



ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ 3-Д ПРИНТЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЕ ДЕТАЛЕЙ БПЛА.

Гарапшин Тимур Айдарович

Цикл БАС, ИКТ, МиС Специализированного учебного центра НГ РУз,
преподаватель цикла

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17473018>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 25-oktyabr 2025 yil
Ma'qullandi: 28-oktyabr 2025 yil
Nashr qilindi: 29-oktyabr 2025 yil

KEY WORDS

Беспилотные летательные аппараты, элементы БПЛА, 3-D принтеры, композитные материалы для печати 3-D принтеров.

ABSTRACT

В данной статье проводиться исследование о возможности применения 3-D принтеров для БПЛА.



Я работаю преподавателем цикла БПЛА в учебном центре Национальной Гванрдии РУ. Недавно возник вопрос о возможном самостоятельном ремонте поломанных в результате учебной эксплуатации БПЛА. Одно из возможных решений этой проблемы – применение 3-D принтеров. Для печати сломанных элементов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) важно выбрать 3D-принтер, который соответствует требованиям по точности, материалам и объему печати. Давайте исследуем рынок 3D-принтеров, подходящего типа, их характеристики и различиях в материалах для печати. Подходящие 3D-принтеры для печати деталей БПЛА. Необходимо упомянуть, что полностью напечатать работающую модель БПЛА на 3D-принтере не получиться. Нужны контроллер, двигатели, различные радиоблоки, GPS – навигатор и многое другое. Возможна печать только определенных компонентов дронов (рамы, крепления, кожухи, защитные элементы и т.д.). Для этого чаще всего используются FDM-принтеры (Fused Deposition Modeling), так как они доступны, универсальны и поддерживают широкий спектр материалов, подходящих для БПЛА. Однако в некоторых случаях могут подойти и SLA (Stereolithography) или SLS (Selective Laser Sintering) принтеры, если нужны высокая точность или специфические материалы. Вот несколько рекомендаций по моделям и их особенностям: 1. Creality Ender 3 V3 SETип: FDM Объем печати: 220 x 220 x 250 мм Цена: ~\$200 Преимущества: Доступная цена, идеально для начинающих. Прямая подача материала (direct drive), что упрощает работу с гибкими материалами, такими как ТРУ. Автоматическая калибровка стола, что экономит времени. Поддерживает популярные материалы: PLA, PETG, ТРУ. Недостатки: Нет Wi-Fi и продвинутых функций, файлы нужно переносить на SD-карту. Ограниченный объем печати для крупных деталей. Для чего подходит: Печать рам, креплений для камер,

