



Оригинальная статья

УДК 622.765.45 004.356.2

DOI 10.17073/0368-0797-2021-5-366-373



РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИМПЕЛЛЕРА ФЛОТАЦИОННОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л. В. Седых¹, П. В. Борисов¹, А. Н. Пашков^{1,2}, Н. В. Горбатюк³,
Р. Ю. Суркова¹, Ж. Х. Маматкулов¹

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)

² АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина» (Россия, 141190, Московская обл., Фрязино, ул. Вокзальная, 2а)

³ Академия строительства и архитектуры (Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского) (Россия, 295493, Республика Крым, Симферополь, ул. Киевская, 181)

Аннотация. Постоянное увеличение потребления черных, цветных, благородных и редких металлов в народном хозяйстве требует повышения эффективности добычи и обогащения полезных ископаемых. Одним из основных методов обогащения, применяемых в технологическом процессе переработки различных руд, считается пенная флотация. Приведено краткое описание этого процесса, проанализированы различные конструкции флотационных машин. Работа посвящена модернизации аэрационного узла флотационных машин конструкции «РИФ». Отмечено, что при проектировании таких машин эффективно используется модульный принцип компоновки агрегатов, который позволяет модернизировать отдельные узлы, повышая эффективность работы машины в целом. Основной деталью этого узла является самая сложная и быстро изнашиваемая деталь – импеллер. Проанализированы различные конструкции импеллеров и технологии их изготовления. Отмечено, что в существующих конструкциях флотационных машин импеллеры изготавливают из стали. Предложено заменить этот материал на полиуретан, который получил широкое распространение как конструкционный материал в связи с появлением аддитивных технологий при производстве различных деталей. Этот материал имеет относительно невысокую стоимость и обладает повышенной сопротивляемостью износу. Сформулированы основные требования к важнейшим операциям технологического процесса изготовления импеллера. Для этого в системе трехмерного автоматизированного проектирования Компас разработана 3D-модель модернизированной конструкции импеллера. Предложена аддитивная технология послойного изготовления импеллера на 3D-принтере с использованием программы-слайсера Ultimaker Cura. Для изготовления импеллера предложенной конструкции из полиуретана разработана технология производства методом послойного наплавления Fused Deposition Modeling (FDM).

Ключевые слова: флотационная машина, аэрационный узел, импеллер, компьютерное моделирование, слайсер, управляющая программа, аддитивные технологии

Для цитирования: Седых Л.В., Борисов П.В., Пашков А.Н., Горбатюк Н.В., Суркова Р.Е., Маматкулов Ж.Х. Разработка конструкции и технологии изготовления импеллера флотационной машины на основе аддитивных технологий // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 5. С. 366–373. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-5-366-373>

Original article

DEVELOPMENT OF FLOTATION MACHINE IMPELLER ON THE BASE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

L. V. Sedykh¹, P. V. Borisov¹, A. N. Pashkov^{1,2}, N. V. Gorbatyuk³,
R. Yu. Surkova¹, Zh. Kh. Mamatkulov¹

¹ National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS) (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)

² JSC “RPC “Istok” named after A.I. Shokin” (2a Vokzal’naya Str., Fryazino, Moscow Region 141190, Russian Federation)

³ Academy of Construction and Architecture (V.I. Vernadsky Crimean Federal University) (181 Kievskaya Str., Simferopol, Republic of Crimea 295493, Russian Federation)

Abstract. The constant increase in the consumption of ferrous, non-ferrous, precious and rare metals in the national economy requires an increase in the efficiency of minerals mining and processing. One of the main methods of enrichment used in the technological process of processing various ores is foam flotation. The authors provide a brief description of this process and analysis of various designs of flotation machines. The article is devoted to the modernization of the aeration unit of flotation machines with “RIF” design. It is noted that the design of such machines effectively uses the modular principle of assembly aggregates, which allows you to upgrade individual unit, increasing the efficiency of the machine as a whole. The main

part of this unit is an impeller – the most complex and fast – wearing part. The paper analyzes various designs of impellers and their manufacturing technologies. It is noted that in the existing designs of flotation machines, the impellers are made of steel. It is proposed to replace this material with polyurethane, which has become widely used as a structural material due to the emergence of additive technologies in the production of various parts. This material has a relatively low cost and has an increased resistance to wear. The article formulates the main requirements for the most important operations of the technological process of impeller manufacturing. For this purpose, a 3D model of the upgraded impeller design was developed in the SolidWorks 3D computer-aided design system. The authors propose an additive technology for layer-by-layer production of an impeller on a 3D printer using the Ultimaker Cura slicer program. For the manufacture of the proposed design of the impeller made of polyurethane, the production technology was developed by the method of layer-by-layer deposition method of Fused Deposition Modeling (FDM).

Keywords: flotation machine, aeration unit, impeller, computer simulation, slicer, control program, additive technology

For citation: Sedykh L.V., Borisov P.V., Pashkov A.N., Gorbatyuk N.V., Surkova R.E., Mamatkulov Zh.Kh. Development of flotation machine impeller on the base of additive technologies. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 64, no. 5, pp. 366–373. (In Russ.).

