

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»



Н. Н. Попок
С. А. Портянко
Д. А. Шелепень

МЕТОДИКА ПОЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА POLYSHER

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности 6-05-0722-05
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой

2026

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 621.923:681.5 (075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
механико-технологического факультета (протокол № 4 от 29.10.2025)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

©Попок Н. Н., Портянко С. А., Шелепень Д. А., 2026
© Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, 2026

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Методика полирования изделий, полученных методом 3D-печати, с применением устройства Polysher» Н. Н. Попок, С. А. Портянко, Д. А. Шелепень использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

ПОПОК Николай Николаевич
ПОРТЯНКО Сергей Анатольевич
ШЕЛЕПЕНЬ Дмитрий Александрович

**МЕТОДИКА ПОЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ
УСТРОЙСТВА POLYSHER**

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности 6-05-0722-05
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано к использованию 26.01.2026.
Объем издания 1,10 Мб. Заказ 33.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ.....	5
2 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
3 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	10
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	11
4.1 Подготовка изделий к химической постобработке	11
4.2 Установка и эксплуатация устройства Polysher	14
4.3 Измерение результатов.....	15
5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	17
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	17
ЛИТЕРАТУРА.....	19

Полирование изделий, полученных методом 3D-печати, с применением устройства Polysher входит в образовательный стандарт для специальности 6-05-0722-05 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» модуля «Технология и оборудование» учебной дисциплины «Оборудование для трехмерных технологий».

Цель работы: изучение методики полирования изделий, изготовленных методом 3D-печати из поливинилбутираля, с применением устройства Polysher.

1 ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие технические средства:

1. Устройство Polysher – специализированное оборудование для постобработки изделий, изготовленных из PVB-пластика, с использованием изопропилового спирта.

2. PVB-филамент – материал, совместимый с технологией химического сглаживания в устройстве Polysher.

3. Изопропиловый спирт (IPA) с концентрацией **не менее 70%** – химический реагент, обеспечивающий растворение поверхностного слоя PVB-изделия для сглаживания.

4. Средства индивидуальной защиты (СИЗ) – перчатки, защитные очки, маска (при непосредственной работе с IPA).

5. Пинцет (или перчатки) – инструмент для безопасного извлечения обработанных образцов из камеры устройства Polysher.

6. Весы лабораторные – для измерения массы образцов до и после обработки (при необходимости).

7. Видеоизмерительный микроскоп фирмы Norgau модели NVM-4030D – для высокоточного измерения геометрических параметров формы, размеров и анализа поверхности изделий до и после полирования.

8. Микрометр и штангенциркуль – приборы для определения линейных размеров образцов (при необходимости).

2 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Несмотря на технологическую точность, изделия, полученные методом FDM, обладают характерной слоистой поверхностью (рисунок 1). Обусловлено это толщиной отдельных слоев и особенностями движения печата-

ющей головки. Поверхностные неровности и дефекты, возникающие при послойной печати, могут негативно сказаться как на внешнем виде, так и на механических свойствах (аэродинамика, гидродинамика или износостойкость) [1, 2].



