

Тэхналогія і перапрацоўка палімераў і кампазітаў

УДК 004.925.84:615.472:616.35

DOI: <https://doi.org/10.52275/2223-5396-2024-14-2-74-83>**Ж. В. Кадолич, Д. С. Чувашов, С. В. Зотов, В. С. Крот****ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОДНОРАЗОВЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ
АНОСКОП И АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Во введении сделан акцент на актуальность развития аддитивных технологий и их перспективность для создания эксклюзивных изделий медицинской техники в рамках индивидуального заказа пациентов. Цель работы – усовершенствование конструкции одноразового полимерного аноскопа и обоснование возможности его изготовления посредством 3D-печати. В начале основной части приведен обзор конструкций проктологических инструментов. Новые технические решения в данной области ориентированы на совершенствование формы исполнения и размерных параметров элементов устройства с целью повышения степени свободы манипуляций. Далее представлен вариант создания трехмерной модели изделия, которое осуществляли поэтапно с применением программ SolidWorks 2020 от компании Dassault Systems и Ultimaker Cur 5.3.0 от компании Ultimaker путем разработки нескольких перспективных вариантов с выбором наиболее функционального. В качестве материала для 3D-принтинга рекомендован прозрачный ABS-пластик. Длительность печати с применением FDM-технологии составила 2 ч 45 мин при массе изделия 43 г. Предложенный вариант дизайна и конструкции модернизированного аноскопа способен обеспечить максимальный комфорт для пациента: он снижает потенциальный уровень болевых ощущений при выполнении процедуры и минимизирует риск травмы. В заключении подчеркнuto, что возможности аддитивных технологий позволяют в широких пределах варьировать конструкции различных устройств и подбирать применяемые для них материалы, адаптируя их к конкретной задаче и попутно решая проблему импортозамещения. Научная новизна полученных результатов состоит в том, что создана оптимизированная 3D-модель аноскопа и выполнено технологичное готовое изделие. Область применения разработки – технологии переработки полимеров и композитов с целевой задачей конструирования и изготовления изделий медицинской техники.

Ключевые слова: аноскоп, аддитивные технологии, компьютерное моделирование, 3D-принтинг, импортозамещение.

Введение. В настоящее время аддитивные технологии продолжают менять мир и привносить новые возможности развития в различных отраслях, включая машиностроение, медицину, авиацию, архитектуру, дизайн и др. Эти технологии создают удобство и формируют качество жизни. По сравнению с традиционными, аддитивные технологии снижают производственные, временные затраты и риски, связанные с необходимостью использования услуг сторонних поставщиков сырья, материалов, изделий. Кроме того, 3D-технологии позволяют, не прибегая к использованию экструдеров с профилирующими устройствами, сложноорганизованных прессовых, литьевых форм и им подобной оснастки, создавать изделия со сложной геометрией, а также быстро и дешево выпускать малые партии товаров, что особенно важно для стартапов небольших предприятий.

Кадолич Жанна Владимировна, канд. техн. наук, доц., зав. каф. материаловедения в машиностроении ГГТУ им. П. О. Сухого (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: пр-т Октября, 48, 246029, г. Гомель, Беларусь; e-mail: kadolich@gstu.by

Чувашов Дмитрий Сергеевич, инженер ООО «Я Ваш доктор» (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 18, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: Dimawoods@gmail.com

Зотов Сергей Валентинович, канд. техн. наук, доц., ведущий науч. сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: zotov-1969@mail.ru

Крот Виктор Степанович, врач-проктолог, директор ООО «Я Ваш доктор» (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 18, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: Viktor-krot@yandex.ru

Использование 3D-технологий является одним из ключевых направлений развития современной медицины: они позволяют изготавливать значительное количество изделий, которые помогают в диагностировании и лечении, преодолении последствий заболеваний опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых и других распространенных проблем со здоровьем. В числе последних особое место занимают заболевания проктологического характера, вопрос обсуждения которых считается в некоторой степени «неловким, интимным, неудобным». Следует отметить, что в настоящее время проктология – это отдельное направление медицины, специалисты которого занимаются изучением нижних отделов кишечника, параректальной области и их заболеваний. Всего 1% пациентов с симптомами колопроктологических заболеваний обращаются за помощью к врачу-проктологу, но это не снимает актуальности решения вопроса о том, что проктологический медицинский инструментарий в Беларуси является практически полностью импортным, имея при этом ряд функциональных и эргономических недостатков. Поэтому совершенствование конструкций и дизайна проктологических инструментов с целью придания им специализированных функций с обеспечением возможности производства на территории нашей страны – важная задача, ускорить решение которой возможно при условии привлечения специалистов технического профиля, владеющих в том числе знаниями в области аддитивных технологий.

Цель работы – усовершенствование конструкции одноразового полимерного аноскопа и обоснование возможности его изготовления посредством 3D-печати.

