

Я. С. Вагайцева¹✉, П. Ю. Бугаков¹

Применение системы автоматизированного проектирования и аддитивных технологий для создания трехмерной модели универсального устройства сброса полезной нагрузки с беспилотного воздушного судна

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: moon.yana19@gmail.com

Аннотация. В статье представлено применение САПР и аддитивных технологий для разработки универсального устройства сброса полезной нагрузки с беспилотных летательных аппаратов. С использованием T-FLEX CAD 17 создана 3D-модель, прошедшая прочностной анализ. Результаты моделирования подтвердили наличие запаса коэффициента по эквивалентным напряжениям, что свидетельствует о надёжности конструкции, а также отсутствие критических зон напряжения при расчётной нагрузке. Прототип напечатан на 3D-принтере Stereotech Hybrid 530 из пластика PETG. Детали прошли оценку качества и постобработку, после чего было выполнено сборка прототипа устройства. Испытания подтвердили достаточную прочность конструкции. Полученные результаты подтверждают, что применение цифровых инструментов позволяет сократить сроки проектирования, повысить точность и адаптировать конструкцию под различные задачи. Разработанное устройство может быть использовано в спасательных операциях и других сценариях, требующих сброса полезной нагрузки.

Ключевые слова: устройство сброса, T-FLEX CAD 17, трехмерное моделирование, аддитивные технологии, прототипирование

Y. S. Vagaytseva¹✉, P. Yu. Bugakov¹

Application of a computer-aided design system and additive technologies to create a three-dimensional model of a universal payload discharge device from an unmanned aircraft

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: moon.yana19@gmail.com

Abstract. The article presents the application of CAD and additive technologies in the development of a universal payload release mechanism for unmanned aerial vehicles. A 3D model was created using T-FLEX CAD 17 and subjected to structural strength analysis. The simulation results confirmed a sufficient safety factor in terms of equivalent stresses, indicating structural reliability, as well as the absence of critical stress zones under the design load. The prototype was 3D-printed on a Stereotech Hybrid 530 printer using PETG plastic. The printed parts underwent quality inspection and post-processing, followed by assembly of the device prototype. Testing confirmed the structure's adequate strength. The results demonstrate that the use of digital tools enables reduced design time, improved accuracy, and greater adaptability of the design for various applications. The developed device can be used in search and rescue operations and other scenarios requiring payload release.

Keywords: reset device, T-FLEX CAD 17, three-dimensional modeling, additive technologies, prototyping

Введение

В настоящее время беспилотные воздушные судна (БВС) наиболее востребованы в МЧС для решения задач по доставке средств спасения и первой помощи пострадавшим при чрезвычайных ситуациях, необходимого аварийно-спасательного инструмента к месту проведения работ подразделений МЧС России, транспортировке и сбросе первичных средств пожаротушения в очаг пожара.

На рынке представлено несколько устройств доставки и сброса полезных грузов с использованием беспилотных авиационных систем, среди которых можно выделить наиболее удачные решения: Drone Payload Drop System, DJI TH4 V2 и механизм сброса Drone-Payload от компании Ocean Builders а также устройство сброса, защищенное патентом RU219374U1.

DJI TH4 V2 оснащен системой сброса грузов с четырьмя крюками, а особенности его конструкции обеспечивают быструю установку и управление через приложение DJI Pilot. Механизм изготовлен из легкого металлического сплава, устойчивого к температурам от -20 до +40 °C.

Drone Payload от компании Drop System предназначен для использования совместно с промышленными дронами и выдерживает максимальную нагрузку до 15 кг.

Механизм Payload Drop, разработанный в компании Ocean Builders, может перемещать грузы до 20 кг, при этом возможно ухудшение летных характеристик из-за большого веса и изменения аэродинамики. Устройство имеет более высокую стоимость по сравнению с другими универсальными решениями.

Устройство Drone-Payload от Drop Mechanism оснащено электролебедкой, позволяющей плавно опускать груз на землю без необходимости посадки дрона, что повышает точность и безопасность доставки. В недостатки можно отнести отсутствие защиты электроники и необходимость точной настройки механизма.

Устройство сброса полезной нагрузки (патент RU219374U1) изготавливается с использованием 3D-печати, что упрощает его изготовление и модификацию, подходит для различных мультикоптерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), гарантирует надежное крепление груза во время транспортировки.