Рисунок 1. – Характерная поверхность после FDM-печати

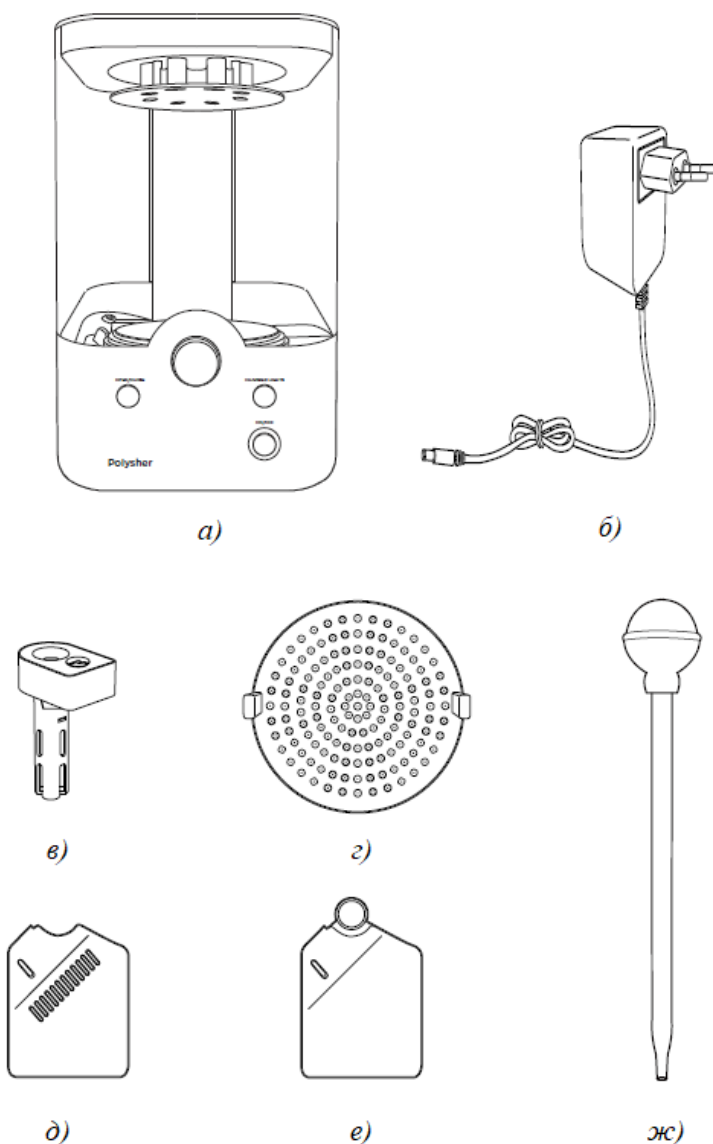
Сглаживание поверхности пластиковых изделий, особенно после 3D-печати, может осуществляться различными способами в зависимости от типа материала и требуемого качества. Один из самых распространенных методов – механическая обработка, при которой поверхность шлифуется вручную или с помощью инструментов. Это позволяет устранить слоистость и добиться ровной текстуры, особенно на пластиковых материалах.

Другим эффективным подходом является химическое сглаживание. Например, изделия из ABS-пластика можно обработать парами ацетона, что приводит к частичному растворению верхнего слоя и выравниванию поверхности. Для PVB применяется изопропиловый спирт, который распыляется в виде аэрозоля внутри устройства Polysher – это создает контролируемую среду, в которой поверхность изделия становится однородной и с минимальной шероховатостью. В случае PLA иногда используют этилацетат, хотя он требует осторожного обращения [3].

В связи с этим методы постобработки, такие как химическое полирование (сглаживание), приобретают особую значимость в процессе 3D-печати, обеспечивающее высокое качество поверхности без применения трудоемких и не всегда точных механических операций.

Также существует термическое сглаживание, при котором поверхность пластика слегка плавится под действием теплового воздуха или инфракрасного излучения. Этот метод может быть эффективным, но требует точного контроля температуры, чтобы избежать деформации изделия.

Наконец, комбинированные методы, такие как предварительное шлифование с последующим химическим воздействием или нанесением лака, позволяют достичь высокого качества поверхности, особенно если изделие предназначено для визуального восприятия или функционального применения.



а – устройство Polysher – 1 шт.; *б* – блок питания – 1 шт.; *в* – небулайзеры – 2 шт.; *г* – платформы – 2 шт.; *д* – крышка резервуара типа «решетка» – 1 шт.; *е* – сплошная крышка резервуара – 1 шт.; *ж* – пипетка для забора жидкости – 1 шт.

Рисунок 2. – Комплект поставки оборудования

Для начала установки устройства Polysher необходимо разместить его на ровной и устойчивой поверхности.

После подключения к электросети произведите запуск устройства с помощью кнопки включения на передней панели. При этом должен прозвучать приветственный сигнал, кратковременно загорится дисплей таймера, а вокруг кнопки будет светиться синее кольцо, указывающее на успешный запуск (рисунок 3).