Основная часть

Обзор технического уровня. Геморрой, анальная трещина, проктит, пролапс и т.д. – распространенные в современном мире заболевания толстого кишечника, вызванные различными факторами: неправильным питанием, малоподвижным, сидячим образом жизни, инфекциями, травмами, генетикой [1; 2]. Возникшие вследствие этих факторов обстоятельства зачастую требуют медицинского вмешательства [3]. Лечение, в зависимости от тяжести заболевания, может включать в себя не только изменение образа жизни, но и медикаментозную терапию или хирургическое вмешательство. Инструментарий проктологов достаточно обширен и включает большую номенклатуру изделий и приспособлений в разных конструкционных и материальных исполнениях. В частности, используют лапароскопы, колоноскопы, эндоскопы, операционные аноскопы, лазерные аппараты, электрокоагуляторы и другие инструменты [4]. Следует отметить, что не все используемое медицинское оборудование идеально и в настоящее время продолжает совершенствоваться, приобретая новые функции и возможности.

Аноскоп представляет собой медицинское устройство в виде тубуса, которое используется с целью диагностики/лечения различных проктологических заболеваний. Согласно оперативной статистике ООО «Я ваш доктор» (г. Гомель, Республика Беларусь), в год проводится в среднем 420 операций различного характера с использованием аноскопа. Это устройство состоит из двух частей – корпуса и ответной части (обтуратора) и может быть одноразовым и многоразовым, с прямым или косым срезом, П-образным вырезом, с вырезом по всей длине, с портом для подключения световода или без него, с ручкой и без нее.

Внешний вид аноскопа с прямым срезом представлен на рисунке 1а. Такие изделия позиционируются производителями как строго диагностический инструмент, с помощью которого невозможно проводить операционные манипуляции. Изделия с косым срезом (рисунок 1б) большинством производителей также позиционируются как диагностические, хотя многие специалисты используют их и для проведения манипуляций. Изделия с П-образным вырезом (рисунок 1в) и вырезом по всей длине (рисунок 1г) позиционируются как операционные, их предпочитают большинство известных специалистов, а предложений на рынке достаточно много.

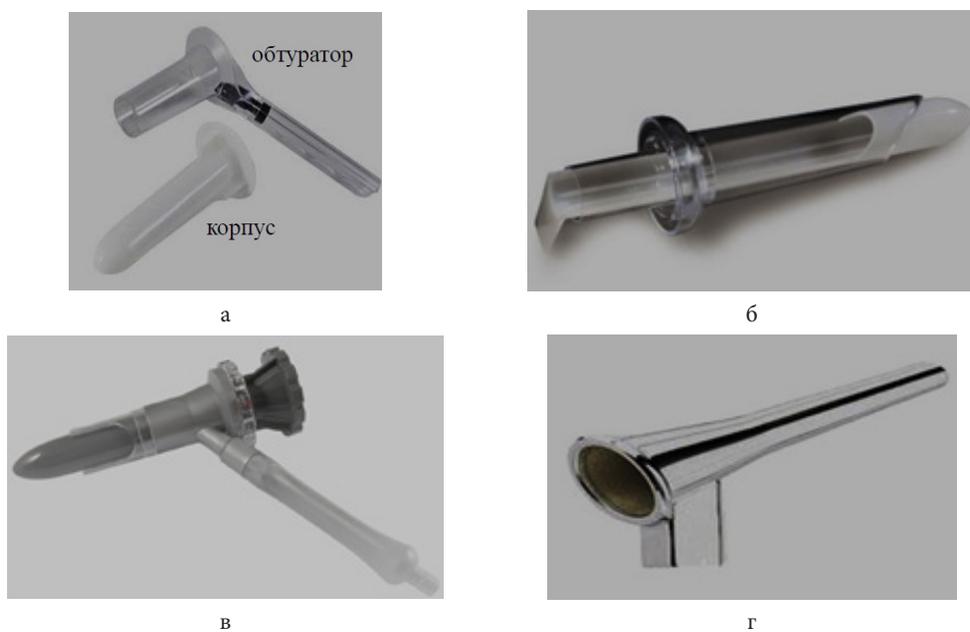
Согласно данным работы [5], распространенными и усовершенствованными аноскопами являются:

– одноразовое устройство для лечения геморроя путем деартериализации геморроидопексии без анестезии или с местной анестезией, показанной при всех типах геморроя. Устройство выполнено из неподвижной части, которая остается в контакте с анодермией и слизистой оболочкой, и вращающейся операционной части, которая включает в себя окно, через которое накладываются швы и шовные материалы;

