6. Ogurcov, V.A. Raschetnoe issledovanie dvizhenija chastic po poverhnosti vibrogrohota / V.A. Ogurcov, V.E. Mizonov, S.V. Fedosov // Stroit. materialy. – 2008. – № 6. – S. 74 – 75.
7. Ogurcov, V.A. Modelirovanie dvizhenija chastic nad poverhnost'ju sita vibrogrohota / V.A. Ogurcov // Stroit. materialy. – 2008. – № 8. – S. 72 – 73.
8. Blehman I.I. Vibracionnaja mehanika. – M., 1994. – 400 s.
9. Vibracii v tehnike: spravochnik. – T.4: Vibracionnye mashiny i processy. / pod red. Je.Je. Lavendela. – M., 1981. – 509 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Алимжанов Мурат Дуанбаевич – кандидат технических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: murat2151@mail.ru.

Костюченков Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор акционерного общества «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: Kostyuchenkov_NV@mail.ru.

Берсугир Мухамади Амирович – кандидат физико-математических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: bersugir68@mail.ru.

Калиев Адильбек Бекбулатович – кандидат технических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: adilbekk@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Alimzhanov Murat – Candidate of Technical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: murat2151@mail.ru.

Kostyuchenkov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of noncommercial join stock company “S. Seifullin Kazakh Agro Technical University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: Kostyuchenkov_NV@mail.ru.

Bersugir Muchamadi – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: bersugir68@mail.ru.

Kaliev Adilbek – Candidate of Technical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: adilbekk@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 29.03.2021

УДК 631.312.63

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-17-23

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАСШТАБНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МЕЛИОРАТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

¹Венкова Надежда Валерьевна

¹Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. Применяемые современные технологии печати 3D могут обеспечить современного ученого необходимым количеством физических моделей для проведения экспериментов, значительно снизив время на производство, стоимость моделей и повысив точность изделий. Изучали применение 3D технологий для изготовления физических моделей. Проанализированы преимущества распространенных технологий печати. Подбирали оптимальный филамент для печати модели плужного каналокопателя типа МК-16 в масштабе 1:10 на 3D принтере Anycubic Predator. Показано, что многообразие филаментов и возможность обработки при печати экспериментальных рабочих органов на 3D принтере, позволяют максимально близко подойти к

созданию масштабных прототипов по физическим характеристикам, близким к натуральным моделям. Сравнительный анализ различных моделей показал, что точность 3D печати масштабной модели будет намного выше, чем производство равноценной модели из металла. Проведены лабораторные испытания на прочность физической модели в грунтовом канале при следующих параметрах: тип грунта – суглинок, плотность грунта – 4 удара ударника ДорНИИ, влажность 18 %. Максимальное зафиксированное усилие на модели составило 374 Н. Полученные усилия модель выдержала, никаких видимых повреждений не обнаружено. Сделан вывод, что прочность моделей из пластика сопоставима с прочностью изделий, выполненных из металла, и ее достаточно, чтобы проводить лабораторные испытания

Ключевые слова: эскизный проект, масштабная модель, 3D печать, качество, прочность.

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR CONDUCTING LARGE-SCALE EXPERIMENTS WITH RECLAMATION WORKING BODIES

¹Venkova Nadezhda

¹Institute of Amelioration, water management and construction named after A.N. Kostyakov
FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. The applied modern 3D printing technologies can provide a modern scientist with the necessary number of physical models for conducting experiments, significantly reducing the production time, the cost of models and increasing the accuracy of products. The use of 3D technologies for the manufacture of physical models has been studied. The advantages of common printing technologies are analyzed. The optimal filament was selected for printing a model of a plow canal digger MK-16 at a scale of 1:10 using the Anycubic Predator 3D printer. It is shown that the variety of filaments and the possibility of processing when printing experimental working bodies on a 3D printer make it possible to approach as close as possible to the creation of large-scale prototypes in physical characteristics close to natural models. Comparative analysis of various models showed that the accuracy of 3D printing of a scale model will be much higher than the production of an equivalent model from metal. Laboratory tests for the strength of a physical model in a soil channel were carried out with the following parameters: soil type – loam, soil density – 4 strikes of the DorNII striker, humidity 18 %. The maximum recorded force on the model was 374 N. The model withstood the received forces, no visible damage was found. It was concluded that the strength of plastic models is comparable to the strength of products made of metal, and it is enough to carry out laboratory tests.

Keywords: sketch design, scale model, 3D printing, quality, durability

Введение. Конечный потребитель, будь это производство или частное лицо, желают получить агрегат, узел или деталь наилучшего качества с наилучшими характеристиками и наименьшей стоимостью, что в свою очередь задает тенденции современного производства. Для этого производитель старается оптимизировать создание любого изделия еще на этапе получения ТЗ (технического задания), проведения НИОКР (Научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ), эскизного проекта, не говоря о последующих этапах, которые являются более ресурсоемкими и затратными.