Все рассмотренные устройства имеют ряд недостатков, среди которых можно выделить: высокую стоимость, ограниченную совместимость с различными моделями БПЛА, сложность эксплуатации и технического обслуживания, необходимость калибровки, а также высокую массу отдельных компонентов. В связи с этим, в 2024 году в рамках федерального проекта «Кадры для беспилотных авиационных систем» представителями Главного управления МЧС России по Новосибирской области была поставлена задача по разработке универсального и надежного решения для доставки и сброса грузов с БВС для подразделений МЧС России. Разрабатываемое устройство должно изготавливаться из полимера, устойчивого к повышенным температурам, иметь универсальную систему крепления к БВС квадрокоптерного типа размером 7, 10 и 12 дюймов. Конструкция системы должна выдерживать вес полезной нагрузки до 10 кг и иметь возмо-

жность механической регулировки элементов крепления грузов относительно БВС. Управление системой сброса должно производиться дистанционно с пульта управления, себестоимость готового устройства не должна превышать 10 000 рублей.

Методы и материалы

Для создания 3D-модели устройства проведено концептуальное проектирование, в результате которого было решено, что устройство будет иметь кубическую форму, детали верхней пластины цельные, боковые стенки выполнены в виде стоек. Нижняя часть представлена двумя открывающимися дверцами, которые расположены одна под другой. Запор представляет собой соленоид, шток которого входит в отверстие петли и фиксирует нижнюю дверцу. На верхней пластине находится подвес в виде крепежных элементов, предназначенных для соединения с рамой БВС. Во внутреннее пространство устройства помещается груз, который будет высвобождаться при срабатывании соленоида и открытии дна.

Разработка трехмерной модели устройства сброса полезной нагрузки выполнялась в системе автоматизированного проектирования T-FLEX CAD 17. Данная система обеспечивает поддержку параметрического моделирования, позволяет работать как с отдельными моделями деталей, так и со сборкой целиком, а также имеет интегрированную среду конечно-элементных расчетов «T-FLEX Анализ», позволяющую осуществлять математическое моделирование распространенных физических явлений и решать важные практические задачи, возникающие при проектировании.

Для подтверждения прочностных характеристик разрабатываемого устройства необходимо выполнить анализ эквивалентного напряжения, рассчитать коэффициенты запаса по эквивалентным напряжениям и оценить модуль перемещения деталей конструкции. Анализ коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям показывает, насколько прочная получилась конструкция по отношению к прилагаемым нагрузкам. Анализ эквивалентного напряжения позволяет определить участки конструкции, где напряжение максимально, а также потенциальные места возникновения разрушения. Модуль перемещения визуально показывает деформацию конструкции под нагрузкой [4].

Для изготовления деталей устройства сброса полезной нагрузки было решено использовать 3D-принтер Stereotech Hybrid 530, поддерживающий пятиосевую печать, что позволяет создавать сложные формы и усиливать детали за счет ориентации волокон [2]. Промышленный класс оборудования принтера позволяет непрерывно работать в течении длительного периода времени. Генерация G-кода для принтера осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения STE Slicer, которое выполняет расчет примерного времени печати, а также массы готовой детали [3].

Для изготовления прототипа универсального устройства сброса полезной нагрузки с беспилотного воздушного судна был выбран материал PET-G, поскольку он обладает необходимыми эксплуатационными свойствами: высокой

термостойкостью (до 70-80°C), устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и влаге, а также хорошей адгезией слоев при печати. PET-G сочетает в себе прочность, гибкость и стабильность размеров при минимальной усадке, что делает его оптимальным выбором для создания надежной конструкции устройства, способной выдерживать эксплуатационные нагрузки и обеспечивать длительный срок службы без разрушения или деформации [1].

Результаты

Используя средства моделирования T-FLEX CAD 17, была разработана 3D-модель устройства сброса, представляющая собой квадратный контейнер с откидным дном, фиксирующимся соленоидом (рис. 1). При разработке особое внимание уделялось обеспечению компактности и надежности при минимальном весе конструкции.

