазового университета [3], была проведена только усиленная подготовка к овладению новыми специальными навыками.

В начале апреля 2015 г. в Новосибирске на базе НГТУ состоялась Всероссийская студенческая олимпиада с международным участием на базе кафедры инженерной графики. Активное участие в олимпиаде принимала компания PROTOTYPSTER, предложившая онлайн-сервис 3D-печати. Участвовало 14 команд, в т.ч. одна команда от нашего вуза в составе 3 человек. В номинации «Прототипирование» участники конкурса создают прототип изделия по предложенному заданию и выполняют 3D-модель с соблюдением требований 3D-печати. После проверки заданий и подведения итогов с выставлением баллов лучшие три работы были выполнены на 3D-принтере в Академическом городке Новосибирска в центре прототипирования компании PROTOTYPSTER и впоследствии подарены победителям.

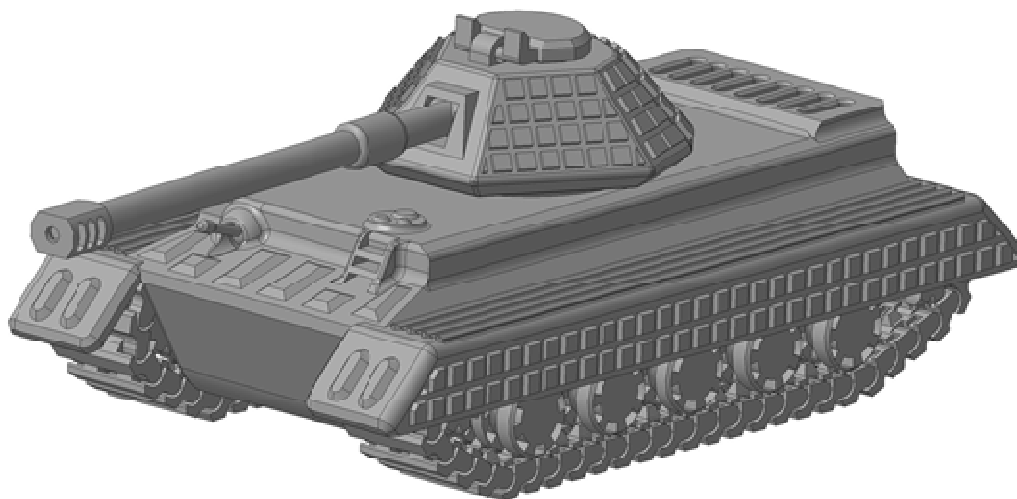
В процессе подготовки к олимпиаде были выполнены различные изделия, имеющие сложную геометрию, детали которых имеют различные кинематические пары с вращательными и поступательными движениями. Моделировались следующие объекты: двухколесный и трехколесный велосипеды, самокат, танк (рис. 1–3). Были проработаны такие элементы, как колеса, рулевое управление, педально-колесный привод велосипеда, гусеницы танка и т.д.



*Рис. 1. 3D-модель самоката*



*Рис. 2. 3D-модель двухколёсного велосипеда*

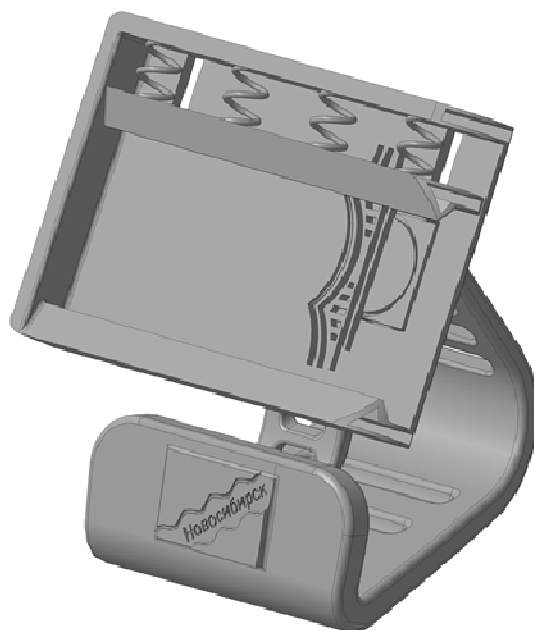


*Рис. 3. 3D-модель танка*

В полученном на олимпиаде задании необходимо было спроектировать и выполнить 3D-модель прототипа универсальной подставки для сотового телефона. Подставка должна иметь регулировку под разные габариты телефонов и иметь два угловых положения. В конструкции подставки должна быть использована символика Новосибирска. Были оговорены габаритные размеры модели – 150 мм, минимальный размер элемента модели – не менее 0,8 мм, минимальный зазор между деталями и сопрягаемыми движущимися элементами – не менее 0,5 мм. Объем использованного материала не должен превышать 120 см<sup>3</sup>. В оценке работы учитывалось:

- соответствие заданию и прототипу;
- моделирование и детальная проработка элементов;
- дизайн изделия.