При проведении НИОКР, создания эскизного проекта, рабочей документации, чертежи выполняются в соответствии с ГОСТом, который имеет определенные требования, при этом необходимо учитывать имеющееся оборудование, и квалификацию рабочего персонала.

Целью данной работы является подбор оптимального филамента для печати модели плужного каналакопателя типа МК-16 в масштабе 1:10 на 3D принтере Anycubic Predator и проведение лабораторных испытаний данной модели на прочность.

Для эффективного использования мощности производства инженеру необходимо использовать программное обеспечение, которое облегчит не только его труд, но и уменьшит трудозатраты с увеличением точности производства. Это программное обеспечение – САПР (Система автоматизированного проектирования – рисунок 1) программы, в которых уже заложена работа в системе ЕСКД (Единая Система Конструкторской Документации). Такие программы позволяют получить высокоточные 3D модели, выполнять расчеты МКЭ (Методом Конечных

Элементов), делать чертежи сразу с 3D моделей, выводить детализовки на станки с ЧПУ (Числовым Программным Управлением), в том числе и на 3D принтеры (рисунок 2), автоматически создавать спецификации сборок любой сложности, загружать все документы в облачное хранилище с доступом любого доверенного лица к документам в любой точке мира [11].

Рисунок 1 – САПР Компас 3D

Рисунок 2 – 3D принтер Anycubic Predator

После разработки любого агрегата, узла или детали настает момент выпуска изделия, но выпускать сразу изделие в продажу - очень неэффективный метод и поэтому сначала делают опытные образцы изделия и чтобы уменьшить расходы на предварительные изделия рационально делать масштабные модели [4]. В рамках производства на заводе можно получить изделия из металла необходимой точности, но это является очень затратно, особенно для ученых и аспирантов, которые не имеют собственного производства, финансовой поддержки и дорогостоящей аппаратуры для изготовления масштабных моделей. Не имея такого оборудования, ученые и аспиранты зачастую сталкиваются с очень низкой точностью полученных масштабных моделей, что сильно влияет на результаты, которые они получают в результате своей научной деятельности.

На данный момент одной из самой бурной развивающиеся технологий является 3D печать. 3D печать хотя и достаточно молодая технология, но уже нашла множественное применение в науке, медицине и производстве [12]. Конечно, в разных направлениях применения 3D печать может иметь, как и очень низкую стоимость – печать пластиком, так и очень дорогую – печать сталью или печать органических тканей.

Для ученых, аспирантов или студентов 3D печать является одной из самых доступных и малотрудоемких способов получить масштабные модели для своих исследований.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим две самые распространённые технологии печати: послойной укладки пластика (FDM- fused deposition modeling) и стереолитография (SLA- stereolithography apparatus) [2]. У каждой из технологий есть свои преимущества и недостатки. Ключевым недостатком SLA печати является низкая прочность полученных изделий, сверхдорогая смола, не большая область печати, токсичность и высокая цена, а из плюсов можно выделить более высокую точность относительно FDM печати.

У FDM печати прочность нити, физические свойства и токсичность зависят от материала печати – филамента, а вот прочность всей детали в целом будет зависеть, как и от выбранного материала, так и от заданных параметров и режимов печати [3, 18, 19].

Точность 3D печати масштабной модели будет намного выше, чем производство равноценной модели из металла. На рисунках 4– 6 показаны модели рабочего органа плужного каналокопателя МК-16. На рисунке 4 модель, выполненная с помощью САПР на основе НИОКР, на рисунке 5 модель, напечатанная на 3D принтере и на рисунке 6 модель, сделанная из металла. Рассмотрев эти рисунки, можно явно сказать, что модель, напечатанная на 3D принтере максимально близка к модели, сделанной в САПР, но модель из металла при изготовлении вышла за допуски всех линейных размеров, полученных в САПР.

Рисунок 3 – Модель рабочего органа плужного каналокопателя МК-16, выполненная в САПР

Рисунок 4 – Модель рабочего органа плужного каналокопателя МК-16, напечатанная на 3D принтере

Рисунок 5 – Модель рабочего органа плужного каналокопателя МК-16, сделанная из металла

Модель, показанная на рисунке 4, выполнена из пластика PLA фирмы FDplast и себестоимость такой модели, с учетом амортизации принтера 792 рубля, использовано пластика 690 грамм [13, 19], а модель, выполненная из металла даже с учетом низкой точности, вышла в 2750 рублей и это только цена материала без учета стоимости работ.

