

ЛИТЕРАТУРА

1. Skypro [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sky.pro/wiki/profession/inzhener-konstruktor-dronov-trebovaniya-nauki-i-perspektivy/>. – Дата доступа 12.09.2025.
2. Лукьянов О.Е., Золотов Д.В. Методологическое обеспечение подготовки проектантов и операторов беспилотных летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2021. Т. 20, № 1. С. 14-28.

УДК 623.746.4-519

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.Н. БОРОВСКИЙ, В.И. КОЗЛОВСКИЙ, ЦЗИЮЙ ЧЕНЬ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемой частью современной технологической экосистемы, находя применение в различных отраслях – от сельского хозяйства и логистики до безопасности и обороны. Проектирование БПЛА представляет собой сложный междисциплинарный процесс, требующий учета множества факторов, включая технические требования, нормативные ограничения и рыночные потребности. БПЛА по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами отличаются относительно низкой стоимостью, несложной технологией изготовления, не требуют применения аэродромов к тому же современная электроника позволяет автоматически строить точную траекторию движения аппарата.

Проектирование БПЛА – это сложный процесс, который включает несколько взаимосвязанных этапов. Каждый из них требует глубоких знаний в области авиации, электроники, материаловедения и программного обеспечения.

Компьютерное моделирование стало неотъемлемой частью современного процесса проектирования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Оно позволяет инженерам и разработчикам создавать, тестировать и оптимизировать конструкции дронов в виртуальной среде, значительно сокращая время и затраты на физическое прототипирование.

В условиях быстроразвивающегося рынка БПЛА, где ключевыми факторами являются эффективность, безопасность и функциональность, компьютерное моделирование предоставляет инструменты для решения сложных инженерных задач. В этой статье рассматриваются основные методы, инструменты и перспективы компьютерного моделирования при проектировании БПЛА, а также его влияние на развитие индустрии.

Процесс компьютерного моделирования при проектировании БПЛА включает несколько ключевых этапов, каждый из которых направлен на решение специфических задач и обеспечение оптимальных характеристик летательного аппарата.

На начальном этапе разработчики определяют основные требования к БПЛА, такие как грузоподъемность, дальность полета, автономность и условия эксплуатации. Компьютерное моделирование позволяет:

- проводить предварительные аэродинамические расчеты;
- оценивать устойчивость и управляемость аппарата;
- выбирать оптимальную конструкцию (мультикоптер, самолетного типа, гибридную) на основе математических моделей;

На следующем этапе – разработка и оптимизация конструкции, проводится компьютерное моделирование для:

- создания цифровых двойников БПЛА, которые точно отражают физические характеристики реальных аппаратов;
- проведения виртуальных испытаний в аэродинамических трубах и других средах;
- оптимизации геометрии и материалов для снижения веса и повышения прочности.

Использование суперкомпьютерных вычислительных технологий с применением методов численного моделирования и виртуального прототипирования позволяет в несколько раз сократить процесс разработки и производства.

На третьем этапе моделируют системы управления и навигации, которые являются критически важными компонентами БПЛА. Здесь компьютерное моделирование позволяет разрабатывать и тестировать алгоритмы автономного полета, моделировать работу датчиков (камер, лидаров, IMU, GPS) в различных условиях, а также оценивать влияние внешних воздействий, таких как ветер, турбулентность и осадки, на стабильность полета.

На завершающем этапе компьютерное моделирование используется для комплексного тестирования всех систем БПЛА в симуляционной среде, оценки производительности и надежности аппарата в условиях, близких к реальным и подготовке к физическому прототипированию и сертификации.

Для компьютерного моделирования при проектировании БПЛА используется широкий спектр специализированного программного обеспечения, которое позволяет решать различные инженерные задачи:

1) *Симуляция полетов и управления.* Основным программным пакетом является UAV Toolbox, который предоставляет инструменты для проектирования, моделирования, тестирования и развертывания приложений для БПЛА. Этот инструмент позволяет разрабатывать автономные алгоритмы полета, полетные контроллеры и планировать миссии. Ключевые особенности:

- моделирование сценариев БПЛА в 3D-среде с использованием Unreal Engine для фотореалистичной визуализации;
- генерация синтетических данных с камер, лидаров, IMU и GPS-датчиков;
- анализ журналов полетов;
- поддержка протокола MAVLink для связи с оборудованием БПЛА и развертывания на целевых платформах.

2) *Фотограмметрия и картографирование.* Компьютерное моделирование используется для обработки данных, полученных с БПЛА, создания 3D-моделей и картографирования.

3) *Разработка 3D-модели БПЛА и его прототипирование.* Программное обеспечение позволяет:

- создавать и редактировать 3D-модели деталей БПЛА;
- разрабатывать чертежно-конструкторскую документацию;
- проводить расчет и анализ оптимальных конструктивных параметров летательных аппаратов и анализ аэродинамических характеристик БПЛА;
- подготавливать модели для 3D-печати и прототипирования.

Несмотря на значительные успехи, компьютерное моделирование при проектировании БПЛА сталкивается с рядом проблем, таких как:

- вычислительная мощность. Моделирование сложных систем и условий требует значительных вычислительных ресурсов, что может быть дорого и времязатратно;
- точность виртуального моделирования. Обеспечение точности и достоверности моделей остается сложной задачей, особенно при моделировании внешних воздействий, таких как турбулентность или электромагнитные помехи;
- интеграция с реальными системами. Переход от виртуальных моделей к физическим прототипам требует тщательной проверки и валидации.

Компьютерное моделирование играет главнейшую роль в современном проектировании БПЛА, позволяя инженерам создавать более эффективные и инновационные летательные аппараты. Оно позволяет

значительно сократить время и затраты на разработку, а также улучшить характеристики БПЛА. С развитием вычислительных технологий, искусственного интеллекта и новых материалов, компьютерное моделирование будет продолжать эволюционировать, открывая новые возможности для создания БПЛА. Однако для достижения максимального потенциала необходимо решить такие проблемы, как вычислительная мощность современного компьютерного оборудования и обеспечение точности виртуальных моделей.

УДК 62.52

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

**Д.А. ГРИНЮК, Н.М. ОЛИФЕРОВИЧ, И.Г. СУХОРИКОВА,
Е.С. АНДРУХОВИЧ**

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время разработано множество решений, направленных на улучшение динамики регулирования путем интеграции элементов ускоренного реагирования в структуру ПИД-регулятора, что позволяет учитывать разницу между выходным сигналом измерительного преобразователя и заданным сигналом. Однако классическое ПИД-регулирование сталкивается с проблемой обеспечения быстродействия при высоком уровне шумов в измерительном канале. Эта проблема усугубляется процессом преобразования аналогового сигнала в цифровой в устройствах регулирования. В результате многие стандартные алгоритмы ПИД-регулирования включают различные встроенные решения для сглаживания данных от измерительных устройств. Например, некоторые из них используют фильтр низкой частоты (ФНЧ) первого порядка, который в аналоговых устройствах реализуется с помощью резисторов и конденсаторов, а в цифровых — через цифровую реализацию ФНЧ или фильтр скользящего среднего.

Как указывают авторы большинства исследований, посвященных решению проблемы шумов в измерительном канале, параметры фильтра оказывают влияние на оптимальные настройки ПИД-регулятора. Однако использование фильтра всегда приводит к временной задержке, что негативно сказывается на общей динамике управления. Увеличение