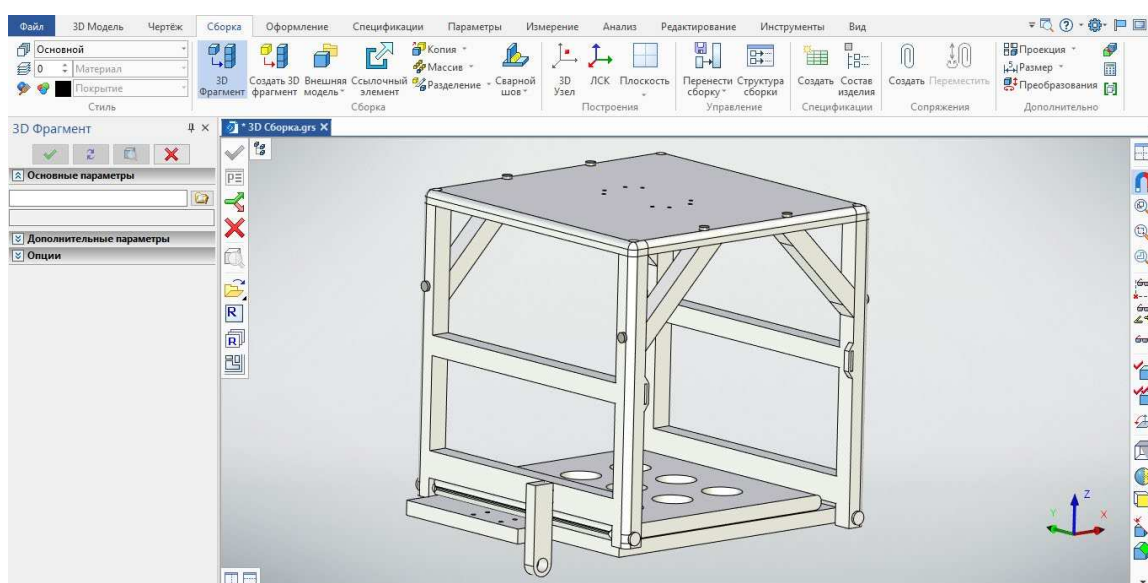


Рис. 1. Разработанная 3D-модель устройства

Для оценки надежности трехмерной модели универсального устройства сброса полезной нагрузки был применен модуль анализа, встроенный в программное обеспечение T-FLEX CAD. Этот инструмент позволил провести виртуальное моделирование нагруженного состояния конструкции, что дало возможность определить поведение деталей устройства при эксплуатации без необходимости физических испытаний на раннем этапе проектирования. В рамках анализа к модели была приложена расчетная нагрузка 10 кг, имитирующая вес груза в момент сброса. Анализ коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям показал, что модель имеет большой запас прочности – модель выдержит нагрузку без разрушения (рис. 2). Анализ эквивалентного напряжения продемонстрировал отсутствие зон концентрации напряжений, которые могли бы привести к локальному разрушению или деформации конструкции при штатной

эксплуатации. Красные области, показанные на рисунке 2 – максимальное напряжение, синие – минимальное. Максимальные значения не превышают предела прочности материала, что говорит о надежности конструкции при расчетной нагрузке. Таким образом, было установлено, что конструкция отвечает требованиям прочности, что позволило перейти к этапу изготовления физического прототипа.



Рис. 2. Анализ коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям

Для подготовки к 3D-печати созданная модель устройства была разобрана на отдельные детали. Габаритные детали, такие как верхняя крышка, разрезаны на элементы для того, чтобы они могли уместиться на рабочем столе 3D принтера. Каждая деталь или ее элемент был сохранен в формате STL, который поддерживается всеми программами для генерации G-кода (слайсерами).

Далее модель была загружена в программу STE Slicer и настроены основные параметры печати (рис. 3). Особое внимание уделялось правильному расположению модели на рабочем столе принтера для минимизации поддержек и улучшения качества печати. После настройки слайсер автоматически преобразовал модели деталей устройства в G-код, который был передан на 3D принтер для печати. Напечатанные детали, как правило, требовали дополнительной обработки: шлифовки, чистовой подгонки и склеивания. Всего было напечатано 19 деталей, общее время печати модели составляет 170 часов 45 минут, масса модели составляет 1400 грамм.