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-5-366-373>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из эффективных методов обогащения различных руд является флотация. В настоящее время наиболее распространен метод пенной флотации. С ее помощью во всем мире ежегодно обогащают более 1 млрд т горной массы и более 20 типов руд [1].

Принцип работы флотационной машины типа «РИФ» (рис. 1) заключается в следующем. Поступающий на обогащение материал в виде пульпы подается в отсеки-камеры приемного кармана машины. Затем, за счет гидростатического напора, поток пульпы последовательно проходит через несколько камер машины. В каждой камере 1 находится аэрационный узел 2 с импеллером 3, вращение которому передается от привода 4 [2].

Важной конструктивной особенностью флотационных машин для обогащения руд является модульный принцип их компоновки. Он позволяет внедрять модифицированные узлы в существующие конструкции, что значительно упрощает не только ремонт, но и их усовершенствование [2 – 7].

Целью работы являлась модернизация конструкции импеллера аэрационного узла, входящего в пневмомеханическую флотационную машину типа «РИФ», для получения модели с высоким показателем аэрации и разработка процесса изготовления импеллера с использованием аддитивных технологий [8, 9].

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ИМПЕЛЛЕРА ДЛЯ АЭРАЦИОННОГО УЗЛА

На сегодняшний день существуют различные виды импеллеров аэрационных узлов пневмомеханических флотационных машин типа «РИФ». Каждый имеет свои преимущества и недостатки. Проведен анализ работ [2 – 7, 10 – 15], в которых рассматриваются тенденции модернизации технологического оборудования, в том числе импеллеров аэрационных узлов флотационных машин.

Рассмотрим основные недостатки импеллеров аэрационного узла, которые перечислены в источниках [10 – 15]:

- при подаче больших объемов сжатого воздуха замечается одностороннее «пробулькивание» воздуха, выходящего из нижней части аэратора;
- большие энергетические затраты на аэрацию пульпы;
- быстрый износ, срок службы составляет несколько месяцев.

В результате анализа было решено заменить конструкцию импеллера, предложенную авторами [15] (рис. 2, а), на модернизированную (рис. 2, б). Основное отличие предлагаемого импеллера аэрационного узла от известного [15] заключается в следующем:

- межлопаточная верхняя поверхность нижнего диска выполнена с наклоном к периферии импеллера под углом $33^{\circ}42'$;

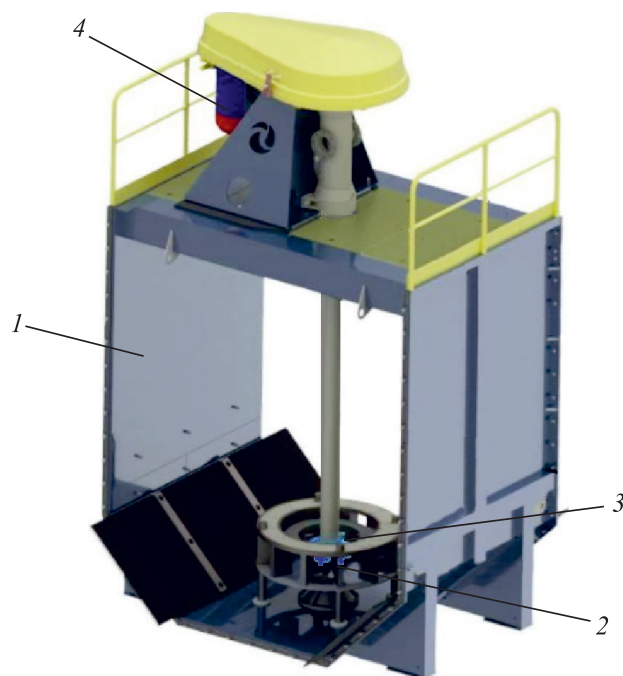


Рис. 1. Секция камеры флотационной машины с импеллером:
1 – корпус камеры; 2 – аэрационный узел с импеллером;
3 – импеллер; 4 – привод импеллера

Fig. 1. Chamber section of the flotation machine with an impeller:
1 – chamber body; 2 – aeration unit with an impeller;
3 – impeller; 4 – impeller drive