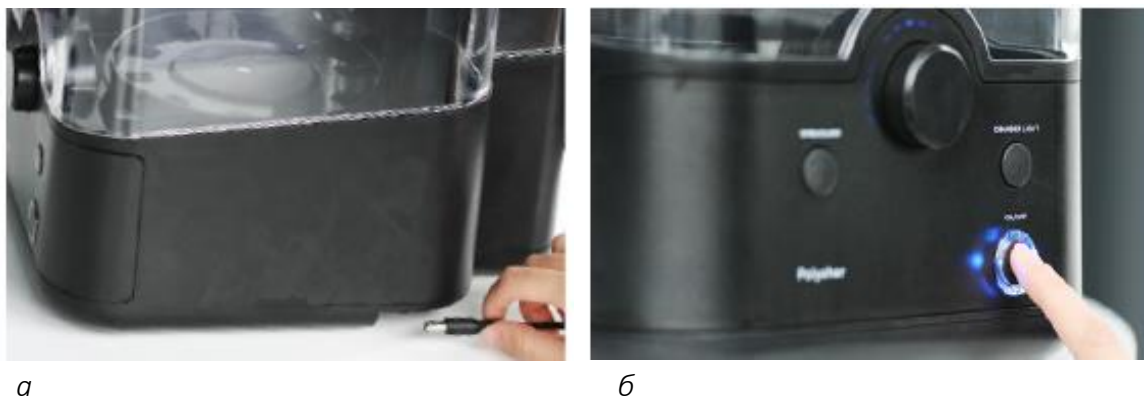


Рисунок 3. – Подключение (а) и запуск (б) устройства

Для открытия камеры воспользуйтесь кнопкой «Open/Close» – подъемный механизм автоматически примет верхнее положение и остановится. Затем аккуратно поднимите прозрачную крышку и зафиксируйте ее на ободке вентилятора, как показано на изображении в инструкции (рисунок 4).

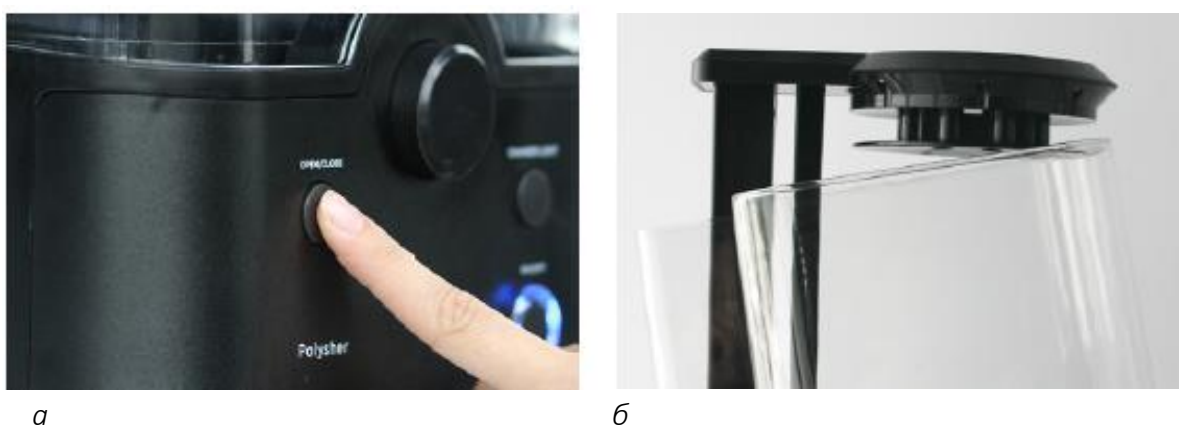


Рисунок 4. – Открытие (а) и снятие (б) крышки устройства

Установите распылитель (Nebulizer), плотно вставив его в соответствующее гнездо. Убедитесь, что соединение надежное и распылитель установлен правильно – это важно для корректной работы устройства.

Заполните резервуар спиртом до верхнего края. Допускается использование изопропилового спирта с концентрацией 70% и выше; рекомендуется применять спирт с концентрацией 90% и более (рисунок 5).