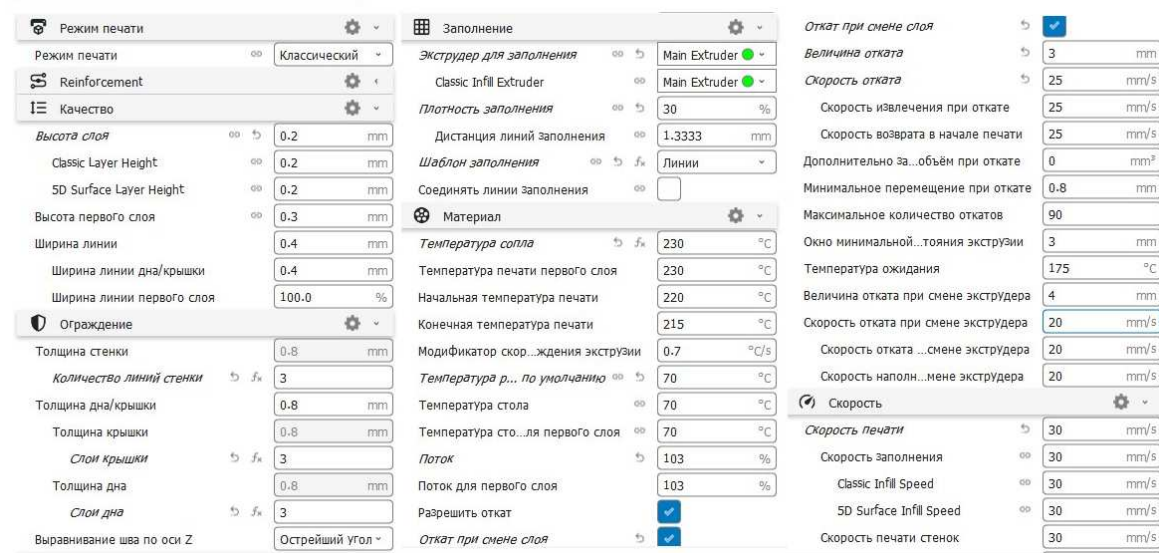


Рис. 3. Настройка параметров печати

Заключительным этапом работы стала сборка прототипа универсального устройства сброса полезной нагрузки с беспилотного воздушного судна. Верхняя крышка устройства служит основой конструкции и содержит элементы крепления к раме БВС. Боковые стойки являются каркасом устройства, в связи с этим они имеют поперечную перемычку и усилены диагональными ребрами для повышения жесткости конструкции. Нижняя часть представляет собой пластины, закрепленные на шарнирах. Они открываются вниз при срабатывании соленоида (рис. 4). Сборка конструкции велась с использованием клеевого и винтового соединения.

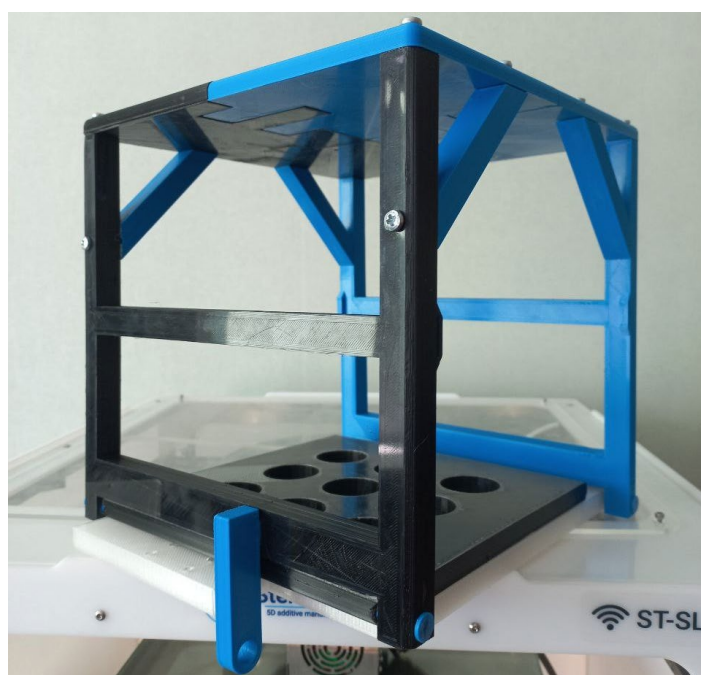


Рис. 4. Прототип устройства сброса

Заключение

В результате была разработана и изготовлена трехмерная модель универсального устройства сброса полезной нагрузки для беспилотного воздушного судна с использованием систем автоматизированного проектирования и аддитивных технологий. Использование программного обеспечения T-FLEX CAD 17 позволило смоделировать конструкцию устройства и выполнить анализ его прочностных характеристик. Выполненное исследование подтвердило надежность конструкции и отсутствие зон критических напряжений. Использование 3D-принтера Stereotech Hybrid 530 позволило добиться достаточно высокого качества исполнения деталей прототипа. Полученные результаты подтверждают перспективность предложенного подхода и открывают возможности для дальнейшей оптимизации устройства и его адаптации под различные типы беспилотных платформ. Дальнейшим развитием проекта является проведение испытаний в реальных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 3D печать: как печатать пластиком PETG. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/petg-review-and-manual.html> (дата обращения: 01.04.2025). – Режим доступа: свободный – Текст: электронный.
2. 5D принтер Stereotech 530 Hybrid. – URL: <https://5dtech.pro/printers/hybrid> (дата обращения: 04.04.2025). – Режим доступа: свободный – Текст: электронный.
3. Stereotech STE Sliser. – URL: <https://edusnab.ru/upload/iblock/b0a/92v7sx81usy4just-lk664po9jrq09e4g.pdf> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Тюльпинова, Н. В. Проектирование в T-FLEX CAD в задачах и примерах / Н. В. Тюльпинова. – Санкт-Петербург: БХВ, 2024. – 257 с.

© Я. С. Вагайцева, П. Ю. Бугаков, 2025