защитных кожухов для пропеллеров, небольших корпусов для электроники. 2. Bambu Lab A1 MiniТип: FDM Объем печати: 180 x 180 x 180 мм Цена: ~\$300 Преимущества: Высокая скорость и качество печати из коробки. Поддерживает PLA, PETG, TPU, а также мультиматериальную печать. Wi-Fi и удобное управление через приложение. Автоматическая калибровка и встроенная камера для мониторинга. Недостатки: Меньший объем печати по сравнению с Ender 3. Зависимость от облачных сервисов Bambu Lab (хотя можно использовать локальный режим). Для чего подходит: Печать высокоточных деталей, таких как крепления для FPV-камер, антенных держателей, гибких защитных элементов. 3. Prusa i3 MK3S+Тип: FDM Объем печати: 250 x 210 x 210 мм Цена: ~\$750 Преимущества: Высокая точность и надежность, подходит для профессионального использования. Открытая платформа, множество вариантов кастомизации. Поддерживает PLA, PETG, ABS, Nylon, TPU. Активная поддержка сообщества и регулярные обновления прошивки. Недостатки: Высокая цена для хобби. Требует больше времени на настройку по сравнению с Bambu. Для чего подходит: Печать сложных компонентов, таких как усиленные рамы, моторные крепления, корпуса для электроники. 4. Anycubic i3 MegaТип: FDM Объем печати: 210 x 210 x 205 мм Цена: ~\$300 Преимущества: Простота в использовании, подходит для новичков. Сенсорный интерфейс и датчик окончания филамента. Хорошее качество печати для PLA, PETG, TPU. Недостатки: Меньший объем печати, чем у некоторых конкурентов. Не такая активная поддержка сообщества, как у Prusa или Creality. Для чего подходит: Печать небольших деталей, таких как защита пропеллеров, крепления для GPS или камер. 5. Formlabs Form 3 (SLA)Тип: SLA Объем печати: 145 x 145 x 185 мм Цена: ~\$3500 Преимущества: Высокая точность (толщина слоя 0.01–0.05 мм), идеально для мелких и детализированных деталей. Поддерживает инженерные смолы, такие как Tough Resin, для прочных и легких компонентов. Гладкая поверхность деталей, что улучшает аэродинамику. Недостатки: Высокая стоимость принтера и смол. Токсичность смол требует осторожного обращения и вентиляции. Для чего подходит: Печать высокоточных деталей, таких как обтекатели, корпуса сенсоров, мелкие крепления. 6. SLS-принтеры (например, Formlabs Fuse 1)Тип: SLS Объем печати: Зависит от модели (обычно ~165 x 165 x 300 мм) Цена: От \$10,000 Преимущества: Высокая прочность и гибкость деталей (используется нейлон PA12/PA11). Не требует поддержек, что упрощает печать сложных геометрий. Подходит для функциональных деталей с высокой нагрузкой. Недостатки: Очень высокая стоимость, не для хобби. Требует профессионального обслуживания. Для чего подходит: Печать прочных структурных компонентов, таких как рамы или крепления для тяжелых дронов. Отличия в материалах для печати Материалы (филаменты для FDM или смолы для SLA) играют ключевую роль в создании деталей для БПЛА, так как они определяют вес, прочность, гибкость и устойчивость к внешним условиям. Разные принтеры поддерживают разные материалы, и выбор зависит от типа принтера и требований к деталям. Вот основные материалы и их особенности: 1. PLA (Polylactic Acid) Совместимость: Все FDM-принтеры (Ender 3, Bambu A1, Prusa, Anycubic). Характеристики: Легкий и дешевый (~\$20–30/кг). Прост в печати, не требует высоких температур. Подходит для прототипов, но хрупкий и неустойчив к нагреву. Применение в БПЛА: Прототипы рам, декоративные элементы, неструктурные детали (например, кожухи). 2. PETG

(Polyethylene Terephthalate Glycol-modified) Совместимость: Большинство FDM-принтеров. Характеристики: Прочнее и гибче PLA, устойчив к ударам. Хороший баланс между простотой печати и механическими свойствами. Цена: ~\$25–35/кг. Применение в БПЛА: Корпуса для электроники, крепления, защита пропеллеров.

3. TPU (Thermoplastic Polyurethane) Совместимость: FDM-принтеры с прямым экструдером (Ender 3 V3 SE, Bambu A1). Характеристики: Гибкий и эластичный, устойчив к ударам. Требует точной настройки принтера (медленная скорость печати). Цена: ~\$30–50/кг. Применение в БПЛА: Защита пропеллеров, амортизирующие элементы, посадочные ноги.

4. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) Совместимость: FDM-принтеры с подогреваемым столом (Prusa, Ender 3). Характеристики: Прочный, устойчив к температурам, но склонен к деформации при печати. Требует хорошей вентиляции из-за выделения паров. Цена: ~\$25–30/кг. Применение в БПЛА: Структурные компоненты, моторные крепления.

5. Nylon (PA, включая углеволокно) Совместимость: FDM-принтеры с высокой температурой экструдера (Prusa, некоторые модели Creality) или SLS-принтеры. Характеристики: Высокая прочность и гибкость, устойчив к нагрузкам. Углеволоконный нейлон (PA-CF) легче и прочнее, но дороже (~\$50–80/кг). Требует сухого хранения, так как впитывает влагу. Применение в БПЛА: Рамы, моторные крепления, нагруженные детали.