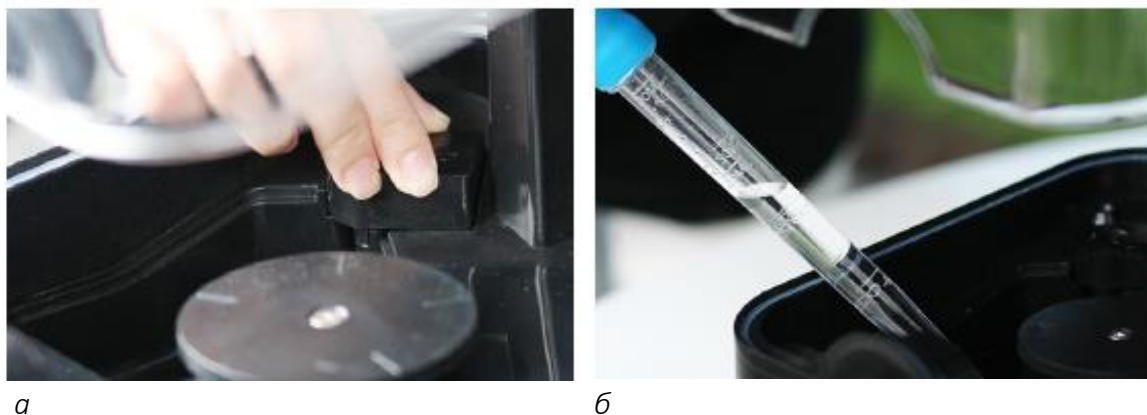


Рисунок 5. – Установка распылителя (а) и заполнение (б) резервуара

Поместите рифленую крышку поверх резервуара. Разместите платформу на приподнятом лотке, когда устройство Polysher полностью открыто. Затем нажмите кнопку открытия/закрытия, чтобы опустить платформу внутрь устройства (рисунок 6).



Рисунок 6. – Установка крышки (а) и платформы (б) внутри устройства

Управляющая ручка поворачивается по часовой стрелке до установки требуемой продолжительности цикла полирования. Из распылителя подается поток спиртового тумана, а изделие вращается на платформе. Через несколько минут туман заполнит всю камеру.

Время обработки можно изменять в любой момент во время цикла – каждый светящийся сегмент на дисплее соответствует временному

интервалу в 5 мин. Оптимальное время зависит от концентрации спирта, температуры окружающей среды, размера изделия, состояния распылителя и других факторов. В среднем рекомендуется диапазон от 20 до 40 мин.

Для включения и выключения освещения камеры, нажав кнопку Chamber Light (подсветка камеры). Цвет подсветки тумана можно изменить, нажав на управляющую ручку и вращая ее до появления нужного цвета (рисунок 7).



а



б

Рисунок 7/ – Начало работы полирования (а)
и освещение камеры (б) устройства

Теперь можно извлечь платформу из устройства Polysher. Изделие следует оставить сушиться примерно на один час перед тем, как аккуратно его использовать. При необходимости можно использовать вторую платформу для полирования другого изделия [4].

3 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При работе с устройством Polysher необходимо строго соблюдать меры безопасности, особенно учитывая, что изопропиловый спирт (IPA), используемый в процессе, является легковоспламеняющимся веществом. Устройство ни в коем случае не должно эксплуатироваться рядом с открытым огнем, искрами или источниками тепла – это может привести к возгоранию.

Для безопасной и эффективной работы следует использовать исключительно чистый изопропиловый спирт, не содержащий примесей других растворителей. Применение неподходящих жидкостей может не только

повредить устройство, но и значительно повысить риск взрыва. Поэтому перед использованием важно внимательно проверять информацию на упаковке спирта.

Устройство должно размещаться на ровной, устойчивой поверхности, чтобы избежать пролива жидкости во время работы. Также необходимо обеспечить хорошую вентиляцию помещения, поскольку пары и аэрозоль IPA могут быть вредны при вдыхании. Работа с Polysher требует использования средств индивидуальной защиты – особенно важно избегать длительного контакта спирта с кожей и глазными оболочками. В случае попадания IPA в глаза следует немедленно обратиться к инструкции производителя спирта.

Категорически запрещено употреблять изопропиловый спирт внутрь. При случайном проглатывании необходимо срочно обратиться за медицинской помощью, предоставив упаковку или этикетку вещества.