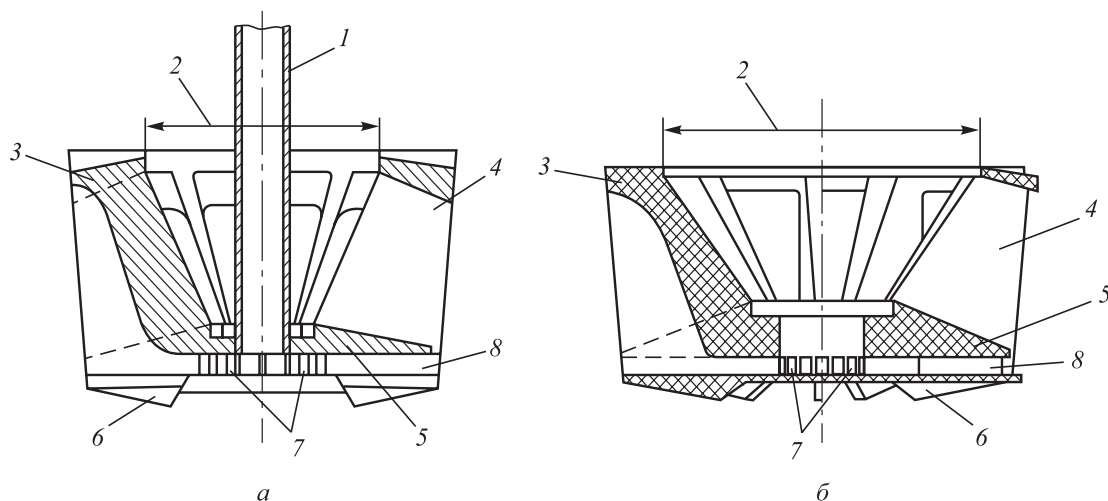


Рис. 2. Эскизы конструкции импеллера аэрационного узла: а – до модернизации, б – после:
1 – полый вал; 2 – отверстие; 3 – лопатки; 4 – щели; 5 – рифли; 6 – наклонные ребра; 7 – каналы; 8 – нижний диск

Fig. 2. Design sketches of the aeration unit impeller: а – before modernization, б – after modernization:
1 – hollow shaft; 2 – hole; 3 – blades; 4 – slots; 5 – ripples; 6 – inclined ribs; 7 – channels; 8 – lower disk

– предложено крепление импеллера к полному валу (патрубку) аэрационного узла (патрубок сделан из металла, а импеллер из полиуретана);

– в качестве материала импеллера предложен полиуретан.

Обычно импеллеры изготавливают из металла с резиновой футеровкой. Полиуретан [16] обладает следующими основными свойствами:

- высокая износостойкость (в 3 раза больше, чем у резины);
- высокая упругость (возвращает начальную форму после деформации);
- сохранение формы при температурах от -50 до $+140$ °С;
- устойчивость к агрессивным средам.

Благодаря рассмотренным свойствам применение полиуретана увеличит срок службы импеллера по сравнению с изготовленными из металла или резиновых смесей. Это позволит снизить расходы на простои из-за ремонтных работ.

Многие известные инженерные решения имеют один важный недостаток – сложность изготовления с использованием старых технологий. На современном этапе в промышленности появилось много инновационных методов производства, которые позволяют не только изготавливать сложные изделия, но и проводить компьютерное моделирование процессов их обработки и работы узлов, в которые они входят [9, 17 – 23].

Импеллер аэрационного узла является сложной деталью, которую технологично производить с применением новых подходов к изготовлению. Наиболее производительными методами получения изделий данного типа являются послойная печать на 3D-принтерах и обработка заготовок на станках с числовым

программным управлением (ЧПУ). Оба вида оборудования используют управляющие программы для обеспечения автоматизированного процесса получения изделия.

Импеллер имеет большое количество лопаток, которые расположены с зазорами между верхним и нижним дисками. Поэтому его экономичнее производить методом послойного добавления материала, чем удалением с заготовки в виде стружки, как на металлорежущих станках с ЧПУ.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИМПЕЛЛЕРА

Изготовление детали с использованием аддитивных технологий начинается с создания 3D-модели в соответствии с размерами и геометрическими особенностями конструкции при помощи любой системы трехмерного автоматизированного проектирования (САПР). В работе 3D-модель импеллера создана в Компас (рис. 3).

Для изготовления импеллера предложенной конструкции из полиуретана была выбрана технология производства методом послойного наплавления Fused Deposition Modeling (FDM), которая имеет много достоинств:

- занимает лидирующее место, по сравнению с другими методами 3D-печати благодаря простоте использования, доступности и достаточной легкости освоения программного обеспечения, невысокой цене 3D-принтеров, используемых для FDM [24];
- широкий выбор прочных, термостойких, износостойких пластиков, благодаря чему можно подобрать необходимый расходный материал для конкретного изделия в соответствии с заданными свойствами и желаемого цвета;

