

6. Калиниченко, М. Л. Методика визуальной оценки клевого шва на примере соединения элементов модельных комплектов, созданных из отходов производства / М. Л. Калиниченко // Инновации в природо-обустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Саратов, 16–17 мая 2023 г. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ; редкол.: А. А. Русинов (гл. ред.) [и др.]. – Саратов : Армит, 2023. – С. 546–551.

7. Калиниченко, М. Л. Создание литейных модельных комплектов из отходов производства с помощью технологии склеивания / М. Л. Калиниченко // Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии: сб. тр. Тез. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. – Н. Новгород: [гл ред.] О. В. Гладкова, 2023. – С. 257–258.

8. Калиниченко, М. Л. Создание литейных модельных комплектов на основе пористых пенообразных алюминиевых шлаков / М. Л. Калиниченко // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : материалы 7 Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Гомель, 17 нояб. 2023 г. / Науч.-техн. центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» / Гомель, 2023. – Ч. 2. – С. 16–20.

9. ПВС – Энергоплюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pvs.by/1386/1663/1678/>. – Дата доступа: 12.10.2023.

## **ПРИМЕНЕНИЕ FFF-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ И КОМПОНЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**А. Л. Климентьев<sup>1</sup>, Е. А. Климентьева<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Лепельская центральная районная больница,  
г. Лепель, Беларусь*

*Рассмотрена возможность применения технологии производства наплавлением волокна (FFF; fused filament fabrication) для решения задач оперативного изготовления изделий медицинского назначения на примере канюли переходной для иглы Куликовского и шприца однократного применения типа «Луер».*

**Введение.** Текущий этап развития аддитивных технологий можно охарактеризовать как этап расширения сферы их применения. Аддитивные технологии активно используются в ряде потребительских задач и в некоторых ранее нетрадиционных областях применения. Одной из наиболее доступных и распространенных в настоящее время аддитивных технологий является технология производства направлением волокна (FFF; fused filament fabrication). Данная технология подразумевает избирательное наплавление материала в виде пластикового волокна (филамента) в соответствии с контуром сечения будущего изделия, при этом обычно реализуя послойную стратегию получения изделия. Следует отметить, что сам термин FFF, Fused Filament Fabrication является равнозначным терминам FDM, Fused Deposition Modeling, представляющим торговые марки компании Stratasys, и был введен участниками проекта RepRap для обхода возможных юридических ограничений со стороны компании-правообладателя.

Доступность и распространенность FFF-технологии вкупе с низкой стоимостью входа в нее и низкой себестоимостью используемых материалов делает привлекательной идею ее применения для нужд оперативного изготовления различных компонентов, расходных и ремонтных частей непосредственно в условиях конкретных предприятий и учреждений, в том числе для изготовления изделий и компонентов медицинского назначения.

**Объект.** Одним из подобных компонентов медицинского назначения может служить переходная канюля, которая используется для установки иглы Куликовского на шприцы однократного применения типа «Луер».

Игла Куликовского (рис. 1, *а*) относится к пункционным иглам и представляет собой изогнутую трубчатую иглу с канюлей, предназначенную для прокола и промывания верхнечелюстной пазухи (прокола гайморовой пазухи), рис. 1, *б*.

Для проведения пункции игла Куликовского с помощью переходной канюли устанавливается на шприц многократного применения. При этом конструкция самой иглы и конструкция комплектной переходной канюли не позволяют использовать



Рис. 1. Игла Куликовского (а) и техника проведения (б) пункции верхнечелюстной пазухи [1]

иглу Куликовского с наиболее распространенными в настоящее время шприцами однократного применения (одноразовыми шприцами).

Шприцы однократного применения по способу крепления иглы можно разделить на три типа [2]: «Луер» или «Луер Слип» (Luer/Luer Slip), «Луер-Лок» (Luer-Lock) и несъемный с интегрированной в корпус цилиндра шприца иглой. Наиболее распространенным типом крепления иглы является тип «Луер», при котором игла устанавливается на выступающую часть цилиндра шприца и удерживается в соединении за счет сил трения на посадочных поверхностях, имеющих коническую форму (рис. 2, а).



Рис. 2. Шприц с иглой типа «Луер» однократного применения (а) и 3D-модель переходной канюли для иглы Куликовского (б)

Существуют переходные канюли, позволяющие с помощью короткой трубки установить иглу Куликовского на шприц однократного применения типа «Луер». Эти переходные канюли представляют собой тело вращения с цилиндрической и конической частью и ступенчатым отверстием в нем, аналогично конструкции, представленной на рис. 2, б. Однако потребность в них в условиях отдельно взятого учреждения, как правило, оперативно удовлетворить сложно. Поэтому возможность изготовления непосредственно в организациях и учреждениях представляется весьма актуальной.

