18. Patent RF № 2341954. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov / Zavrazhnov A.I., Tishaninov K.N. – Zayavka № 2006146774 ot 26.12.2006; opubl.: 27.12.2008, Byul. № 36.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Емельянович Сергей Владимирович – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, e-mail: seruvarovo@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolaj Petrovich – doktor tekhnicheskih nauk, professor, glavnyj nauchnyj sotrudnik Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve», g. Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Emel'yanovich Sergej Vladimirovich – mladshij nauchnyj sotrudnik Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve», g. Tambov, e-mail: seruvarovo@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 04.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 06.03.2022

УДК 621
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-51-60

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ АПК

[1]Зорин Александр Сергеевич
[1,2,3]Родионов Юрий Викторович
[1,2,3]Никитин Дмитрий Вячеславович
[3]Скоморохова Анастасия Игоревн

[1]ООО «Техлайн», г. Тамбов
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Реферат. *Задачи прототипирования с помощью трехмерной печати актуальны для нужд АПК, где требуется постоянная модернизация существующего оборудования и разработка новых конструкций, способствующих повышению производительности. Рассмотрена печать конструктивных элементов жидкостнокольцевого вакуумного насоса, который используется в процессах переработки сельскохозяйственного сырья. Изготовление прототипов конструктивных элементов одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса осуществлялось на 3D принтере Flying bear ghost 5 (рис. 1) посредством технологии FDM. Определен наиболее оптимальный набор параметров печати методом моделирования послойным наплавлением. Выбранные режимы обеспечивают требуемые качественные показатели прототипа жидкостнокольцевого вакуумного насоса. Рассматриваются следующие параметры: высота слоя, температуры сопла экструдера и рабочего стола, обдув в процессе печати, скорость, процент заполнения и необходимость поддержек. Проведен анализ влияния каждого из параметров на характеристики готового изделия. Установлено, что для получения данных конструктивных элементов без серьезных дефектов при минимальном расходе материала и*

наименьшем времени печати, необходимы: высота каждого слоя 0,2 мм; температура сопла экструдера 230 ºС; температура рабочего стола 100ºС; скорость печати 60 мм/с; процент заполнения модели 25%. Также для лучшего качества прототипов использовался постоянный обдув и применялись поддержки в местах, где модель имеет значительные выступы. Изготовленные прототипы позволяют оценить конструктивные особенности разрабатываемого жидкостнокольцевого вакуумного насоса и провести простейшие испытания на его работоспособность с целью дальнейшего устранения выявленных недостатков сборной конструкции.

Ключевые слова: *полимерные материалы, аддитивные технологии, параметры трехмерной печати, жидкостнокольцевой вакуумный насос.*

ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING PARTS OF A LIQUID RING VACUUM PUMP FOR AIC PROCESSES

[1]Zorin Alexander
[1,2,3]Rodionov Yuri
[1,2,3]Nikitin Dmitry
[3]Skomorokhova Anastasia

[1]LLC "Techline"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[3]FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract. *The tasks of prototyping using 3D printing are relevant for the needs of the agro-industrial complex, where constant modernization of existing equipment and the development of new designs that increase productivity are required. The printing of structural elements of a liquid ring vacuum pump, which is used in the processing of agricultural raw materials, is considered. Prototypes of structural elements of a single-stage liquid ring vacuum pump were manufactured on a Flying bear ghost 5 3D printer (Fig. 1) using FDM technology.The most optimal set of printing parameters was determined by the method of layer-by-layer deposition modeling. The selected modes provide the required quality indicators of the liquid ring vacuum pump prototype. The following parameters are considered: layer height, extruder nozzle and desktop temperatures, airflow during printing, speed, infill percentage and the need for supports. The analysis of the influence of each of the parameters on the characteristics of the finished product was carried out. It has been established that in order to obtain these structural elements without serious defects with a minimum consumption of material and the shortest printing time, it is necessary: the height of each layer is 0.2 mm; extruder nozzle temperature 230 ºC; desktop temperature 100ºC; print speed 60 mm/s; the percentage of filling the model is 25%. Also, for the best quality of the prototypes, constant airflow was used and supports were used in places where the model has significant protrusions. The manufactured prototypes allow evaluating the design features of the developed liquid ring vacuum pump and conducting simple tests for its performance in order to further eliminate the identified shortcomings of the prefabricated structure.*

Keywords: *polymeric materials, additive technologies, 3D printing parameters, liquid ring vacuum pump.*

Введение. Производство высокофункциональных изделий при наименьших затратах – основная задача, которая стоит перед инженерами при проектировании деталей и разработке технологических маршрутов их изготовления. В этой связи актуально проведение исследований по поиску новых материалов и усовершенствованию существующих, проведение работ по оптимизации конструкций, а также применение новых подходов к созданию различных деталей. Для этих целей зачастую используется прототипирование. Попимо оценки функциональных свойств и подбора оптимальных параметров конструкции, создание прототипов позволяет подобрать подходящее исполнение или может использоваться для представления продукта целевой аудитории.