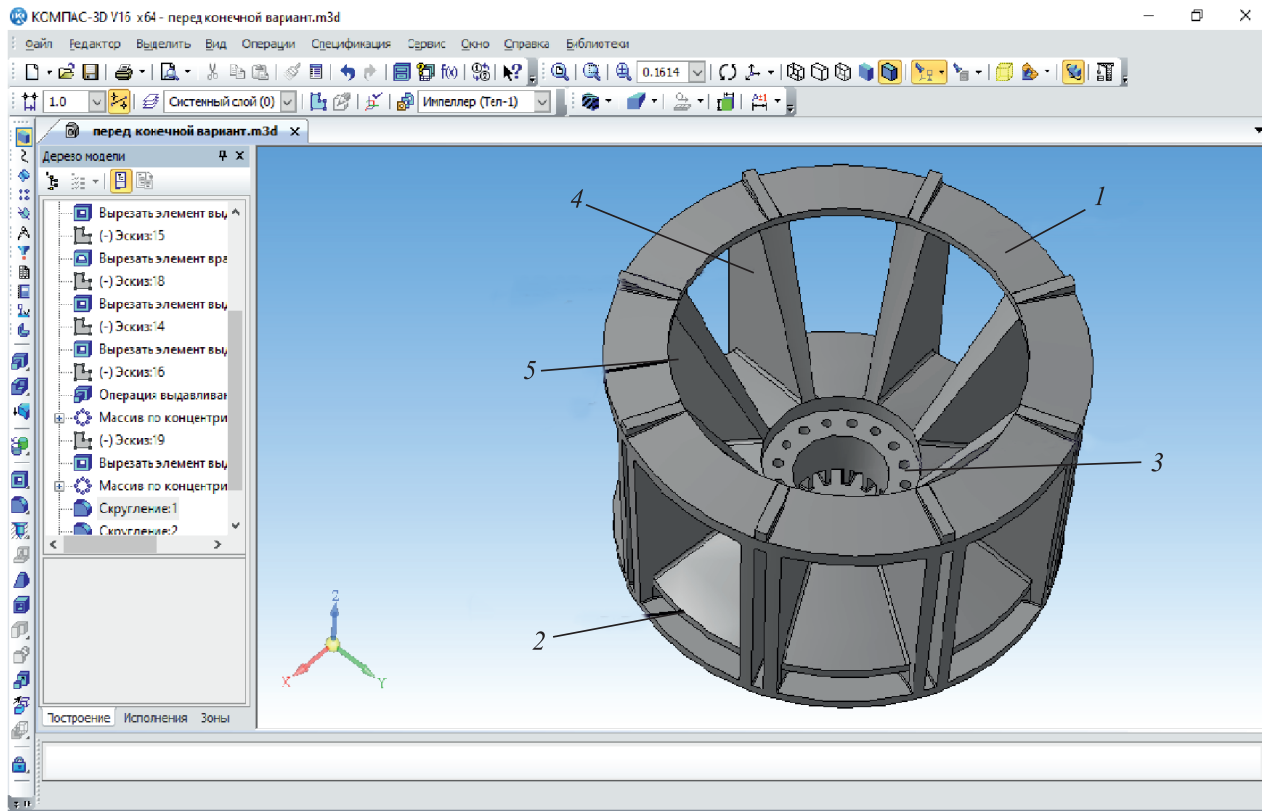


Рис. 3. Конструктивные особенности импеллера после модернизации:

1 – верхний диск; 2 – нижний диск; 3 – отверстия для закрепления полого вала; 4 – пластинчатые лопатки; 5 – центральное отверстие

Fig. 3. Design features of the impeller after modernization:

1 – upper disc; 2 – lower disc; 3 – holes for fixing the hollow shaft; 4 – plate blades; 5 – central hole

– высокая гибкость настройки и скорость печати позволяют быстро производить крупные партии изделий, в том числе габаритных деталей сложной формы;

– технология FDM является относительно безотходным методом, почти не требующим дополнительной обработки на металлорежущих станках.

Технология моделирования методом послойного наплавления требует подготовки для 3D-печати. Перед печатью на принтере 3D-модель импеллера (см. рис. 3), экспортированную в STL файл, следует преобразовать в специальный формат, используя программу, которая называется слайсер [20]. Слайсер разбивает цифровую модель на слои и выдает бинарный код (G-code), понятный для 3D-принтера. Полученный код можно записать на USB-носитель или непосредственно воспроизводить от персонального компьютера. Для перевода 3D-модели импеллера в G-code использована программа-слайсер Cura 3D [21]. Технологический процесс послойного наплавления FDM производится на 3D-принтере Ultimaker (рис. 4).

Процесс изготовления импеллера 1 осуществляется следующим образом: материалы для печати и поддержки 2 разматываются с катушки и заправляются в печатную головку двойной экструзии 3,

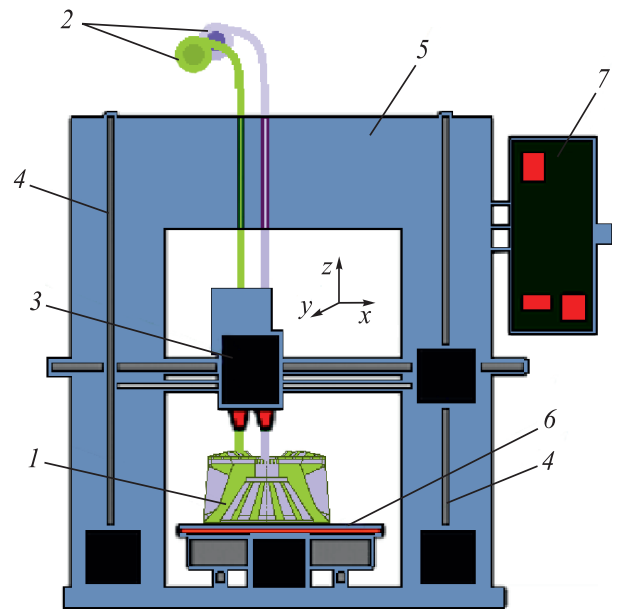


Рис. 4. Конструктивная схема 3D-принтера:

1 – импеллер; 2 – материалы для печати; 3 – печатная головка с экструдерами; 4 – направляющие; 5 – корпус принтера; 6 – рабочий стол; 7 – устройство ЧПУ

Fig. 4. Design diagram of a 3D printer:

1 – impeller; 2 – printing materials; 3 – printhead with extruders; 4 – guides; 5 – printer body; 6 – desktop; 7 – CNC device

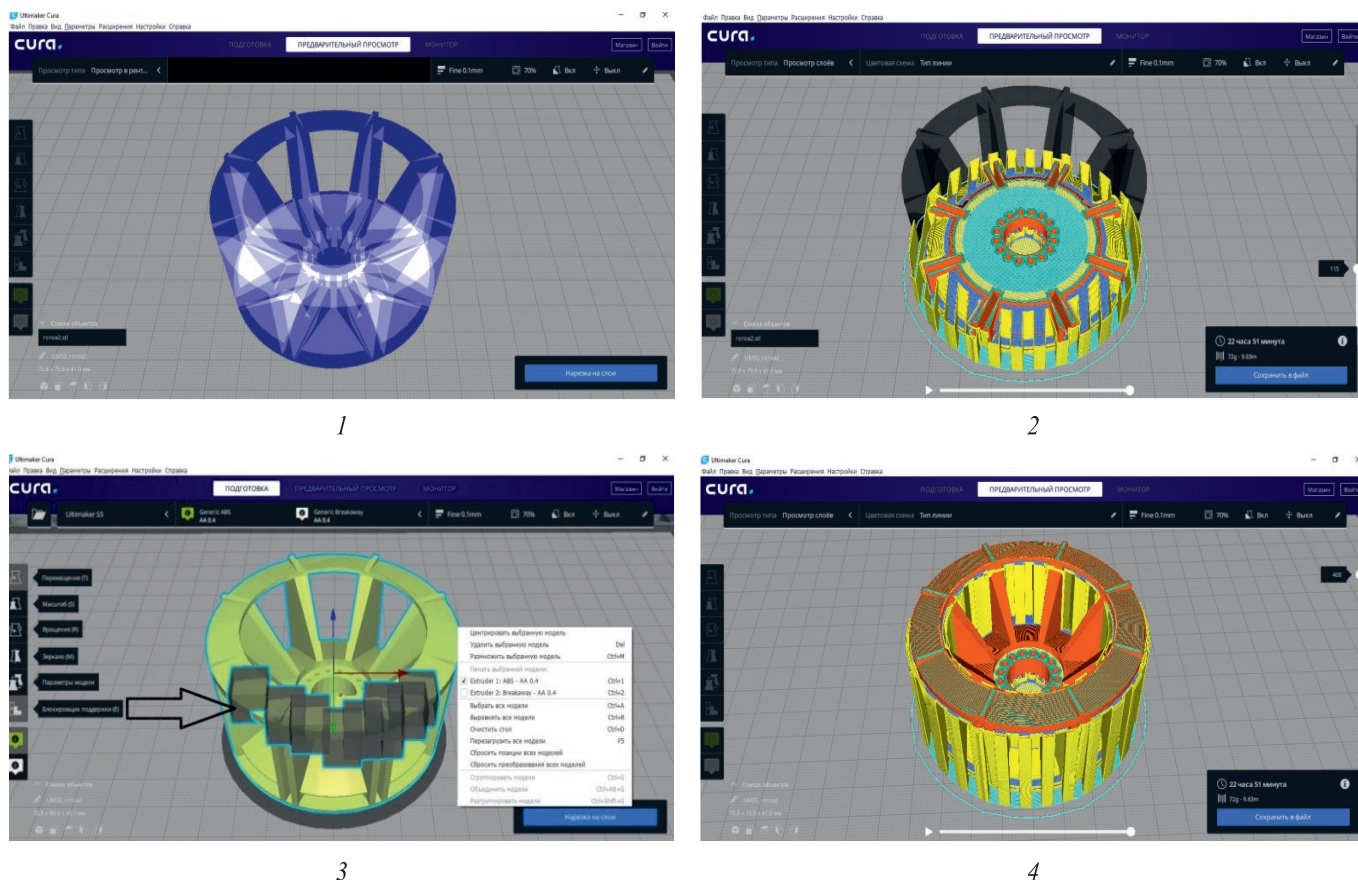


Рис. 5. Этапы компьютерного моделирования импеллера в слайсере Ultimaker Cura:

1 – просмотр 3D-модели в Cura; 2 – нарезание 3D-модели на слои; 3 – настройка программы; 4 – создание файла G-code с помощью Cura

Fig. 5. Stages of the impeller computer simulation in the Ultimaker Cura slicer:

1 – viewing the 3D model in Cura; 2 – cutting the 3D model into layers; 3 – configuring the program; 4 – G-code files using Cura

которая плавно перемещается по вертикальным направляющим 4 корпуса принтера 5. Далее разогретые в печатной головке материалы поступают через два экструдера и укладываются на рабочий стол 6, формируя 3D деталь. Все движения осуществляются от устройства ЧПУ 7.