– аноскоп диагностический с волоконным световодом и обтуратором, представляющий собой коническую трубку со скошенным под углом 45° дистальным концом, жестко закрепленную на корпусе с ручкой и обтуратором, причем световод вмонтирован в ручку и корпус, а ручка имеет штуцер для подсоединения к световодному кабелю, в то время как световод распределен в виде кольца и направлен в сторону дистального конца тубуса. Металлические детали тубусов выполнены из нержавеющей стали без хромникелевого покрытия, корпус электроотполирован с последующим анодированием и имеет матовую поверхность, рабочая поверхность тубусов механически отполирована (не ниже 9-го класса шероховатости поверхности), диаметр тубусов – 25 мм, длина рабочей части тубусов – 70 мм;

– аноскоп хирургический с П-образным вырезом для проведения манипуляций (например, лигирования) и вращающейся относительно оси тубуса ручкой; диаметр тубуса – 28 мм, длина рабочей части – 85 мм;

– проктоскоп, состоящий из тубусов и съемного световодного адаптера, закрепляемого в любом месте по кругу ограничителя тубуса, расположенного на его проксимальном конце. Изделие имеет несколько вариантов исполнения, различающихся диаметром и длиной рабочей части, причем разъем световодного адаптера стыкуется с любыми световодными кабелями.



Пояснения: а – с прямым срезом SapiMed, Италия; б – с косым срезом Heine, Германия; в – с П-образным вырезом HemorPex System, Италия; г – с вырезом по всей длине.

Рисунок 1 – Аноскопы

Более подробная информация об используемых и перспективных конструкциях аноскопов представлена в источниках [4–6]. Среди новых технических решений по данной проблеме можно отметить полезные модели [7–12], отличающиеся формой исполнения проксимального отдела тубуса, обтуратора, ручки и световода, а также различными размерными параметрами элементов с обеспечением возможности их взаимного вращения, что позволяет менять угол наклона инструмента и повышает степень свободы манипуляций. На рынке представлена также необычная модель аноскопа под названием «клюв» (SapiMed, Италия) – безобтурационная, с длинным вырезом по всей длине, кроме концевой части.

Выбор аноскопов по диаметру достаточно широк, причем все производители предлагают большую линейку размеров. Наиболее комфортный диаметр (по данным врача-проктолога) – 24–26 мм (медицинский центр ООО «Я ваш доктор» работает с аноскопами 25 мм, а освещение обеспечивает стандартная смотровая лампа в варианте «из-за плеча»). Что касается длины,

у большинства производителей все более-менее стандартно: рабочая часть у всех вариантов составляет 65–80 мм.

Номенклатура материалов, используемых при производстве аноскопов, может варьировать в зависимости от конструкции устройства. Наиболее распространенными материалами являются нержавеющая сталь, алюминий, стекло, полимеры (полипропилен, поливинилхлорид, полиэтилен и др.). Исходя из опыта проктологов, прозрачные пластиковые изделия удобнее металлических. Они более комфортно воспринимаются пациентом, а прозрачность стенок по всей окружности при использовании позволяет увидеть трудно диагностируемую патологию (например, внутреннее свищевое отверстие). При этом серьезный дефицит наблюдается только в сегменте одноразового инструмента. Производство пластиковых аноскопов методом 3D-печати позволит решить эту проблему при условии невысокой стоимости изделия и обеспечить импортозамещение.

Создание трехмерной модели, усовершенствование конструкции. В работе использовали программы SolidWorks 2020 (Dassault Systems, Франция) и Ultimaker Cur 5.3.0 (Ultimaker, Нидерланды).

Программа SolidWorks 2020 является одним из наиболее популярных инструментов для 3D-моделирования и разработки инженерных конструкций. Она может быть использована для создания в том числе моделей медицинских изделий (имплантаты, протезы, инструменты для хирургии и др.). SolidWorks 2020 дает возможность создавать точные индивидуальные модели медицинских изделий, а также проводить их виртуальное тестирование, что позволяет улучшить качество и эффективность лечения пациентов и повысить уровень оказываемых медицинских услуг.

Программа Ultimaker Cura – широко используемый инструмент для настройки и подготовки 3D-моделей для печати. Программа позволяет настраивать параметры печати: скорость, температуру, заполнение и др.

Для создания 3D-модели за основу был взят одноразовый аноскоп (рисунок 1а), по которому проведены необходимые измерения (толщина стенок, длина, диаметр и т.д.) с использованием измерительного инструмента (штангенциркуль, глубиномер и т.д.).

Совершенствование конструкции аноскопов предполагает улучшение возможностей оптического контроля, приспособление к цифровым системам измерений и повышение уровня компактности и эргономичности. Последние тенденции включают разработку изделий с возможностью удаленного управления, что позволяет сократить время на оценку результатов. По рекомендациям врача-проктолога ООО «Я ваш доктор», необходимо было закрыть переднее отверстие корпуса и убрать ручку для освобождения одной руки врача. Следуя этим пожеланиям, было разработано несколько вариантов аноскопа, более удачные конструкции которых представлены на рисунках 2–4.