Прототипирование при разработке деталей механизмов и машин также целесообразно использовать в агропромышленном комплексе (АПК). Создание прототипов новой продукции позволит сократить затраты на изготовление изделий, по тем или иным причинам неудовлетворяющих заявленным требованиям, что существенно повысит конкурентноспособность производства.

В частности, актуальным представляется внедрение методов быстрого прототипирования при разработке конструкций жидкостнокольцевых вакуумных насосов (ЖВН), которые находят применение в процессах переработки сельскохозяйственного сырья и для транспортирования различных материалов [1-6]. В зависимости от целевого назначения, к проектируемым моделям насосов предъявляются различные требования по точности и сложности, входящих в них узлов, что усложняет задачу изготовления пробных образцов для проведения испытаний, оценки технологичности деталей и усовершенствования сборной конструкции.

Когда необходимо получить сложные конфигурации с высокой точностью, традиционные подходы к созданию реальных моделей достаточно трудоемки и дорогостоящи, к тому же требуют разработки и изготовления дополнительной остнастки и различных интрументов. В этой связи при создании физических объектов применяют технологии быстрого прототипирования, основанные на трехмерной печати.

Трехмерная печать, в отличие от классической механической обработки, осуществляется путем добавления материала, поэтому получила название аддитивного производства. С практической точки зрения представляет интерес возможность менять различные характеристики изготавливаемой продукции (прочность, жесткость, вес и др.) путем варьирования параметрами печати.

Создание прототипов состоит из двух основных этапов:

- разработка трехмерной модели изделия;
- печать изделия по выбранной технологии.

После печати полученный прототип проходит различные испытания на соответствие предъявляемым к нему требованиям (дизайн, эргономичность, правильность форм, качество соединительных элементов, практичность и т.д.). Кроме того, быстрое прототипирование может применяться для изготовления литейных форм, электроэрозионного инструмента и др. с целью их дальнейшего применения в производстве. Однако, необходимо учитывать, что, в зависимости от материала и применяемой технологии печати, может значительно изменяться прочность изделий, цена и время изготовления, качество поверхности и другие важные характеристики.

Основные преимущества такого подхода к созданию прототипов заключаются в [7]:

- значительном сокращении времени технический подготовки к производству новых изделий;
- высокой степени автоматизации процесса;
- уменьшении количества отходов и, как следствие, экономии материала;
- повышении гибкости и конкурентоспособности производства ввиду отсутствия необходимости в переналадке оборудования под выпуск новой продукции.

Важным этапом является выбор технологии аддитивного производства и назначение параметров печати, что определяет качественные показатели изготовляемой модели.

Наиболее распространенными технологиями трехмерной печати, применяемыми при создании прототипов, являются [8]:

- лазерная стереолитография– Stereolithography (SLA);
- отверждение на твердом основании –Solid Ground Curing (SGC);
- моделирование послойным наплавлением – Fused Deposition Modelig (FDM);
- распыление термопластов – Ballistic Particle Manufacturing (BPM);
- лазерное спекание порошков – Selective Laser Sintering (SLS);
- моделирование при помощи склейки – Laminated Object Modeling (LOM).

Наиболее оптимальные параметры трехмерной печати определяются опытным путем в зависимости от целевого назначения модели, что обуславливает актуальность проведения исследований в области аддитивного производства.

Целью статьи является изготовление прототипов деталей, входящих в конструкцию жидкостнокольцевого вакуумного насоса, использующегося в различных процессах АПК, и определение наиболее подходящих параметров печати.

Материалы и методы. Для изготовления деталей посредством 3D-печати необходимо определение значимых характеристик прототипа, изучение свойств используемого материала и исследование параметров процесса печати, определяющих качество готового изделия. Подробное описание важных конструктивных и эксплуатационных характеристик ЖВН, определяющих область его использования, приводится в литературе [9-11]. Зависимость свойств материала от параметров печати изучается авторами работ [12-14]. Особенности различных технологий аддитивного производства описывается в работах [15-17].