Для проведения экспериментов необходимы масштабные модели в большом количестве. Модели могут быть, как и в разных масштабах, так и с разными формами, именно из-за этого точность изготовления и соответствие расчетной форме играет огромную роль. 3D печать в условиях исследований может значительно сократить затрачиваемое время на готовую модель, и обеспечить экономическую эффективность.

Рассмотрим способ получения одной такой модели, на примере плужного рабочего органа каналокопателя:

- 1) По известной технологии определяют данные для построения проекций плужного корпуса, затем получают координаты всех точек в плоскостях X, Y, Z. [1];

- 2) Полученные точки переносят в 3-х мерное пространство и по этому каркасу уже строят твердое тело (рисунок 6);

- 3) Твёрдотельную модель адаптируют под необходимый масштаб (для нашей модели 1:10) и 3D печать;

- 4) Модель сохраняют в формате .STL (stereolithography) и загружают ее в специальную программу для послойной нарезки модели – слайсер. В этой программе задаются все параметры для печати: характеристики принтера и пластика, обеспечивается требуемая прочность детали через процент заполнения и количество линий периметров. Происходит нарезка моделей с учетом всех требований (рисунок 7), в результате получается файл с расширением .gcode;

- 5) Файл с расширением gcode загружается на принтер и начинается печать. Примерное время печати рассматриваемой модели – 25 часов.

Рисунок 6 – Каркас из точек для построения модели плужного каналокопателя

Рисунок 7 – Нарезанная модель плужного каналокопателя

Готовая модель (рисунок 8) была установлена на грунтовый лоток, где были проведены испытания [5] при следующих параметрах: тип грунта – суглинок, плотность грунта – 4 удара ударника ДорНИИ, влажность 18 %. Максимальное зафиксированное усилие на модели составило 374 Н. Полученные усилия модель выдержала, никаких видимых повреждений не обнаружено.

Рисунок 8 – Испытания напечатанной модели на грунтовом лотке

Выводы. 1. Применяемые современные технологии печати 3D могут обеспечить современного ученого необходимым количеством физических моделей для проведения экспериментов, значительно снизив время на производство, стоимость моделей и повысив точность изделий;

2. Прочность моделей из пластика сопоставима с прочностью изделий, выполненных из металла, и ее достаточно, чтоб, чтобы проводить лабораторные испытания;

3. Многообразие филаментов и возможность обработки при печатании экспериментальных рабочих органов на 3D принтере, позволяют максимально близко подойти к созданию масштабных прототипов по физическим характеристикам близким к натуральным моделям.

Список литературы

1. Ревин Ю.Г., Леонтьев Ю.П., Губер К.В. Технологические машины и оборудование природообустройства (основы теории и общий расчет мелиоративных машин). – Москва: РГАУ-МСХА, 2016.

2. Горьков Д., Холмогоров В. 3D – печать с нуля. – СПб: БХВ-Петербург, 2020.

3. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать: практ. рук. – М.: ДМК-Пресс, 2020.

4. Абезин В. Г., Сальников А.Л., Беспалова О.Н. Практикум по сельскохозяйственным и мелиоративным машинам. – М.: КНОРУС, 2016.

5. Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И. Расчет машин и оборудования природообустройства. – М.: МЭСХ, 2020. – 86 с.

6. Гарбузов З.Е., Барановская В.И. Проектирование каналостроительных машин. – М.: Машиностроение, 1995.

7. Механизация растениеводства / В.М. Халанский [и др.]. – М.: РГАУ-МСХА, 2014. – 524с.

8. Всё о 3D печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://k3d.tech/> (дата обращения: 14.02.2021).

9. Руководство по устранению распространенных проблем 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/rukovodstvo-ustraneniye-problem-3d-pechati/> (дата обращения: 14.02.2021).

10. Настройка Klipper для Delta (Predator SKR1.4 Turbo + 2209 UART) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/sumerok/nastroyka-klipper-dlya-delta-predator-skr14-turbo-2209-uart> (дата обращения: 14.02.2021).

11. Энциклопедия 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/wiki> (дата обращения: 17.03.2021).

12. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/ (дата обращения: 15.03.2021).

13. 3D печать на заказ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dmf.ru/3d-pechat/> (дата обращения: 18.03.2021).

14. Советы новичкам 3D-печати от экспертов российского 3D-рынка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/administrator/tips-for-beginners-of-3d-printing-from-the-experts-of-the-russian-3d-m/> (дата обращения: 19.03.2021).

15. Основы 3D-моделирования для 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/417605/> (дата обращения: 22.03.2021).

16. Проблемы качества 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dpt.ru/page/faq> (дата обращения: 19.03.2021).