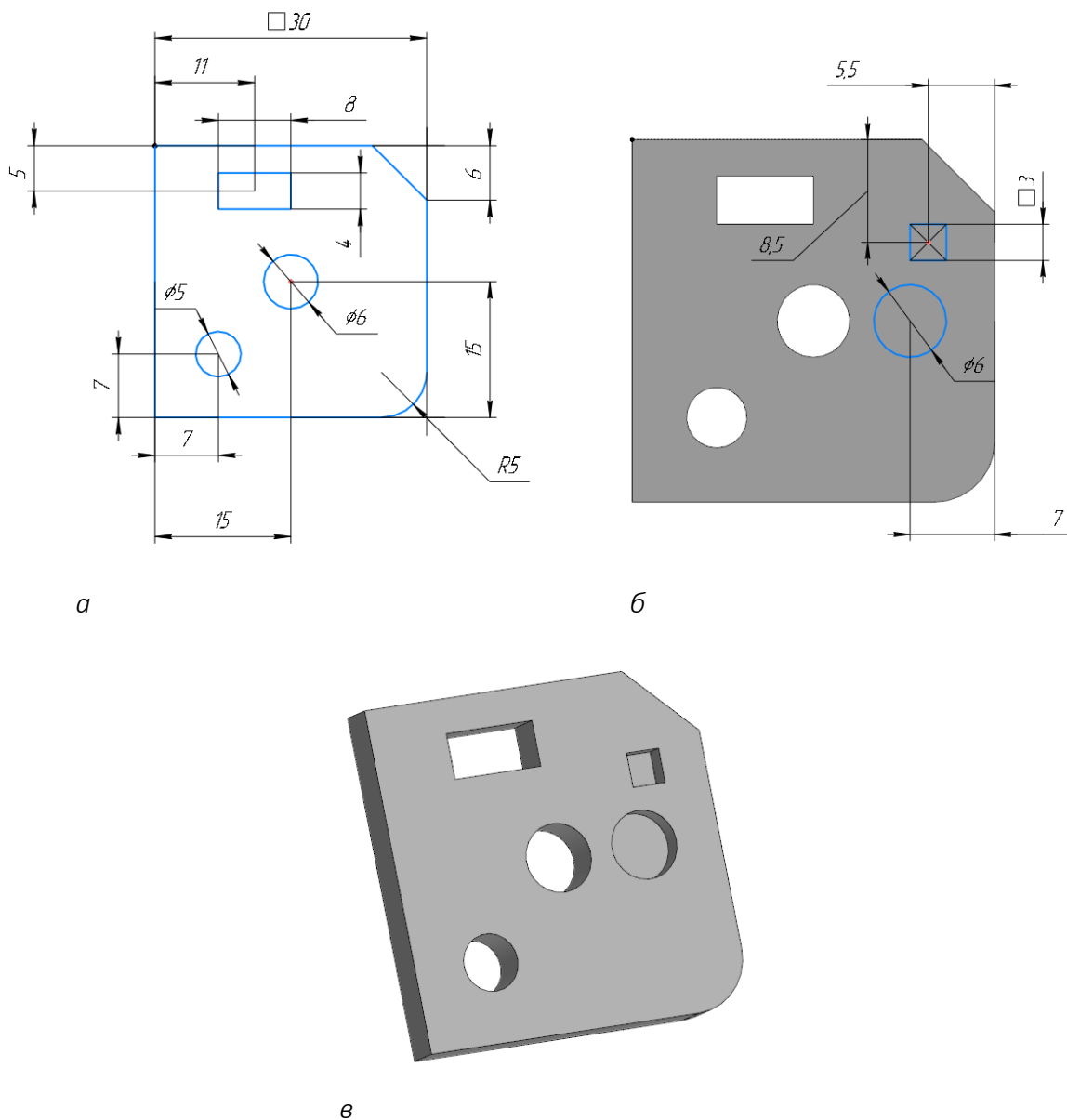
Запуск устройства и задание времени обработки должны выполняться инженером или обученным специалистом, ознакомленным с техникой безопасности и принципами работы оборудования. В процессе обязательно использовать средства индивидуальной защиты – защитную маску, перчатки и очки.