Изготовление прототипов конструктивных элементов одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса осуществлялось на 3D принтере Flying bear ghost 5 (рис. 1) посредством технологии FDM. В ней для печати слоев объекта используется непрерывная нить из термопластичного полимера. Нить нагревается в сопле до полужидкого состояния, а затем подается на платформу или поверх ранее напечатанных слоев. Для этого метода термопластичность полимерного волокна является важным свойством, которое позволяет волокнам сплавляться вместе во время печати, а затем они затвердевают при комнатной температуре [18]. Преимущества данной технологии для задач прототипирования заключаются в доступности оборудования и низкой стоимости материалов, используемых при печати [19].

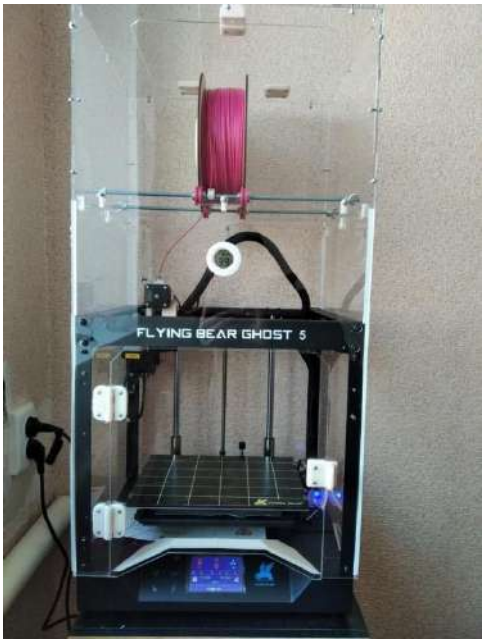


Рисунок 1 – 3D принтер Flying bear ghost 5

Показанный на рис. 1 3D принтер имеет прозрачный защитный корпус, который был спроектирован и изготовлен с целью исключения влияния внешних факторов на процесс печати и защиты материала от гигроскопичности. Также была модернизирована катушка для более плавной подачи пластика в экструдер.

Печать элементов жидкостнокольцевого вакуумного насоса осуществлялась из АБС-пластика, отличающегося влагостойкостью и широким диапазоном эксплуатационных температур, легко поддается дополнительной механической обработке и покраске, устойчивостью к различным химическим веществам (за исключением ацетона). АБС-пластик обладает следующими основными характеристиками [20]:

- температура плавления: 210 °C;
- температура размягчения: 100 °C;
- эксплуатационные температуры: -40…+80 °C;
- температура стеклования: 105 °C;

- относительное удлинение при разрыве: 6%;
- прочность на изгиб: 41 МПа;
- прочность на разрыв: 22 МПа;
- плотность: 1,1 г/см³;
- усадка при изготовлении изделий: 0,8%.

Однако данный пластик имеет недостатки, обусловленные его деформацией в процессе печати при контакте с поверхностью построения. Частично устранить эту проблему можно посредством нагрева рабочего стола и своевременным охлаждением за счет обдува модели. Кроме того, следует избегать прямого попадания солнечных лучей на изделия из АБС-пластика, так как он склонен разрушаться под их воздействием.

Для подготовки 3D-печати использовалось программное обеспечение UltimakerCura 4.12.1 (рис. 2), предназначенного для разбиения трехмерной модели на слои и создания G-кода, который отправляется на принтер. Разработка трехмерных моделей элементов насоса выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, после чего геометрия экспортировалась в стандартный формат .stl, используемый для создания управляющей программы.

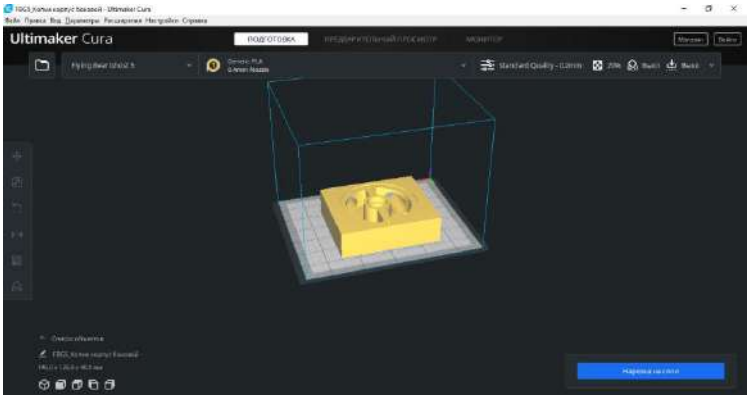


Рисунок 2 – Формирование модели в Ultimaker Cura 4.12.1

Результаты и их обсуждение. Среди наиболее важных параметров FDM печати, оказывающих значительное влияние на качество готового изделия, можно выделить: высоту слоя, температуры сопла и рабочего стола, обдув в процессе печати, скорость, процент заполнения и наличие поддержек.