**Цель и задачи.** Целью работы является оценка возможности применения технологии производства наплавлением волокна (FFF/FDM-технологии) для оперативного изготовления переходной канюли для иглы Куликовского и шприца однократного применения типа «Луер». В рамках поставленной цели также решались задачи разработки 3D-модели переходной канюли, выбор ориентации модели в рабочем пространстве установки и подбор рациональных значений параметров изготовления.

Геометрическая форма переходной канюли является достаточно простой и особых сложностей для разработки 3D-модели не представляет. Из особенностей геометрической формы можно отметить, что переходной участок ступенчатого отверстия необходимо выполнить таким образом, чтобы с одной стороны не создавать препятствия течению жидкости, а с другой стороны не приводить к сложности при изготовлении канюли. С учетом изготовленного переходной участок ступенчатого отверстия выполнен конической формы с углом наклона образующей  $60^\circ$  (рис. 3). Такая форма и размеры отвечают указанным требованиям и позволяют при вертикальной ориентации модели в рабочем пространстве установки избежать необходимости использования поддержек.

**Материалы и методы.** Изготовление переходной канюли с помощью аддитивных технологий может быть реализовано как прямым, так и непрямым методом, что в целом аналогично подходу к созданию металлических деталей [3]. В первом случае изделие изготавливается непосредственно с помощью одной из

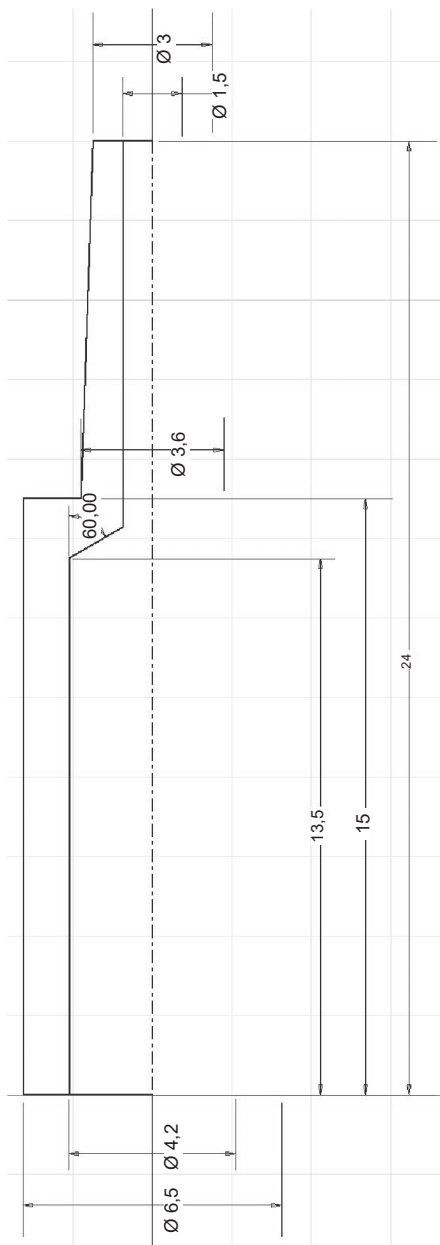


Рис. 3. Базовый эскиз модели переходной канюли с исполнительными размерами

аддитивных технологий, во втором – аддитивные технологии используются для изготовления технологической оснастки или мастер-моделей, с помощью которых уже происходит создание самого изделия. В соответствии с поставленной целью оперативного выпуска изделий и компонентов рациональным будет являться вариант с прямым методом изготовления переходной канюли.

Для производства опытных образцов переходной канюли в качестве материала выбран полилактид (ПЛА, PLA, поли(3,6-диметил-1,4-диоксан-2,5-дион), химическая формула  $(C_3H_4O_2)_n$ ), представляющий собой биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Полилактид существует в виде двух L- и D-стереоизомеров, являющихся зеркальным отображением друг друга. В зависимости от относительного содержания этих форм в полилактиде можно задавать свойства получаемого полимера, а также производить различные классы полилактидных материалов. В качестве основных разновидностей базового материала обычно выделяют два вида полилактида: аморфный полилактид и стереокомплекс из чистых L- и D-линий полилактида [4].

Выбор полилактида обусловлен широким распространением его в качестве материала для 3D-печати, невысокой стоимостью и хорошими технологическими свойствами. Кроме того, ввиду своей биосовместимости, полилактид широко применяется в медицине. Для изготовления опытных образцов переходной канюли использовался один из самых доступных на потребительском рынке в области FFF-технологий 3D-принтер Ender-3 компании Creality.