По завершении обработки изделие извлекается с помощью пинцета или в защитных перчатках, чтобы избежать контакта с остатками IPA. После извлечения его оставляют на открытом воздухе до полного испарения спирта, обеспечивая тем самым завершение процесса полирования и подготовку к последующим измерениям.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Подготовка изделий к химической постобработке

Для подготовки изделий к химической постобработке необходимо спроектировать изделие в системе автоматизированного проектирования (CAD) с учетом требований к геометрии, толщине стенок и наличию элементов, подлежащих полированию. Экспортировать модель в формат .STL или другой, предназначенный для 3D-печати, совместимый с используемым слайсером и оборудованием. Предлагаемый вариант с геометрическими размерами представлен на рисунке 8. При этом, элемент выдавливания равен 4 мм, а элемент вычитания равен 2 мм.



a – размеры основания; *б* – размеры для элемента вычитания;
в – итоговая 3D-модель

Рисунок 8. – Схема изделия с параметрами геометрии

Выполняется печать образцов из филамента PVB методом FDM/FFF. На этом этапе важно проконтролировать параметры печати и убедиться в отсутствии дефектов, таких как смещение слоев или неполное заполнение (рисунок 9).

После завершения печати изделие очищается от поддерживающих структур и возможных загрязнений.



Рисунок 9. – Пронумерованные образцы после печати



Рисунок 10. – Измерение микрометром толщины исследуемого объекта

Далее проводится серия предварительных измерений: фиксируются исходные геометрические параметры изделия с помощью штангенциркуля, микрометра или видеоизмерительного микроскопа (см. рисунок 10). Особое внимание уделяется исследуемому участку, который дополнительно документируется с помощью фотографий.

Перед началом химической постобработки необходимо подготовить рабочее место и средства индивидуальной защиты. Следует использовать перчатки, защитные очки и респиратор, а также убедиться, что помещение хорошо проветривается – это обеспечит безопасность при работе с изопропиловым спиртом.

4.2 Установка и эксплуатация устройства Polysher

Перед активацией устройства для химической постобработки необходимо убедиться, что резервуар устройства Polysher заполнен изопропиловым спиртом (IPA) в достаточном объеме (рисунок 11).

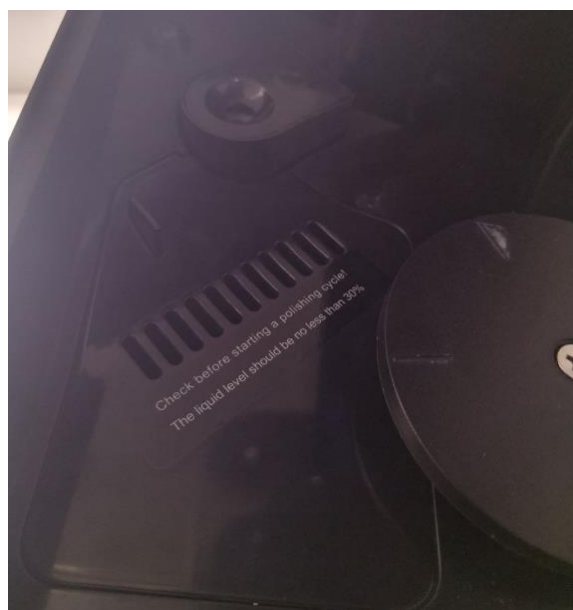


Рисунок 11. – Резервуар для изопропилового спирта

После этого изделие аккуратно размещается на платформе внутри камеры устройства, где оно должно находиться в устойчивом положении (рисунок 12). Закрыв крышку, следует проверить герметичность, чтобы обеспечить безопасное и эффективное распыление спирта.

Затем устройство включается, и задается необходимое время обработки в соответствии с типом изделия и желаемым уровнем сглаживания поверхности. По завершении процесса изделие извлекается с помощью пинцета или в защитных перчатках, чтобы избежать контакта с остатками IPA. После извлечения изделие оставляют на открытом воздухе до полного испарения спирта, обеспечивая тем самым завершение процесса полирования.