Для печати представленных моделей высоту каждого слоя задавали равной 0,2 мм. С уменьшением этого параметра поверхность становится более гладкой, слоистость не так заметна, однако возрастает время печати. Ее оптимальная величина зависит от диаметра наконечника сопла экструдера и используемого для печати материала [15].

Температуры сопла экструдера и рабочего стола устанавливали 230 и 100ºС, соответственно. Недостаточная температура стола приводит к плохой адгезии, вследствие чего модель может не зафиксироваться на платформе построения или отсоединиться от нее в процессе печати. Кроме прогрева рабочего стола, решением этой проблемы может быть покрытие платформы раствором клея. Важно отметить, что температурные режимы печати оказывают значительное влияние на усадку материала – при повышении температуры рабочего стола, уменьшаются остаточные деформации модели, однако, как отмечено в исследовании [21], температура стола выше 120 ºС ухудшает адгезию.

Скорость печати составляла 60 мм/с. При недостаточной скорости печати могут возникнуть деформации модели, обусловленные долгим контактом сопла и пластика. Если скорость будет чрезмерно высокой, то будет происходить недостаточное охлаждение и слабая адгезия слоев. В работе [22] также установлено, что при печати ABS-пластиком и температуре сопла 230 ºС

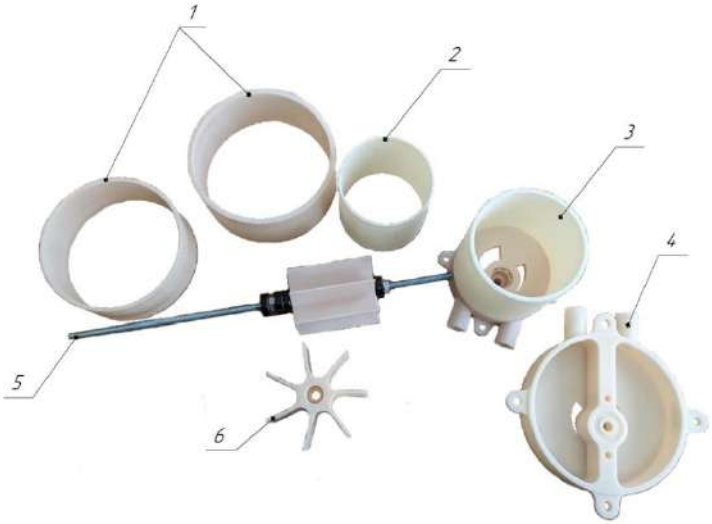
наиболее оптимальная скорость печати составляет 60 мм/с. Однако данный параметр может отличаться для пластика различной марки и характеристик принтера.

Для сохранения качества изделия при печати использовался обдув. Он необходим вследствие того, что разогретый пластик обладает текучестью, и если предыдущий слой не успевает затвердеть, то форма изделия портится. Кроме того, остывший слой может размягчаться вследствие высокой температуры сопла при перемещении экструдера на близком от него расстоянии. Однако необходимо контролировать отсутствие трещин, которые могут быть следствием слишком высокой скорости вентилятора. Также неправильные параметры обдува могут привести к смещению первого слоя печати или появлению дыр на верхнем слое.

Процент заполнения выбирался равным 25%, что обеспечило достаточную прочность прототипов и меньшие затраты на время печати. Данный параметр оказывает непосредственное влияние на массу изделия, его прочность, а также время и стоимость печати, так как изменяется расход материала.

В местах, где модели имеют выступы, которые при печати в процессе послойного добавления материала не поддерживаются материалом конструкции, возникает необходимость внедрения дополнительных опор (поддержек), позволяющих избежать провисания и нежелательных деформаций слоев, «висящих в воздухе». Их наличие увеличивает время печати и расход материала. Кроме того, возникает необходимость выполнения постобработки с риском повреждения модели из-за прилипания структуры поддержек к изделию. Ввиду чего важно уделять внимание минимизации поддержек. Этого можно добиться правильной ориентацией модели при печати, доработкой конструкции детали или изменением структуры поддержек.