Рисунок 2 – Варианты № 1 и № 2 3D-модели корпуса одноразового аноскопа

Варианты № 1 и № 2 удалены из выборки из-за того, что они уменьшают область работы и занимают одну руку врача-проктолога. Варианты № 3 и № 4 подходят в большей степени. На основе опыта лечебной практики сделан окончательный выбор в пользу варианта № 4, поскольку в этом случае, используя медицинский пластырь, возможно приклеить изделие за «язычки» по сторонам к коже пациента, чтобы таким образом освободить руку врача. Обтуратор изделия не имеет существенного значения при проведении операции, поскольку он нужен для более безопасного извлечения аноскопа, чтобы не повредить зону операции.

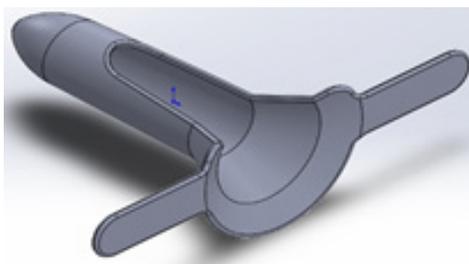


Рисунок 3 – Вариант № 3 3D-модели корпуса одноразового anosкопа с симметрично разнонаправленно расположенными «язычками»

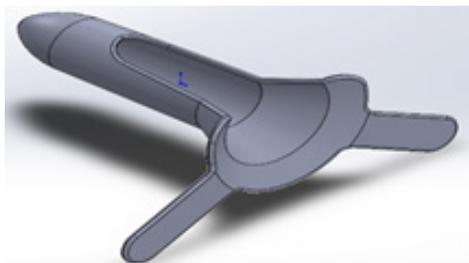
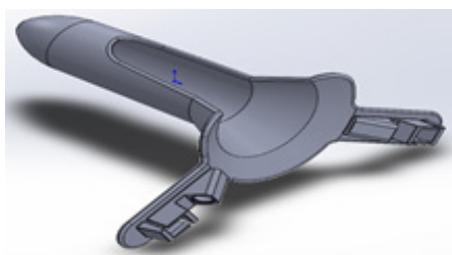


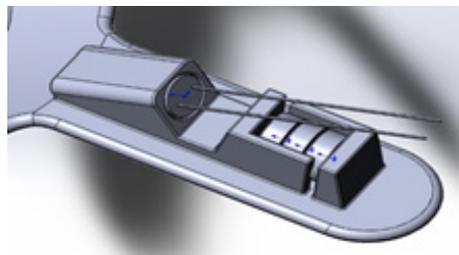
Рисунок 4 – Вариант № 4 3D-модели корпуса одноразового anosкопа с «язычками», расположенными под углом

Для улучшения функциональности изделия целесообразным было добавить освещение. Для разового освещения выбрана диодная LED-лампочка белого холодного света и 3 щелочные батарейки-таблетки LR626. Для добавления данной функции видоизменили корпус, добавив отверстие на «язычках» для лампочки и отсек для батареек. На рисунке 5а представлена 3D-модель корпуса anosкопа с функцией подсветки, на рисунке 5б – сборка осветительной части устройства. Светодиод расположен таким образом, чтобы часть светового потока поступала в объем материала и посредством преломления света освещала объект исследования изнутри, тем самым позволяя диагностировать различные аномалии. Вторая часть светового потока проходит через материал и освещает непосредственно область операции, способствуя большей освещенности.

Итоговый вариант изделия представляет собой инновационное решение, которое не только создает условия для максимально точного и эффективного исследования области прямой кишки, но и обладает удобством использования для пациента и врача – обеспечивает максимальный комфорт и минимизирует риск травмы и болей при выполнении процедуры.



а



б

Пояснения: а – корпус операционного anosкопа; б – с функцией подсветки.

Рисунок 5 – 3D-модели anosкопов

Оптимизация технологического процесса 3D-принтинга. Для изготовления anosкопа использовали 3D-принтер. С учетом особенностей продукции, вида обрабатываемого материала и производственной программы следовало выбрать оптимальный вариант аддитивного технологического процесса, пригодный для выполнения поставленной производственной задачи.

FDM – самая распространенная технология 3D-печати в мире. К ней адаптированы как дешевые домашние принтеры, так и промышленные системы высокоточной 3D-печати [13–18]. Принцип построения по технологии FDM заключается в послойном «выращивании» изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити. Выбор нами принтера (таблица 1) обоснован тем, что он имеет низкую цену, хорошую точность и высокую скорость печати, большую область печати, возможность печати большим количеством разных материалов, т.е. обладает большим коэффициентом по соотношению цены и качества.