Процесс послойного наплавления по технологии FDM осуществляется снизу-вверх по координатам x , y и z (см. рис. 4). Импеллер имеет выступающие структуры, при моделировании которых необходимо добавлять опорные конструкции, поэтому используются нити из ПВА-пластика (поливинилацетата) для поддержки нависающих частей детали. ПВА-пластик имеет важную особенность – он растворяется в воде, что позволяет производить детали без последующей механической обработки на металлорежущих станках.

На рис. 5 представлены основные этапы компьютерного моделирования импеллера в слайсере Ultimaker Cura:

– загрузка 3D-модели в слайсер и контроль внутренней структуры проектируемого импеллера, при обнаружении проблем модель импеллера редактируется;

– после задания всех параметров, по команде осуществляется нарезание 3D-модели на слои, эта функция позволяет увидеть, в каком слое возникает проблема, при этом можно отредактировать G-code, например, увеличить поток, высоту слоя, скорость вращения импеллера;

– для получения детали заданной точности после ее построения на 3D-принтере необходимо задать правильные настройки, панель настроек программы делится на две части: настройка принтера и настройка печати.

– после задания всех настроек осуществляется создание файла G-code с помощью Cura, после этого полученный G-code отправляется на 3D-принтер.

Выводы

В работе представлен импеллер и способ его изготовления на основе аддитивной технологии послойного наплавления FDM.

Получена компьютерная модель послойного построения импеллера, который используется для реконструкции аэрационного узла пневмомеханической флотационной машины типа «РИФ». Для создания им-

пеллера в 3D среде использовалась программа-слайсер Ultimaker Cura для 3D-принтеров. Технологию послойного наплавления FDM можно применить не только для конкретного импеллера, но и для ремонта других видов импеллеров аэрационных узлов.