Конструктивные элементы жидкостнокольцевого вакуумного насоса, напечатанные с помощью 3D-принтера, представлены на рис. 3.



1 – цилиндрические корпуса; 2 – вращающаяся втулка, 3, 4 – крышки торцовые; 5 – вал в сборе с рабочим колесом; 6 – рабочее колесо

Рисунок 3 – Конструктивные элементы жидкостнокольцевого вакуумного насоса, напечатанные с использованием 3D-принтера

Представленные на рис. 1 детали ЖВН, изготовленные методом FDM, позволяют не только оценить конструктивные особенности насоса, но и провести сборочно-разборочные операции, проверку функциональности, простейшие испытания прототипа на его работоспособность с последующим учётом возможных недостатков при создании моделей, предназначенных для эксплуатации в реальных условиях.

Перспективой дальнейших исследований является изучения возможности печати рабочего колеса ЖВН из полимерного материала, предназначенного для эксплуатации. С целью

обеспечения надежности и выполнения требуемых функций в процессе работы необходимо более подробное изучение изменения свойств материала при аддитивном производстве в зависимости от используемой технологии и назначаемых параметров.

Заключение.

1. Аддитивные технологии открывают новые возможности в области прототипирования. Их внедрение позволяет оценить показатели функциональности различных изделий, в том числе, используемых в АПК, что способствует повышению конкурентоспособности и снижению затрат при производстве новых моделей деталей машин и механизмов.

2. Приведены основные достоинства трехмерной печати, которые отличают ее от традиционных способов получения деталей, основанных на удалении материала.

3. Рассмотрены наиболее значимые параметры процесса печати, которые влияют на качество создаваемых моделей. Для трехмерной печати жидкостнокольцевого вакуумного насоса определены следующие оптимальные значения: высота каждого слоя 0,2 мм; температура сопла экструдера 230 ºС; температура рабочего стола 100ºС; скорость печати 60 мм/с; процент заполнения модели 25%.

4. Напечатаны прототипы конструктивных элементов разрабатываемой модели жидкостнокольцевого вакуумного насоса.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта Фонда содействия инновациям «Разработка жидкостно-кольцевых вакуумных насосов для технологических процессов агропромышленного комплекса» 4128ГС1/68641 от 19.07.2021

Список литературы

1. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review / M. C. Karam, J. Petit, D. Zimmer [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2016. – № 188. – P. 32-49.

2. Rodionov Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12. – № 3-2. – С. 779-784.

3. Vacuum pumps installed on pharmaceutical duty / World Pumps – Vol. 2003. – Issue 439 – P. 14.

4. Родионов Ю.В., Попова И.В., Однолько В.Г. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6 (20). – С. 106-111.

5. Rodionov Y.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // Y.V. Rodionov, Y.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.V. Sychev, P.V. Kombarova // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Т. 55. – № 5-6. – С. 473-479.

6. Особенности расчета технологии вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя / П.С. Платицин, Ю.В. Родионов, В.П. Капустин, Д.В. Никитин // Наука в центральной России. – 2016. – № 6 (24). – С. 54–65.

7. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 8-2. – С. 210-217.

8. Bhushan B., Caspers M. An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication // Microsystem Technologies. – 2017. – № 23 (4). – P. 1117–1124.

9. Фролов, Е.С. Вакуумная техника / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова. – М. : Машиностроение, 1985. – 359 с.

10. Иванов, В.И. Вакуумная техника: учеб. пособие / В.И. Иванов. – СПб. : Ун-т ИТМО, 2016. – 129 с.

11. Райзман, И.А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры / И.А. Райзман – Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 1995. – 258 с.

12. Salim M.A., Termiti Z.H., Saad A.M. Mechanical Properties on ABS/PLA Materials for Geospatial Imaging Printed Product using 3D Printer Technology // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. – 2019.

13. Polymer additive manufacturing of ABS structure: Influence of printing direction on mechanical properties / H.R. Dana, F. Barbe, L. Delbreilh [et al.] // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – № 44 (6). – P. 288–298.

14. Mohammed M.I., Wilson D. Effect of layer thickness and cross-section geometry on the tensile and compression properties of 3D printed ABS // Materials Today Communications. – 2019. – № 22 (12).