Таблица 1 – Данные по выбранному FDM-принтеру

Наименование оборудования	Завод-изготовитель, страна	Примерная стоимость оборудования, BYN	Краткая характеристика оборудования	Источник информации (№ ссылки в списке литературы)
Anycubic Kobra Max	Anycubic, Китай	2030	1 экструдер, открытый корпус, подогрев стола 90 °С, экструдер 260 °С, скорость 180 мм/с, область печати 400 × 400 × 450 мм	[13]

Материал для печати одноразового аноскопа должен отвечать трем основным условиям: иметь хорошую светопроводимость, достаточную прочность, быть нетоксичным. Этим условиям отвечает ряд полимеров [19–22]. Для FDM наиболее подходящими представляются акрилонитрилбутадиенстирол (ABS), поливинилбутираль (PVB), полипропилен (PP). После анализа рынка в качестве материала для FDM-принтера был выбран Transparent ABS. В числе критериев выбора материала значился факт необходимости проведения стерилизации изделия на финише производственного процесса.

Таблица 2 – Данные по полимерному материалу для 3D-печати

Наименование материала	Завод-поставщик, страна	Цена материала, BYN/кг	Краткая характеристика материала	Источник информации (№ ссылки в списке литературы)
Transparent ABS	SolidFilament, Китай	45	– устойчив к воздействию различными химическими соединениями (щелочь, соль, кислоты); – выдерживает механические нагрузки и перепады температур; – растворяется в ацетоне, что позволяет полировать модель и корректировать некоторые детали	[22]

Технологический процесс 3D-принтинга разрабатывали в программе Ultimaker Cura. В рабочей камере деталь можно расположить различным образом, от чего зависит качество печати, наличие поддержек и количество расходуемого материала. Наименьшее количество поддержек (а вследствие уменьшения расхода потребляемого материала – и более быстрая печать) будет достигнуто при расположении детали вертикально. Поддержки необходимы в отверстиях и нависающей части цилиндрической поверхности. Деталь при таком расположении будет устойчивой. При этом за счет меньшего количества поддержек уменьшается масса изделия.

Для печати использовали сопло 0,4 мм, которое выбрано по причине наименьшего времени печати, возможности получения качественной поверхности изделия и наиболее подходящей прочности детали.

На качество печати влияет не только расположение детали, но и сцепление первого слоя изделия со столом принтера. В настройках принтера есть параметр «тип прилипания к столу», и именно его значения необходимо задать для обеспечения надежного сцепления первого слоя детали и стола принтера. Деталь достаточно устойчива, поэтому для улучшения прилипания пластика к столу будет достаточно каймы. При ширине каймы 7 мм обеспечивается устойчивость поддержки и отсутствие провисания. Количество линий каймы – 40. Таким образом, за счет назначения отдельных элементов параметра «Тип прилипания к столу» обеспечивается хорошее сцепление первого слоя детали со столом принтера, что дает возможность избежать деформации детали в дальнейшем.

С целью достижения нормального разрешения печати при средней скорости высота слоя установлена 0,3 мм. От этого параметра будут зависеть такие показатели, как слои крышки, дна, минимальная ширина оболочки при расширении, толщина слоя заполнения, обычная скорость вентилятора на высоте и на слое, толщина слоя заполнения поддержек. Высота первого слоя составила 0,3 мм, ширина линии соответствует диаметру сопла – 0,4 мм.

Деталь должна иметь достаточную прочность и жесткость, и для достижения таких качеств достаточно 3 линий стенки толщиной 1,3 мм. Чтобы лучше спрятать шов после печати внешней стенки, добавлено расстояние перемещения 0,2 мм (расстояние очистки внешней стенки).

Толщина крышки и толщина дна влияют на количество их слоев. Исходя из того, что оба эти параметра равны 1,2 мм, количество слоев крышки и дна – 4. Количество начальных слоев дна вверх от рабочего стола – 4.

Величина перекрытия между стенками и центральными линиями оболочки установлена равной 50 %. Это позволяет стенкам надежно соединиться с оболочкой. Процент перекрытия оболочек влияет на перекрытие оболочек. Этот параметр составляет 0,06 мм.

Стандартной температурой печати прозрачного ABS-пластика является диапазон от 240 до 260 °С. В нашем случае принято значение 245 °С. Температура подогрева стола может быть от 80 до 115 °С. В работе установлено значение 85 °С. Начальная температура печати меньше температуры сопла и температуры печати первого слоя. Начальная температура печати – 245 °С, конечная температура (до которой можно начать охлаждать сопло перед окончанием печати) – 235 °С.

Поскольку изделие не имеет сложных форм, то скорость печати установлена равной 60 мм/с. От скорости зависит скорость заполнения, поэтому ее устанавливаем также 60 мм/с. Чтобы оболочки, крышка и дно печатались более качественно, установлена скорость их печати 30 мм/с. Скорость печати первого слоя не влияет на структуры печатной пластины, но влияет на прилипание материала, поэтому, чтобы материал лучше прилипал к столу, скорость первого слоя установлена 30 мм/с. Скорость перемещения на первом слое предотвращает отлипание напечатанных частей от стола и автоматически вычисляется программой.