**Результаты.** При изготовлении опытного образца выбрана вертикальная ориентация модели в рабочем пространстве, поскольку только этот вариант ориентации модели позволяет отказаться от поддержек в центральном отверстии модели.

Следует отметить, что в большинстве профилей в программах-слайсерах, используемых при подготовке управляющих программ для аддитивных установок, значения критического угла наклона поверхности, при превышении которого требуется

использование поддержек, в качестве значения по умолчанию установлено значение  $50^\circ$ . Предварительная серия экспериментов по определению критического значения угла наклона позволила выявить допустимость не использовать поддержки в процессе печати вплоть до значений в  $65^\circ$ .

Рабочие температуры для сопла экструдера и стола установлены в соответствии с рекомендованными производителем значениями для полилактидов и составили  $200^\circ\text{C}$  для сопла и  $60^\circ\text{C}$  для рабочего стола.

Поскольку к переходной канюле не предъявляется особых требований по прочности при изготовлении можно использовать достаточно низкие значения плотности заполнения модели. Опытные образцы (рис. 4, б) изготавливались с плотностью заполнения 10 и 20 %. При этом существенной разницы по расчетному времени изготовления модели при стандартном качестве с учетом размеров модели не выявлено. Так, расчетное время изготовления одного опытного образца при стандартном качестве с толщиной слоя 0,2 мм при использовании сопла  $\varnothing 0,4$  мм, при толщине стенок в 1,2 мм для достаточно широкого диапазона плотности заполнения составляет 10 минут с расчетными затратами материала около 1 г.

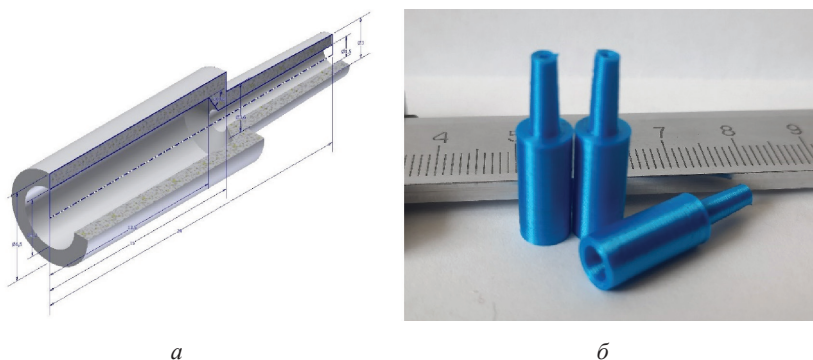


Рис. 4. Твердотельная 3D-модель с размерами (а) и опытный образец (б) переходной канюли для иглы Куликовского и шприца однократного применения типа «Луер»

**Заключение.** Полученные результаты позволяют сделать однозначный вывод о возможности применения технологии производства наплавления волокном (FFF /FDM-технологии) с учетом достижимой точности изготовления, имеющейся разрешающей способности и прочих ограничениях для изготовления изделий и компонентов медицинского применения, в частности канюли переходной для иглы Куликовского и шприца однократного применения типа «Луер». При этом доступность и распространенность как самой технологии, так и материалов (конкретно, полилактида) позволяет реализовать оперативное изготовление подобных изделий и компонентов непосредственно в организациях-потребителях. Следует отметить ряд нерешенных организационно-правовых вопросов в задачах оперативного изготовления изделий и компонентов медицинского назначения. Так, например, возможно необходима сертификация материалов, которые могут применяться для изготовления изделий медицинского назначения. Также следует предусмотреть доступность электронных моделей компонентов в форматах пригодных для производства с помощью аддитивных технологий.

### **Список использованных источников**

1. Операции верхнечелюстной пазухи / lorlor.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lorlor.ru/wiki/operacii-verh-pazuhi/>. – Дата доступа: 01.04.2024.
2. Одноразовые шприцы: виды и особенности конструкции / polymeru.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.polymeru.ru/letter.php?n\\_id=3900&cat\\_id=&page\\_id=2](https://www.polymeru.ru/letter.php?n_id=3900&cat_id=&page_id=2). – Дата доступа: 01.04.2024.
3. Прямое и не прямое изготовление металлических деталей машин с помощью аддитивных технологий / Н. К. Толочко [и др.] // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь : сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (Минск, 21 сент. 2022 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, ГНПО порошковой металлургии; А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2022. – С. 137–145.
4. Полимер инфо – Появление, свойства, преимущества и применение полилактида [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/polilaktid.html>. – Дата доступа: 31.05.2024.