Перспектива применения 3D-принтеров экономически очевидна, так как существенно ускоряется процесс изготовления новых деталей. Уменьшаются риски и ошибки проектирования, увеличивается эффективность производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Бухоров Ш.Б., Кодиров Х.И. Абдикамалова А.Б. Эшметов И.Д. Значения флотационного процесса, исследование флотационных реагентов и механизмов их действия на поверхности раздела фаз // *UNIVERSUM: Химия и биология: Электронный научный журнал*. 2020. № 9(75). Режим доступа: URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/10620> (дата обращения: 07.05.2021).
2. Зимин А.В. ЗАО НПО «РИВС» – итоги и достижения // *Горный журнал*. 2012. № 11. С. 4–5.
3. Fayed H., Ragab S. Numerical simulations of two-phase flow in a self-aerated flotation machine and kinetics modeling // *Minerals*. 2015. Vol. 5. No. 2. P. 164–188. <https://doi.org/10.3390/min5020164>
4. Gorain B.K., Franzidis J.P., Manlapig E.V. Flotation cell design: application of fundamental principles // *Encyclopedia of Separation Science*. Vol. II. Academic Press, 2000. P. 1502–1511.
5. Gorain B. Developing solutions to complex flotation problems // *Proceedings of the 34th Canadian Mineral Processors Conf. Ottawa*, January 22–24, 2013. P. 293–312.
6. Nelson M.G., Lelinski D., Gronstrand S. Design and operation of mechanical flotation machines // *Recent Advances in Mineral Processing Plant Design* / D. Malhotra, P. R. Taylor, E. Spiller, M. LeVier eds. Englewood, CO: SME, 2009. P. 168–189.
7. Bellini A., Guceri S. Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling // *Rapid Prototyping Journal*. 2003. Vol. 9. No. 4. P. 252–264. <https://doi.org/10.1108/13552540310489631>
8. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. Режим доступа: <https://elibr.spbstu.ru/dl/2/3548.pdf/download/3548.pdf> (дата обращения: 07.05.2021).
9. Sedykh L.V., Albul S.V., Efremov D.B., Sukhorukova M.A. Application of additive technologies for manufacturing a wear-resistant steel pipe outlet // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 971. Article 022002. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/971/2/022002>
10. Emer C., Jameson G.J. Aspects of flotation in a fluidized bed // 26th Int. Mineral Processing Congress (IMPC 2012): Conf. Proceedings. New Delhi, India, 24–28 September 2012. P. 2271–2278.
11. Jameson G.J. New directions in flotation machine design // *Mineral Engineering*. 2010. No. 23. P. 835–841. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.04.001>
12. Пат. 2158186 РФ. Аэрагатор / Зимин А.В., Шульц П.П.; заявл. 04.25.2000; опубл. 27.10.2000. Бюл. № 30.
13. Пат. 2225263С2 РФ. Аэрационный узел флотационной машины / Гладышев А.М., Токарев Н.В.; заявл. 20.11.2003; опубл. 10.03.2004. Бюл. № 7.
14. Пат. 2423186 РФ. Аэрационный узел / В.И. Журавлев, Д.В. Шехирев, А.М. Думов, Н.В. Кудрявцев, А.В. Панькин; заявл. 28.05.2009; опубл. 10.07.2011. Бюл. № 19.
15. Пат. 1789279 СССР. Импеллер флотационной машины / Шульц П.П., Лякушин С.Д., Фомин А.М.; заявл. 11.04.1989; опубл. 23.01.1993. Бюл. № 3, 4.
1. Bukhorov Sh.B., Kodirov Kh.I. Abdikamalova A.B. Eshmetov I.D. Importance of the flotation process, study of flotation reagents and mechanisms of their action on the surface of the phase section. *UNIVERSUM: khimiya i biologiya: elektron. nauchn. zhurn.* 2020, no. 9 (75). Available at URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/10620> (Accessed: 07.05.2021). (In Russ.).
2. Zimin A.V. Scientific and Production Association “RIVS” JSC – results and achievements. *Non-ferrous Metals*. 2013, no. 1, pp. 3–4.
3. Fayed H., Ragab S. Numerical simulations of two-phase flow in a self-aerated flotation machine and kinetics modeling. *Minerals*. 2015, vol. 5, no. 2, pp. 164–188. <https://doi.org/10.3390/min5020164>
4. Gorain B.K., Franzidis J.P., Manlapig E.V. Flotation cell design: Application of fundamental principles. In: *Encyclopedia of Separation Science*. Vol. II. Academic Press, 2000, pp. 1502–1511.
5. Gorain B. Developing solutions to complex flotation problems. In: *Proceedings of the 34th Canadian Mineral Processors Conf. Ottawa*, January 22–24, 2013, pp. 293–312.
6. Nelson M.G., Lelinski D., Gronstrand S. Design and operation of mechanical flotation machines. In: *Recent Advances in Mineral Processing Plant Design*. Malhotra D., Taylor P.R., Spiller E., LeVier M. eds. Englewood, CO: SME, 2009, pp. 168–189
7. Bellini A., Guceri S. Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. *Rapid Prototyping Journal*. 2003, vol. 9, no. 4, pp. 252–264. <https://doi.org/10.1108/13552540310489631>
8. Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylyina I.N. *Additive Technologies in Mechanical Engineering*. Available at URL: <https://elibr.spbstu.ru/dl/2/3548.pdf/download/3548.pdf> (Accessed: 19.01.2021). (In Russ.).
9. Sedykh L.V., Albul S.V., Efremov D.B., Sukhorukova M.A. Application of additive technologies for manufacturing a wear-resistant steel pipe outlet. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 971, article 022002. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/971/2/022002>
10. Emer C., Jameson G.J. Aspects of flotation in a fluidized bed. 26th Int. Mineral Processing Congress (IMPC 2012): Conf. Proceedings. New Delhi, India, 24–28 September 2012, pp. 2271–2278.
11. Jameson G.J. New directions in flotation machine design. *Mineral Engineering*. 2010, no. 23, pp. 835–841. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.04.001>
12. Zimin A.V., Shul'ts P.P. *Aeration tower*. Patent RF no. 2158186. *Bulleten' izobretenii*. 2000, no. 30. (In Russ.).
13. Gladyshev A.M., Tokarev N.V. *Aeration unit of flotation machine*. Patent RF no. 2225263C2. *Bulleten' izobretenii*. 2004, no. 7. (In Russ.).
14. Zhuravlev V.I., Shekhirev D.V., Dumov A.M., Kudryavtsev N.V., Pan'kin A.V. *Aeration unit*. Patent RF no. 2423186. *Bulleten' izobretenii*. 2011, no. 19. (In Russ.).
15. Shul'ts P.P., Lyakushin S.D., Fomin A.M. *Impeller of flotation machine*. Patent USSR no. 1789279. *Bulleten' izobretenii*. 1993, no. 3, 4. (In Russ.).