Оптимальной величиной отката для ABS будет значение 6,5 мм. Дистанция обхода между соплом и уже напечатанными частями – 0,75 мм. Для вентилятора выставлены обычные значения, которые предлагает слайсер. Плотность заполнения можно выбрать в параметре «Заполнение». Размеры и вес детали невелики. Для обеспечения надежности изделия установлен параметр перекрытия 20 %. Это влияет на слои крышки, дна, дистанцию линий заполнения, перекрытия заполнения, толщину опоры края оболочки. Дистанция линий заполнения вычисляется из плотности заполнения и ширины линии заполнения и определена равной 6 мм. Поскольку заполнение достаточно плотное, в перекрытии заполнения нет необходимости, поэтому процент перекрытия заполнения будет равен 0.

Поддержки генерируются не только от стола, а везде, поскольку при построении детали есть отверстия, которые находятся вне зоны стола. Чтобы поддержки были крепкими и простыми, для удаления, выбираем тип поддержки «зигзаг». Для облегчения удаления поддержки плотность выбрана равной 15 %.

После всех настроек деталь готова к 3D-печати. Файл модели сохраняется в формате «g-code», после чего производится печать. Результатом моделирования стало готовое изделие (с obturatorом) весом 43 г, а время его 3D-печати составило 2 ч 45 мин.

Ориентировочная себестоимость «нового» аноскопа (по состоянию на 2023 г.) составляет 1,5 белорусского рубля (без элементов освещения), что позволяет надеяться на перспективность предлагаемого варианта его производства. Ряд технико-экономических данных приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технико-экономические показатели технологического процесса изготовления аноскопа

Наименование показателей	Значение для процесса FDM-печати
Объем выпуска продукции в год, шт.	420
Количество технологического оборудования, шт. (3D-принтер)	1
Себестоимость продукции, шт./BYN	0,99
Численность работающих, чел.	2
Стоимость основных средств, BYN	14 407,5
Оборотный капитал, BYN	54,8
Инвестиции, BYN	14 462,3

Заключение. Применение 3D-технологий в переработке полимеров и композитов является мировым трендом сегодняшнего дня. Применительно к созданию эксклюзивных изделий медицинской техники, с помощью 3D-моделирования и печати возможно развитие способов изготовления практически всех видов протезов (шейный позвонок, суставы, сосуды), выращивания органов и тканей (сердце, почки, печень, роговица глаза, среднее ухо и их элементы, искусственные зубы), получение лекарственных форм, индивидуальных датчиков, детекторов и т.п. [21]. Кроме того, возможности аддитивных технологий позволяют в широких пределах варьировать конструкции различных устройств и подбирать применяемые для них материалы, адаптируя их к конкретной медицинской задаче.

В настоящей работе продемонстрированы технологические возможности 3D-печати полимерного одноразового аноскопа, модель которого выполнена с учетом имеющегося опыта подобных разработок и с применением современных компьютерных программ. Оптимизация конструкции изделия основывалась на ряде известных для проктологов критериев, состояла из последовательных этапов и включала несколько вариантов, из которых выбран наиболее функциональный. Благодаря использованию современных технологий и материалов, предложенный вариант дизайна и конструкции модернизированного ректального аноскопа способен обеспечить максимальный комфорт для пациента: он снижает потенциальный уровень болевых ощущений при выполнении процедуры и минимизирует риск травмы внутренних органов, а также обеспечивает максимально точное и эффективное исследование области прямой кишки и улучшает эргономические условия клинической практики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобородов, В. А. Заболевания прямой кишки и анального канала в амбулаторной практике : учеб. пособие / В. А. Белобородов, А. П. Фролов. – Иркутск : ИГМУ, 2020. – 85 с.
2. Назаров, А. А. Доброкачественные заболевания прямой кишки : учеб. пособие для студентов / А. А. Назаров. – Благовещенск : Амурская гос. мед. акад., 2011. – 92 с.
3. Алексеев, С. А. Основы колопроктологии : учеб. пособие / С. А. Алексеев, В. А. Гинюк. – Минск : Вышэйшая школа, 2019. – 160 с.
4. Оборудование для аноскопии [Электронный ресурс] // anoscope.ru. – Режим доступа : https://www.anoscope.ru/obzor/article_anoscopes.htm. – Дата доступа : 10.08.2023.
5. Аноскопы [Электронный ресурс] // Медицинские технологии Урала. – Режим доступа : <http://medtehurstal.ru/oborudovanie/proktologicheskoe-oborudovanie/anoskopy>. – Дата доступа : 10.08.2023.
6. Колоректальная хирургия: типы ректоскопов [Электронный ресурс] // Uni-Tech. – Режим доступа : <https://www.uni-tec.su/obzori/1481-kolorektalnaya-khirurgiya-tipy-rektoskopov.html>. – Дата доступа : 10.08.2023.
7. Аноскоп : полез. модель RU 132698 / Р. А. Ахмадуллин, Б. Н. Юсупов, Л. И. Кириллова. – Опубл. 27.09.2013.