15. Sheoran A., Kumar H. Fused Deposition modeling process parameters optimization and effect on mechanical properties and part quality: Review and reflection on present research // Materials Today: Proceedings. – 2019. – № 21.

16. Improving the Mechanical Strength of Dental Applications and Lattice Structures SLM Processed / C Cosma, J Kessler, A Gebhardt [et al.] // Materials. – 2020. – № 13 (4). – P. 905.

17. Process optimization for directed energy deposition of SS316L components / P.Y. Lin, F.C. Shen, K.T. Wu [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – № 111 (5-6). – P. 1-14.

18. Mohamed O.A. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects // Advances in Manufacturing. – 2015. – № 3 (1). – P. 45-52.

19. Irwin J.L., Pearce J. M., Glover A.G., Anzalone G. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers / B.T. Wittbrodt, J. Laureto, D. Oppliger [et al.] // Elsevier Ltd. – 2013. – Vol. 23 (6). – P. 713–726.

20. Фарниев, А. С. Анализ свойств материалов, используемых в аддитивных технологиях, и особенности их влияния на формирование внутренних резьб / А. С. Фарниев, П. А. Новиков // Вестник современных технологий. – 2020. – № 3(19). – С. 42-46.

21. Influence of Bed Temperature on Heat Shrinkage Shape Error in FDM Additive Manufacturing of the ABS-Engineering Plastic / Y.H. Choi, Ch.-M. Kim, H.-S. Jeong, J.H. Youn // World Journal of Engineering and Technology. – № 04 (03). – P. 186-192.

22. Minimizing warpage of ABS prototypes built with low-cost fused deposition modeling machine using developed closed-chamber and optimal process parameters / C.-C. Kuo, Y.-R. Wu, M.-H. Li, H.-W. Wu // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 101 (5-8).

References

1. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review / M. C. Karam, J. Petit, D. Zimmer [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2016. – № 188. – R. 32-49.

2. Rodionov Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) // Vestn. Tamb. gos. tehn. un-ta. – 2006. – T. 12. – № 3-2. – S. 779-784.

3. Vacuum pumps installed on pharmaceutical duty / World Pumps – Vol. 2003. – Issue 439 – P. 14.

4. Rodionov Ju.V., Popova I.V., Odnol'ko V.G. Obosnovanie vybora vakuumnyh nasosov dlja konvektivnoj vakuumnoj stupeni sushki rastitel'nyh materialov // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Un-t im. V.I. Vernadskogo. – 2009. – № 6 (20). – S. 106-111.

5. Rodionov Y.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // Y.V. Rodionov, Y.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.V. Sychev, P.V. Kombarova // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – T. 55. – № 5-6. – S. 473-479.

6. Osobennosti rascheta tehnologii vakuumnogo transportirovanija suhih sypuchih rastitel'nyh materialov v rezhime sploshnogo sloja / P.S. Platicin, Ju.V. Rodionov, V.P. Kapustin, D.V. Nikitin // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 6 (24). – S. 54–65.

7. Chemodurov A.N. Primenenie additivnyh tehnologij v proizvodstve izdelij mashinostroenija // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2016. – № 8-2. – S. 210-217.

8. Bhushan B., Caspers M. An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication // Microsystem Technologies. – 2017. – № 23 (4). – R. 1117–1124.

9. Frolov, E.S. Vakuumnaja tehnika / E.S. Frolov, V.E. Minajchev, A.T. Aleksandrova. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 359 s.

10. Ivanov, V.I. Vakuumnaja tehnika: ucheb. posobie / V.I. Ivanov. – SPb. : Un-t ITMO, 2016. – 129 s.

11. Rajzman, I.A. Zhidkostnokol'cevye vakuumnye nasosy i kompressory / I.A. Rajzman – Kazan': Kazanskij gos. tehn. un-t, 1995. – 258 s.

12. Salim M.A., Termiti Z.H., Saad A.M. Mechanical Properties on ABS/PLA Materials for Geospatial Imaging Printed Product using 3D Printer Technology // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. – 2019.

13. Polymer additive manufacturing of ABS structure: Influence of printing direction on mechanical properties / H.R. Dana, F. Barbe, L. Delbreilh [et al.] // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – № 44 (6). – R. 288–298.