17. 20 наиболее распространенных проблем 3D печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://garremmash/the-203dtoday.ru/blogs-most-common-problems-of-3d-printing-part-1/> (дата обращения: 22.03.2021).

18. Плюсы и минусы применения 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/3D-printers-pro-e-contra-review.html> (дата обращения: 22.03.2021).

19. 10 преимуществ 3D-принтера: экономим время и деньги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dpt.ru/page/3d-printer-efficiency> (дата обращения: 13.03.2021).

20. Настройка и калибровка 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robot-on.ru/articles/nastroyka-i-kalibrovka-3d-printera> (дата обращения: 15.03.2021).

21. Филамент для 3d принтера. Разновидности 3d пластиковых нитей для печати. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dradar.ru/post/47866/> (дата обращения: 20.03.2021).

References

1. Revin YU.G., Leont'ev YU.P., Guber K.V. Tekhnologicheskie mashiny i oborudovanie prirodoobusroystva (osnovy teorii i obshchij raschet meliorativnyh masht). – Moskva: RGAU-MSKHA, 2016.

2. Gor'kov D., Holmogorov V. 3D – pechat' s nulya. – SPb: BHV-Peterburg, 2020.

3. Redvud B., SHOfer F., Garret B. 3D-pechat': prakt. ruk. – M.: DMK-Press, 2020.
4. Abezin V. G., Sal'nikov A.L., Bepalova O.N. Praktikum po sel'skohozyajstvennym i meliorativnym mashinam. – M.:KNORUS, 2016.
5. Martynova N.B., Abdulmashidov H.A., Balabanov V.I. Raschet mashin i oborudovaniya prirodoobustrojstva. – M.: MESKH, 2020. – 86 s.
6. Garbuzov Z.E., Baranovskaya V.I. Proektirovanie kanalostroitel'nyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1995.
7. Mekhanizatsiya rastenievodstva / V.M. Halanskij [i dr.]. – M.: RGAU-MSKHA, 2014. – 524s.
8. Vsyo o 3D pechat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://k3d.tech/> – Zaglavie s ekrana. (data obrashcheniya: 14.02.2021).
9. Rukovodstvo po ustraneniyu rasprostranennyh problem 3D-pechat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/rukovodstvo-ustraneniyu-problem-3d-pechat'/> (data obrashcheniya: 14.02.2021).
10. Nastrojka Klipper dlya Delta (Predator SKR1.4 Turbo + 2209 UART) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dtoday.ru/blogs/sumerok/nastroyka-klipper-dlya-delta-predator-skr14-turbo-2209-uart> (data obrashcheniya: 14.02.2021).
11. Enciklopediya 3D-pechat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dtoday.ru/wiki> (data obrashcheniya: 17.03.2021).
12. Modelirovanie metodom poslojnogo naplavlenniya (FDM) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/ (data obrashcheniya: 15.03.2021).
13. 3D pechat' na zakaz [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dmf.ru/3d-pechat/> (data obrashcheniya: 18.03.2021).
14. Sovety novichkam 3D-pechat' ot ekspertov rossijskogo 3D-rynka [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dtoday.ru/blogs/administrator/tips-for-beginners-of-3d-printing-from-the-experts-of-the-russian-3d-m/> (data obrashcheniya: 19.03.2021).
15. Osnovy 3D-modelirovaniya dlya 3D-pechat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://habr.com/ru/post/417605/> (data obrashcheniya: 22.03.2021).
16. Problemy kachestva 3D-pechat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dpt.ru/page/faq> (data obrashcheniya: 19.03.2021).
17. 20 naibolee rasprostranennyh problem 3D pechat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://garremash/the-203dtoday.ru/blogs-most-common-problems-of-3d-printing-part-1/> (data obrashcheniya: 22.03.2021).
18. Plyusy i minusy primeneniya 3D-printera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://top3dshop.ru/blog/3D-printers-pro-e-contra-review.html> (data obrashcheniya: 22.03.2021).
19. 10 preimushchestv 3D-printera: ekonomim vremya i den'gi [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dpt.ru/page/3d-printer-efficiency> (data obrashcheniya: 13.03.2021).
20. Nastrojka i kalibrovka 3D-printera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://robot-on.ru/articles/nastroyka-i-kalibrovka-3d-printera> (data obrashcheniya: 15.03.2021).
21. Filament dlya 3d printera. Raznovidnosti 3d plastikovyh nitej dlya pechat'. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://3dradar.ru/post/47866/> (data obrashcheniya: 20.03.2021).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Венкова Надежда Валерьевна – старший преподаватель института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: nvvenkova@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Venkova Nadezhda – senior lecturer of Institute of Amelioration, water management and construction named after A.N. Kostyakov Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: nvvenkova@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 05.04.2021