Поскольку такое задание на олимпиадах было представлено впервые, оно вызвало много технических вопросов. Но команда ТюмГНГУ неоднократно выступала в номинации «Моделирование сборочных единиц» и выполнила задание на высочайшем уровне. Модель подставки для телефона, разработанная в программном комплексе Solid Edge, представленная на рис. 4, получила наивысшие баллы жюри. Имеющийся многолетний опыт, а также нацеленная на высший результат подготовка позволили нам занять первое место в конкурсе.



*Рис. 4. 3D-модель подставки для сотового телефона*

В соответствии с условиями конкурса нам была предоставлена возможность распечатать разработанную модель подставки на 3D-принтере компании PROTOTYPSTER, реализующем технологию SLS – селективного лазерного спекания.



*Рис. 5. Фото изготовленной на 3D-принтере (технология SLS) подставки для сотового телефона по трехмерной модели, разработанной в программе SolidEdge*

Полученный опыт работы в области 3D-моделирования и прототипирования позволяет сделать вывод о том, что данное направление является перспективным для дальнейшего развития и требует максимального включения научных организаций. Установлено, что высочайшая скорость развития 3D-технологий, вовлечение в реальное производство обязывает нас принять участие в «гонке». Уже не нужно доказывать, что прототипирование на основе компьютерных 3D-моделей – критическая технология, неотъемлемая часть будущей

военной и гражданской промышленности. Поэтому важнейшей задачей на ближайшие годы является сократить технологическое отставание в этой сфере от западных стран и начать собственное развитие отрасли на основе уже имеющихся разработок.

### Список литературы

1. Бощенко Т.В., Жуков А.А., Именовский Д.Ю., Кононенко А.С. Образовательные проекты в области 3D-моделирования и прототипирования изделий // Механика и процессы управления : сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции / под ред. О.А. Новосёлова. - Тюмень, 2015. - С. 10-13.
2. Бощенко Т.В., Репина Н.В., Помигалова Т.Е. Решение задач начертательной геометрии средствами трехмерного моделирования // Современные тенденции и перспективы развития графических и компьютерных технологий в образовании, дизайн-проектировании и нефтегазовой отрасли : сб. материалов регионального научно-методического семинара / Тюменский государственный нефтегазовый университет. - Тюмень, 2005. - С. 13-14.
3. Бощенко Т.В., Плесовских В.В. Моделирование сборочных единиц в системах автоматизированного проектирования // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных / отв. ред. В.И. Бауэр. - 2012. - С. 95-97.
4. Бощенко Т.В., Фокина Н.И. Образовательное сопровождение одаренных студентов в условиях инновационного образования // Геометрия и графика. - 2013. - Т. 1. - № 3-4. - С. 21-25.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А. Численное моделирование процесса деформирования резервуара при развитии неравномерных осадок // Нефтяное хозяйство. - 2015. - № 4. - С. 88-91.
6. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5 // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 10-15. - С. 3404-3408.
7. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Конечно-элементная модель вертикального стального резервуара с усиливающими элементами при его подъеме гидродомкратами // Фундаментальные исследования. - 2014. - № 9-5. - С. 1003-1007.
8. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Создание и верификация численной модели резервуара РВСПК-50000 // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 7-1. - С. 95-100.
9. Фокина Н.И., Бощенко Т.В. Поиск эффективной методической системы обучения студентов компьютерной графике // Геометрия и графика. - 2013. - Т. 1. - № 1. - С. 68-69.



10. printers.ru (Офисная печатная и копи-техника). – URL:  
<http://3dpr.ru/matrix-300-3d-printer-pechatayuschij-deshevymi-rashodnikami>.

**Рецензенты:**

Якубовский Ю.Е., д.т.н., заведующий кафедрой «Прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., заведующий кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.