6. Смолы (Resins) для SLA Совместимость: Только SLA-принтеры (например, Formlabs Form 3). Характеристики: Высокая точность и гладкая поверхность. Инженерные смолы (Tough Resin, High-Temp Resin) обеспечивают прочность и устойчивость. Дорогие (~\$80–150/л) и токсичные, требуют постобработки (промывка, УФ-засветка). Применение в БПЛА: Высокоточные детали, обтекатели, корпуса сенсоров.

7. Металлы (Aluminum, Titanium) Совместимость: Только SLM/DMLS-принтеры (профессиональные, недоступны для хобби). Характеристики: Высокая прочность и легкость. Очень дорогое оборудование и материалы. Применение в БПЛА: Нагруженные компоненты для профессиональных дронов (например, моторные крепления). Отличия в материалах между принтерами FDM-принтеры: Поддерживают широкий спектр филаментов (PLA, PETG, TPU, ABS, Nylon), но для работы с нейлоном или ABS требуется подогреваемый стол и высокая температура экструдера. Дешевые модели (Ender 3) могут потребовать доработки для печати гибкими материалами, такими как TPU. SLA-принтеры: Используют только смолы, которые дороже и требуют специальной обработки. Они обеспечивают более высокую точность, но выбор материалов ограничен, и они не подходят для гибких деталей (кроме специальных эластичных смол). SLS-принтеры: Работают с порошковыми материалами, такими как нейлон (PA12/PA11), которые прочны и не требуют поддержек. Однако такие принтеры слишком дороги для домашнего использования.

Совместимость с углеволокном: Некоторые FDM-принтеры (например, Prusa) могут печатать углеволоконными филаментами, но требуют износостойких сопел (например, из закаленной стали), так как углеволокно абразивно. Какие принтеры могут быть использованы: для начинающих: Creality Ender 3 V3 SE или Bambu Lab A1 Mini. Они недорогие, просты в использовании и поддерживают PLA, PETG, TPU - основные материалы для хобби-дронов; для продвинутых пользователей: Prusa i3 MK3S+ для большей надежности и поддержки сложных материалов, таких как нейлон с углеволокном; для профессионалов: SLA-принтеры (Formlabs) для высокоточных

деталей или SLS для прочных нейлоновых компонентов, если бюджет позволяет. Для БПЛА чаще всего используют следующие материалы PETG или ТРУ для баланса прочности и гибкости. Если нужна высокая прочность, рассмотри нейлон с углеволокном. PLA подойдет только для прототипов. Советы по печати деталей для БПЛА Для дизайна используйте CAD-программы (Tinkercad для новичков, Fusion 360 или Onshape для продвинутых) для создания моделей. Сайты вроде Thingiverse предлагают готовые STL-файлы для дронов. Для оптимизации проектируйте детали с сотовыми или решетчатыми структурами (honeycomb, gyroid), чтобы снизить вес без потери прочности. Для FDM-принтеров может потребоваться шлифовка или покрытие для улучшения аэродинамики. Для SLA - обязательная промывка и УФ-засветка. Проверяйте детали на прочность и баланс перед установкой на дрон, чтобы избежать проблем в полете. Печать лопастей для БПЛА на 3D-принтерах Наиболее подвержены поломкам винты и их самостоятельное восстановление может снизить затраты на воспроизведение. Давайте рассмотрим вопрос: «Можно ли печатать лопасти для БПЛА на 3-Д принтерах?» Лопасти испытывают высокие центробежные силы (особенно на FPV дронах с высокими оборотами). PLA и PETG часто не выдерживают таких нагрузок. Лопасти должны быть идеально сбалансированы, чтобы избежать вибраций. FDM-печать может давать микронеровности, требующие ручной балансировки. Поверхность лопастей должна быть гладкой. SLA и SLS лучше подходят для этого, но FDM с постобработкой тоже может дать приемлемый результат. Лопасти должны быть легкими, чтобы снизить нагрузку на моторы. Углеволоконный нейлон или смолы оптимальны. Печать лопастей для БПЛА на 3D-принтерах возможна, но есть нюансы, связанные с прочностью, балансировкой и аэродинамикой, которые влияют на рациональность такого подхода. Возможность печати лопастей, их пригодность для самостоятельной сборки БПЛА, перечень оборудования, которое нельзя напечатать, его примерную стоимость и стоимость печати элементов. Ответ будет ориентирован на полупрофессиональное использование. Лопасти для БПЛА можно печатать на 3D-принтерах, но это зависит от типа принтера, материала и требований к лопастям. Подходящие технологии и материалы FDM-принтеры (например, Creality Ender 3, Bambu Lab A1 Mini, Prusa i3 MK3S+) Материалы PLA: Подходит для прототипов или легких дронов с низкими нагрузками. Однако PLA хрупкий, не выдерживает высоких скоростей вращения и нагрузок. PETG: Более прочный и гибкий, чем PLA, но все еще не оптимален для высокоскоростных лопастей. ТРУ: Гибкий материал, устойчив к ударам, подходит для защитных или низкоскоростных лопастей, но сложен в печати из-за эластичности. Нейлон с углеволокном (PA-CF): Прочный, легкий и устойчивый к нагрузкам. Лучший выбор для FDM-печати лопастей, но требует принтера с износостойким соплом и высокой температурой экструдера (например, Prusa). FDM-печать дает менее гладкую поверхность, что может ухудшить аэродинамику. Требуется постобработка (шлифовка, покрытие) для улучшения характеристик. SLA-принтеры (например, Formlabs Form 3) Материалы Инженерные смолы (Tough Resin, Durable Resin) обеспечивают высокую точность и гладкость. Это позволяет создавать лопасти с хорошей аэродинамикой. Высокая точность (толщина слоя 0.025–0.1 мм) и гладкая поверхность, что снижает сопротивление воздуха. Смолы дорогие, а лопасти из них могут быть менее устойчивы к ударным нагрузкам, чем нейлон. SLS-принтеры