8. Аноскоп операционный : полез. модель RU 55265 / В. В. Григорян, А. И. Гинзбург. – Оpubл. 10.08.2006.
9. Аноскоп : полез. модель RU 105571 / А. Ю. Титов, И. В. Костарев. – Оpubл. 20.06.2011.
10. Проктоскоп-аноскоп : полез. модель RU 24359 / А. Л. Ломоносов, Д. А. Ломоносов. – Оpubл. 10.08.2002.
11. Аноскоп для трансанального иссечения слизистой прямой кишки : полез. модель RU 24627 / А. Л. Ломоносов, Д. А. Ломоносов. – Оpubл. 20.08.2002.
12. Вращающийся аноскоп : пат. RU 2715448 / Ф. Снас, А. Манка. – Оpubл. 28.02.2020.
13. Принтер Anycubic Kobra Max [Электронный ресурс] // Onliner. – Режим доступа : <https://catalog.onliner.by/3dprinter/anycubic/kobramax>. – Дата доступа : 16.05.2023.
14. Принтер Flyingbear Reborn 2 [Электронный ресурс] // Onliner. – Режим доступа : <https://catalog.onliner.by/3dprinter/flyingbear/flbreborn2>. – Дата доступа : 16.05.2023.
15. Принтер Picaso 3D Designer Classic [Электронный ресурс] // Onliner. – Режим доступа : <https://catalog.onliner.by/3dprinter/picaso3d/designerclassic>. – Дата доступа : 16.05.2023.
16. Принтер Anycubic Photon M3 Max [Электронный ресурс] // Onliner. – Режим доступа : <https://catalog.onliner.by/3dprinter/anycubic/photonm3max>. – Дата доступа : 16.05.2023.
17. Принтер 3DIY REX 6K Mono [Электронный ресурс] // Top 3D Shop. – 2013–2024. – Режим доступа : <https://top3dshop.ru/kupit-3d-printer/3diy-rex-6k-mono.html>. – Дата доступа : 16.05.2023.
18. Принтер Phrozen Sonic Mega 8K [Электронный ресурс] // Onliner. – Режим доступа : <https://catalog.onliner.by/3dprinter/phrozen/phsonicmega8k>. – Дата доступа : 16.05.2023.
19. Жуков, А. В. Пластмасы для аддитивных технологий (обзор) / А. В. Жуков, А. А. Никифоров, А. С. Яковичин // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2021. – № 4 (91). – С. 57–69.
20. Поздняков, Е. П. Материалы аддитивного синтеза : пособие / Е. П. Поздняков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 283 с.
21. Путеводитель по 3D-печати в медицине [Электронный ресурс] // Vectorus. – 2024. – Режим доступа : <https://vectorus.ru/blog/3d-tehnologii-v-meditsine.html#3d-modelirovanie-v-medicine>. – Дата доступа : 10.08.2023.
22. ABS пластик 1,75 SolidFilament прозрачный 1 кг [Электронный ресурс] // Top 3D Shop. – 2013–2024. – Режим доступа : <https://top3dshop.ru/materiali/solidfilament-abs-1-75-1kg-natural.html>. – Дата доступа : 16.05.2023.

Поступила в редакцию 01.08.2024.

“Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science”

Vol. 14, No. 2, 2024, pp. 74–83

DOI: <https://doi.org/10.52275/2223-5396-2024-14-2-74-83>

© Yanka Kupala State University of Grodno, 2024

Domestic disposable polymer anoscope and additive technology for its production

Kadolich Zh.¹, Chuvashov D.², Zotov S.³, Krot V.⁴

¹ Sukhoi State Technical University of Gomel (Belarus)

Oktiabria Ave., 48, 246029, Homel, Belarus; e-mail: kadolich@gstu.by

² LLC “I am your doctor” (Belarus)

Kirova St., 18, 246050, Homel, Belarus; e-mail: Dimawoods@gmail.com

³ V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)

Kirova St., 32a, 246050, Homel, Belarus; e-mail: zotov-1969@mail.ru

⁴ LLC “I am your doctor” (Belarus)