14. Mohammed M.I., Wilson D. Effect of layer thickness and cross-section geometry on the tensile and compression properties of 3D printed ABS // Materials Today Communications. – 2019. – № 22 (12).

15. Sheoran A., Kumar H. Fused Deposition modeling process parameters optimization and effect on mechanical properties and part quality: Review and reflection on present research // Materials Today: Proceedings. – 2019. – № 21.

16. Improving the Mechanical Strength of Dental Applications and Lattice Structures SLM Processed / C Cosma, J Kessler, A Gebhardt [et al.] // Materials. – 2020. – № 13 (4). – R. 905.

17. Process optimization for directed energy deposition of SS316L components / P.Y. Lin, F.C. Shen, K.T. Wu [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – № 111 (5-6). – R. 1-14.

18. Mohamed O.A. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects // Advances in Manufacturing. – 2015. – № 3 (1). – R. 45-52.

19. Irwin J.L., Pearce J. M., Glover A.G., Anzalone G. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers / B.T. Wittbrodt, J. Laureto, D. Oppliger [et al.] // Elsevier Ltd. – 2013. – Vol. 23 (6). – P. 713–726.

20. Farniev, A. S. Analiz svojstv materialov, ispol'zuemyh v additivnyh tehnologijah, i osobennosti ih vlijanija na formirovanie vnutrennih rez'b / A. S. Farniev, P. A. Novikov // Vestnik sovremennyh tehnologij. – 2020. – № 3(19). – S. 42-46.

21. Influence of Bed Temperature on Heat Shrinkage Shape Error in FDM Additive Manufacturing of the ABS-Engineering Plastic / Y.H. Choi, Ch.-M. Kim, H.-S. Jeong, J.H. Youn // World Journal of Engineering and Technology. – № 04 (03). – R. 186-192.

22. Minimizing warpage of ABS prototypes built with low-cost fused deposition modeling machine using developed closed-chamber and optimal process parameters / C.-C. Kuo, Y.-R. Wu, M.-H. Li, H.-W. Wu // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 101 (5-8).

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

Зорин Александр Сергеевич – генеральный директор ООО «Техлайн», Россия, г. Тамбов, e-mail: zorin619@bk.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Zorin Alexander – general manager LLC "Techline", Russia, Tambov, email: zorin619@bk.ru.

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, email: vacuum2008@yandex.ru.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.02.2022

УДК 621.516
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69

АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРИВОДА КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

[1,2]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1,2]Родионов Юрий Викторович
[1]Рыбин Григорий Вячеславович
[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Галкин Павел Александрович
[1]Иванов Олег Олегович

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *Применение вакуумных технологий и оборудования в процессах переработки продукции сельского хозяйства позволяет существенно снизить потери биологически активных веществ и функциональных компонентов в конечном продукте. В работе рассмотрены жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН). Существенным недостатком ЖВН является низкий КПД (порядка 50 %), что обусловлено гидравлическими потерями на трение жидкости о неподвижный корпус насоса и перерасходом мощности на сжатия газовой фазы. Предложена новая конструкция комбинированного ЖВН с кинематическим замыканием и регулируемым нагнетательным окном (ЖВН КМ). Установлено, что конструкция позволяет уменьшить затраты мощности на трение рабочей жидкости о корпус; на начальных режимах работы – минимизировать пересжатие и перетекание газовой фазы из области нагнетания в область всасывания; на предельных режимах работы – обеспечить вытеснение газовой фазы из рабочей полости и исключить эффект «запирания», сопровождаемый дестабилизацией рабочего процесса. Представлен типоразмерный ряд ЖВН КМ для различных технологических процессов. Для ЖВН КМ особо большой быстроты действия предложено осуществлять рабочий процесс посредством вращения корпуса с лопатками через спроектированный привод. Описана схема и методика расчета привода на основании ГОСТов и известных методик расчёта зубчатого зацепления. С целью снижения массогабаритных показателей ЖВН КМ предложено изготавливать детали привода и насоса из полимерных материалов с последующим упрочнением магнито-термическим способом.*

Ключевые слова: *жидкостнокольцевой вакуумный насос, повышение эффективности, механический привод, зубчатая передача, мультипликатор, методика расчета.*

ANALYSIS OF THE CALCULATION OF THE DRIVE OF THE COMBINED DESIGN OF A SINGLE-STAGE LIQUID RING VACUUM PUMP

[1,2]Nikitin Dmitry
[1,2]RodionovYuriy
[1]Rybin Gregory