16. ГОСТ 34376.1-2017. Пластмассы. Термопластичные полиуретаны для формирования и экструзии. Введен 2018-06-01. М.: Изд-во стандартов, 2018. 11 с.
17. Naumova M.G., Morozova I.G., Aliev K.B. Creating a project for modernizing the feeding balls device to a ball mill using 3D modeling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 971. No. 5. Article 052025.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/971/5/052025>
18. Gerasimova A., Gorbatiyuk S., Devyatiarova V. Application of gas-thermal coatings on low-alloyed steel surfaces // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. P. 1284–1290.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.1284>
19. Снитко С.А., Яковченко А.В. Влияние режима осевого обжатия на разнотолщинность обода колесной заготовки на начальной стадии ее прокатки // Металлург. 2017. № 5. С. 46–51.
20. Albagachiev A.Y., Keropyan A.M., Gerasimova A.A., Kobelev O.A. Determination of rational friction temperature in lengthwise rolling // CIS Iron and Steel Review. 2020. Vol. 19. P. 33–36.
<https://doi.org/10.17580/cisirs.2020.01.07>
21. Валиуллин И.И., Кобелев О.А., Наумова М.Г., Морозова И.Г., Пашков А.Н., Наговицын В.А., Голощапов К.В. Применение дискретного двухрядного скребкового очистителя – эффективный способ очистки ленточных конвейеров для перемещения сыпучих материалов // Металлург. 2020. № 12. С. 89–93.
22. Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development. Режим доступа: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.410.790&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 07.05.2021).
23. Software Ultimaker. Режим доступа: <https://ultimaker.com/software> (дата обращения 07.05.2021).
24. Учебник по Cura 3D – как пользоваться программой-слайсером Cura. Режим доступа: <https://3dpt.ru/blogs/support/cura> (дата обращения 07.05.2021).
16. GOST 34376.1-2017. Plastics. Thermoplastic polyurethanes for forming and extrusion: entered 2018-06-01. Moscow: Izd-vo standartov, 2018, 11 p. (In Russ.).
17. Naumova M.G., Morozova I.G., Aliev K.B. Creating a project for modernizing the feeding balls device to a ball mill using 3D modeling. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 971, no. 5, article 052025.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/971/5/052025>
18. Gerasimova A., Gorbatiyuk S., Devyatiarova V. Application of gas-thermal coatings on low-alloyed steel surfaces. Solid State Phenomena. 2018, vol. 284, pp. 1284–1290.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.1284>
19. Snitko S.A., Yakovchenko A.V. Influence of the axial reduction conditions on the variation in the thickness of a wheel rim at the initial stage of rolling. Metallurgist. 2017, vol. 61, no. 5-6, pp. 387–393.
<https://doi.org/10.1007/s11015-017-0505-x>
20. Albagachiev A.Y., Keropyan A.M., Gerasimova A.A., Kobelev O.A. Determination of rational friction temperature in lengthwise rolling. CIS Iron and Steel Review. 2020, vol. 19, pp. 33–36.
<https://doi.org/10.17580/cisirs.2020.01.07>
21. Valiullin I.I., Kobelev O.A., Naumova M.G., Morozova I.G., Pashkov A.N., Nagovitsyn V.A., Goloshchapov K.V. Application of a discrete double-row scraper cleaner as an efficient procedure of cleaning of belt conveyors aimed at transporting bulk materials. Metallurgist. 2021, vol. 64, no. 11-12, pp. 1340–1346.
<https://doi.org/10.1007/s11015-021-01124-x>
22. Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development. Available at URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.410.790&rep=rep1&type=pdf> (Accessed: 07.05.2021).
23. Software Ultimaker. Available at URL: <https://ultimaker.com/software> (Accessed: 07.05.2021).
24. Cura 3D Tutorial – How to Use the Cura Slicer Program. Available at URL: <https://3dpt.ru/blogs/support/cura> (Accessed: 07.05.2021). (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лариса Владимировна Седых, доцент кафедры «Инжиниринг технологического оборудования», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

E-mail: ivsedykh@mail.ru

Павел Валерьевич Борисов, аспирант кафедры «Инжиниринг технологического оборудования», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

E-mail: pborisov91@mail.ru

Алексей Николаевич Пашков, к.т.н., доцент кафедры «Инжиниринг технологического оборудования», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», главный технолог, АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»

Наталья Владимировна Горбатюк, к.г.-м.н., доцент, Академия строительства и архитектуры (Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского)

Регина Юрьевна Суркова, аспирант кафедры «Инжиниринг технологического оборудования», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

E-mail: regina_yu@mail.ru

Жамшид Хусанбой угли Маматкулов, студент кафедры «Инжиниринг технологического оборудования», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Larisa V. Sedykh, Assist. Prof. of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS)

E-mail: ivsedykh@mail.ru

Pavel V. Borisov, Postgraduate of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS)

E-mail: pborisov91@mail.ru

Aleksei N. Pashkov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Chief Technologist, JSC “RPC “Istok” named after A.I. Shokin”

Natalya V. Gorbatiyuk, Cand. Sci. (Geol.-Mineralogical), Assist. Prof., Academy of Construction and Architecture (V.I. Vernadsky Crimean Federal University)

Regina Yu. Surkova, Postgraduate of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS)

E-mail: regina_yu@mail.ru

Zhamshid Kh. Mamatkulov, Student of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS)

ВКЛАД АВТОРОВ:

Л.В. Седых – идея работы, научное руководство.

П.В. Борисов – поиск и анализ опубликованных источников, в которых рассматриваются тенденции модернизации импеллеров аэрационных узлов флотационных машин.

А.Н. Пашков – формирование цели и задачи исследования, подготовка текста, корректировка выводов.

Н.В. Горбатюк – анализ результатов исследований, формирование выводов, окончательное редактирование текста.

Р.Ю. Суркова – создание 3D-модели и чертежа в соответствии с размерами и геометрическими особенностями конструкции при помощи программного продукта в SolidWorks.

Ж.Х. Маматкулов – компьютерное моделирование импеллера в слайсере Ultimaker.

Поступила в редакцию 19.02.2021

После доработки 24.04.2021

Принята к публикации 16.04.2021

Received 19.02.2021

Revised 24.04.2021

Accepted 16.04.2021