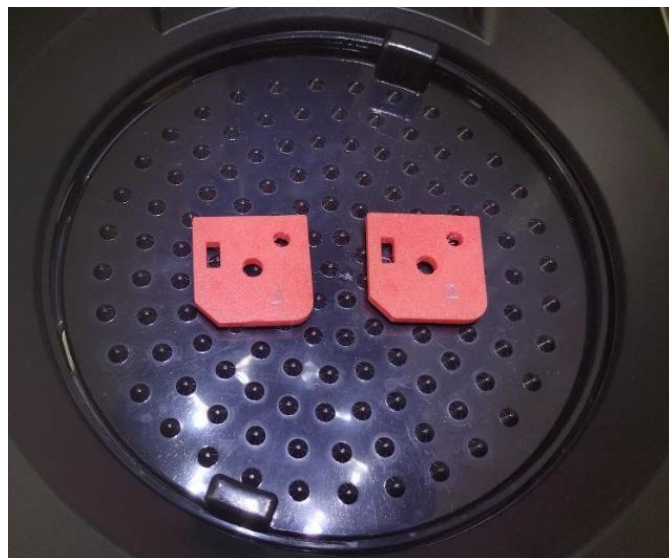
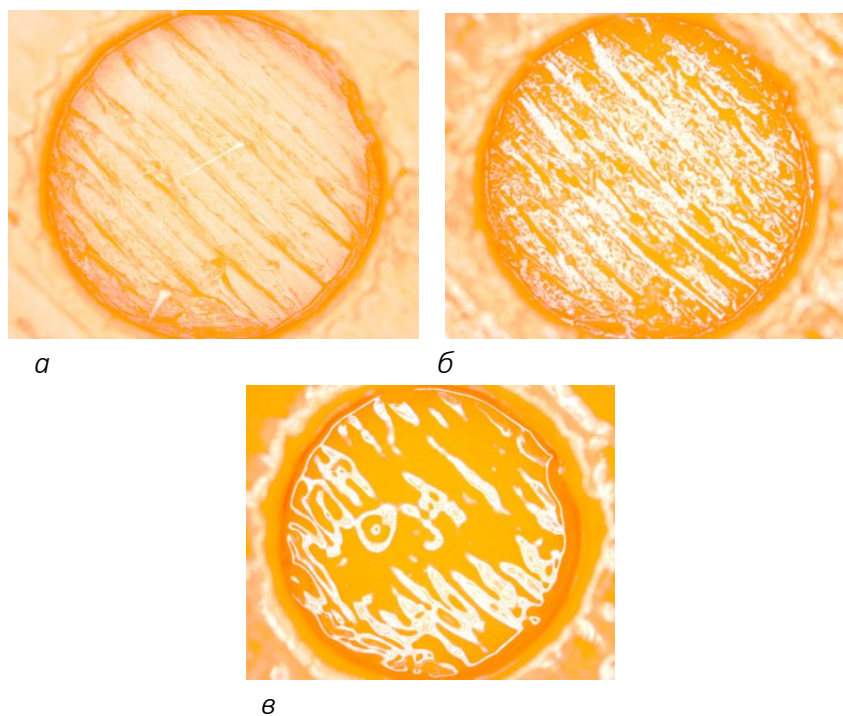


Рисунок 12. – Расположение изделия на платформе

4.3 Измерение результатов

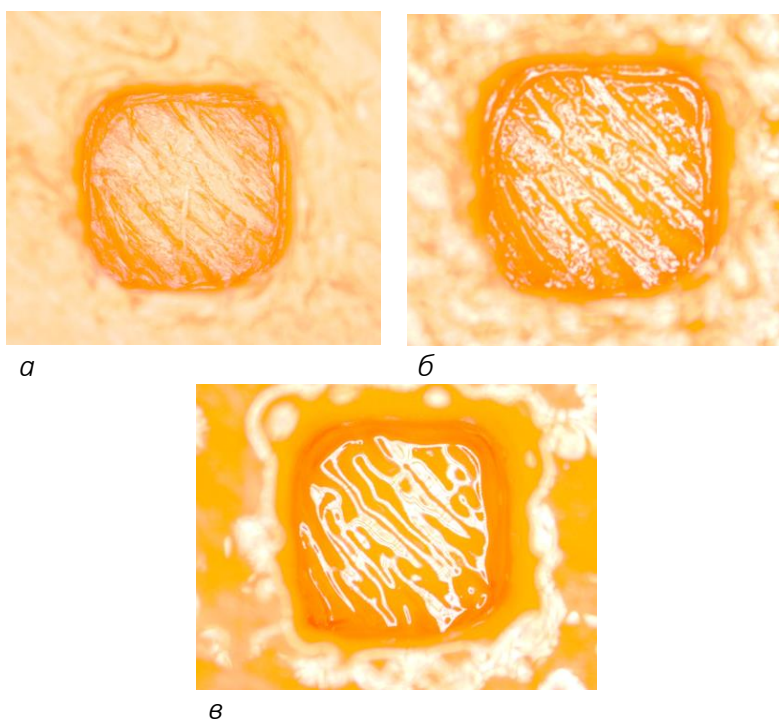
После завершения процесса полирования необходимо повторно провести измерения геометрических параметров изделия, используя те же инструменты, что и на этапе подготовки – это позволит обеспечить точность сравнения. Полученные значения следует сопоставить с исходными данными, чтобы выявить возможные изменения размеров, вызванные воздействием изопропилового спирта.