(например, Formlabs Fuse 1) Материалы Нейлон PA12 или PA11. Это лучший выбор для прочных и легких лопастей, так как SLS обеспечивает высокую прочность и не требует поддержек. Высокая стоимость оборудования (~\$10,000+) делает SLS нерациональным для личного использования. Вывод Если печать рамы, крепления, кожухи, защитные элементы не составляет особой проблемы, то печать лопастей – наиболее часто ломающейся детали, возможна только в определенных случаях. Лучше использовать готовые коммерческие лопасти, так как их производство требует высокой точности и тестирования. В некоторых случаях печать лопастей дешевле, чем покупка специализированных (например, комплект из 4 лопастей Gemfan стоит \$3-10, а печать обойдется в \$0.5-2 за комплект), позволяет тестировать разные дизайны без больших затрат. Напечатанные лопасти (особенно из PLA или PETG) менее прочны, чем коммерческие, изготовленные из усиленного пластика или углеволокна методом литья. Напечатанные лопасти требуют ручной доработки для идеального баланса, что трудоемко. FDM-печать дает слоистую поверхность, что снижает эффективность по сравнению с гладкими коммерческими лопастями. Печать и постобработка занимают больше времени, чем покупка готовых лопастей. Даже нейлон или смолы могут не выдерживать экстремальных нагрузок гоночных дронов (например, 20,000 об/мин). Имеет смысл печатать лопасти для тестирования новых дизайнов или для дронов с низкими требованиями к скорости (например, кинематографические дроны). Для микродронов размером до 10 сантиметров (Whoopin' style) лопасти из TPU или PETG могут быть достаточно прочными, если нет доступа к качественным коммерческим лопастям, напечатанные лопасти из нейлона или смолы - приемлемый компромисс, в полевых условиях печать запасных лопастей для быстрого ремонта. Для дронов, используемых в профессиональных задачах (съемка, доставка), лучше использовать сертифицированные лопасти.

Использованные ресурсы::

1. <https://vyboroved.ru/reyting/luchshie-3d-printery>
2. <https://top3dshop.ru/blog/vidy-3d-printerov.html>
3. panor.ru/articles/osobennosti-konstruktsii-bpla-i-ikh-vozmozhnosti/109097.html.