Kirova St., 18, 246050, Homel, Belarus; e-mail: Viktor-krot@yandex.ru

Abstract. The introduction emphasizes the relevance of additive technologies development and their potential for creating exclusive medical equipment products within the framework of individual patient orders. The purpose of the work is to improve the design of a disposable polymer surgical anoscope and substantiate the possibility of its manufacture using 3D printing. At the beginning of the main part, an overview of the designs of proctological instruments is given. New technical solutions in this area are aimed at improving the form of execution and dimensional parameters of the device elements in order to increase the degree of freedom of manipulation. Below is an option for creating a three-dimensional model of the product, which was carried out in stages using SolidWorks 2020 from Dassault Systems and Ultimaker Cur 5.3.0 from Ultimaker by developing several promising options and choosing the most functional one. Transparent ABS plastic is recommended as a material for 3D printing. The printing time using FDM technology was 2 hours 45 minutes with a product weight of 43 g. The proposed design and construction of the modernized surgical anoscope can provide maximum comfort for the patient – it reduces the potential level of pain during the procedure and minimizes the risk of injury.

In conclusion, it is emphasized that the capabilities of additive technologies allow for a wide range of variations in the designs of various devices and the selection of materials used for them, adapting them to a specific task and simultaneously solving the problem of import substitution. The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that an optimized 3D model of the anoscope was created and a technologically advanced finished product was manufactured. The scope of application of the development is polymer and composite processing technologies with the target task of designing and manufacturing medical equipment.

Keywords: anoscope, additive technologies, computer modeling, 3D printing, import substitution.

References

1. Beloborodov V. A., Frolov A. P. Diseases of the rectum and anal canal in outpatient practice [*Zabolevaniia priamoj kishki i anal'nogo kanala v ambulatornoi praktike : ucheb. posobie*]. Irkutsk, 2020, 85 p.
2. Nazarov A. A. Benign diseases of the rectum [*Dobrokachestvennye zabolevaniia priamoj kishki : ucheb. posobie dlia studentov*]. Blagoveschensk, 2011, 92 p.
3. Alekseev S. A., Ginyuk V. A. Basics of coloproctology [*Osnovy koloproktologii : ucheb. posobie*]. Minsk, 2019, 160 p.
4. Equipment for anoscopy [*Oborudovanie dliia anoskopii*]. *anoscope.ru* [Electronic resource].
5. Anoscops [*Anoscopy*]. *Medical technologies of the Urals* [Electronic resource].
6. Colorectal surgery: types of rectoscopes [*Kolorektal'naiia khirurgiia : tipy rektoskopov*]. *Uni-Tech* [Electronic resource].
7. Akhmadullin R. A., Yusupov B. N., Kirillova L. I. Anoscop [*Anoskop*] : utility model RU 132698. Publ. date Sept. 27, 2013.
8. Grigor'an V. V., Ginzburg A. I. Operating anoscope [*Anoskop operatsionnyi*] : utility model RU 55265. Publ. date Aug. 10, 2006.
9. Titov A. Yu., Kostarev I. V. Anoscope [*Anoskop*] : utility model RU 105571. Publ. date June 20, 2011.
10. Lomonosov A. L., Lomonosov D. A. Proctoscope-anoscope [*Proktoskop-anoskop*] : utility model RU 24359. Publ. date Aug. 10, 2002.
11. Lomonosov A. L., Lomonosov D. A. Anoscope for transanal excision of the rectal mucosa [*Anoskop dlia transanal'nogo issecheniia slizistoi priamoj kishki*] : utility model RU 24627. Publ. date Aug. 20, 2002.
12. Sias F., Manka A. Rotating anoscope [*Vrashchaiushchiisia anoskop*] : pat. RU 2715448. Publ. date Feb. 28, 2020.
13. Printer Anycubic Kobra Max. *Onliner* [Electronic resource].
14. Printer Flyingbear Reborn 2. *Onliner* [Electronic resource].
15. Printer Picaso 3D Designer Classic. *Onliner* [Electronic resource].
16. Printer Anycubic Photon M3 Max. *Onliner* [Electronic resource].
17. Printer 3DIY REX 6K Mono. *Top 3D Shop*, 2013-2024 [Electronic resource].
18. Printer Phrozen Sonic Mega 8K. *Onliner* [Electronic resource].
19. Zhukov A. V., Nikiforov A. A., Yakovishin A. S. Plastic materials for additive technologies (review) [*Plastmassy dlia additivnykh tekhnologii (obzor)*]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, No. 4 (91), pp. 57-69.
20. Pozdnyakov E. P. Materials of additive synthesis [*Materialy additivnogo sinteza : posobie*]. Homel, 2021, 283 p.
21. A Guide to 3D Printing in Medicine [*Putevoditel' po 3D-pechati v meditsine*]. *Vectorus*, 2024 [Electronic resource].
22. ABS plastic of 1.75 SolidFilament transparent 1 kg [*ABS plastic plastic SolidFilament prozrachnyi*]. *Top 3D Shop*, 2013-2024 [Electronic resource].