Помимо количественных показателей, важно оценить и визуальные изменения поверхности: обратить внимание на степень прозрачности, гладкость и наличие блеска, которые являются ключевыми признаками успешной постобработки (рисунки 13, 14). Все полученные результаты фиксируются в таблице, что упрощает анализ и позволяет сделать обоснованные выводы о влиянии химического полирования на качество и геометрию изделия.



a – размер до полирования; *б* – размер после полирования, время полирования: 15 мин;
в – размер после полирования, время полирования: 25 мин

Рисунок 13. – Визуальные изменения диаметра до и после полирования



a – размер до полирования; *б* – размер после полирования, время полирования: 15 мин;
в – размер после полирования, время полирования: 25 мин

Рисунок 14. – Визуальные изменения квадрата до и после полирования

5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Основные понятия, методы и технологии, применяемые при химическом сглаживании.
4. Описание конструкции и принципа работы специализированного оборудования для постобработки изделий Polysher.
5. Результаты постобработки и измерение изделия оформить в виде таблицы.
6. Выводы о влиянии постобработки на геометрию и размеров изделия.

Таблица. – Результаты постобработки и измерение

№ образца	Наименование образца	Исследуемый участок	Расстояние от выбранных поверхностей		Время полирования, мин	Изменение, мм
			До полирования, мм	После полирования, мм		
1						
2						
3						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой материал используется для 3D-печати изделий, предназначенных для полирования в устройстве Polysher?
2. Какой химический реагент применяется для постобработки изделий в устройстве Polysher?
3. Какой основной эффект достигается при полировании изделий из PVB в устройстве Polysher?
4. Почему важно сравнивать изделия до и после постобработки?

5. Какая технология используется в устройстве Polysher для полирования поверхности?
6. Какие преимущества имеет материал PVB по сравнению с другими филаментами при химической обработке?
7. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при работе с изопропиловым спиртом?
8. Какие приборы используются для измерения размеров и анализа поверхности изделий?
9. Как влияет химическое полирование на прозрачность и гладкость изделия?
10. Какие допуски характерны для изделий, напечатанных методом FDM/FFF с высокой точностью?
11. Какие параметры необходимо учитывать при установке изделия в камеру устройства Polysher?
12. Как влияет время воздействия аэрозоля IPA на качество полирования?

ЛИТЕРАТУРА

1. Попок, Н. Н. Технология производства машиностроительных изделий на основе послойного синтеза с использованием 3D-принтера. Практикум : учеб. пособие / Н. Н. Попок, С. А. Портянко. – Новополюцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – 96 с.
2. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы : ГОСТ Р 57558-2017. – Ч. 1. Термины и определения. – Введ. 27.07.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 23 с.
3. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. – 2-е изд. – New York : Springer, 2015. – 498 с.
4. Polysher Operation Manual. – URL: https://polymaker.com/wp-content/uploads/Operation_Manual_Polysher_EN-CN_V2.pdf (дата обращения: 07.08.2025).
5. Голоднов, А. И. Технологии и оборудование аддитивного производства : учеб. пособие / А. И. Голоднов, С. Н. Злыгостев, И. Е. Фурман ; науч. ред. Е. Л. Фурман. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 128 с.