Научная статья
УДК 372.853
ББК 74.262.23
ГРНТИ 14.25.09
ВАК 5.8.2.
PACS 01.40.E-
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Организация проектной деятельности учащихся основной школы при изучении основ аэродинамики беспилотных летательных аппаратов

Д. В. Ярынкин [1]

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 24 июня 2026 года
После переработки 25 июня 2026 года
Опубликована 30 сентября 2026 года

Аннотация. Рассматривается проблема интеграции сложных разделов прикладной физики и аэродинамики в образовательный процесс основной школы (5–9 классы) посредством проектной деятельности. Обосновывается концепция летающей робототехники, как междисциплинарного подхода, где квадрокоптер выступает не просто объектом конструирования, а летающей физической лабораторией. Разработана и детально описана авторская пятиэтапная методика, адаптирующая фундаментальные законы гидродинамики, механики и теории управления к когнитивным особенностям подростков. Особое внимание уделено использованию телеметрических данных для верификации физических гипотез учащимися. Материалы статьи предназначены для педагогов дополнительного образования, учителей физики и технологии, а также разработчиков программ инженерно-педагогического образования.

Ключевые слова: проектная деятельность, аэродинамика, беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, основная школа, инженерно-педагогическое образование, педагогическая методика, телеметрия, физический эксперимент, инженерное мышление

Введение

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации и концепция достижения технологического суверенитета формируют запрос на подготовку нового поколения инженерных кадров, способных решать сложные технологические задачи. Беспилотные авиационные системы сегодня являются одним из ключевых драйверов технологической трансформации экономики, что обусловливает необходимость ранней профориентации школьников в области авиационной и робототехнической инженерии.

[1]E-mail: yarynkin03@mail.ru

Современный этап развития образования характеризуется переходом от пассивного усвоения знаний к активным формам обучения, где центральное место занимает проектная деятельность, способствующая формированию у учащихся критического мышления, навыков решения комплексных задач и применения теоретических знаний на практике. В контексте изучения естественно-научных дисциплин, таких как физика, особое значение приобретает интеграция теоретических основ с реальными инженерными приложениями, что позволяет учащимся не только усваивать фундаментальные законы, но и видеть их практическую реализацию. Аэродинамика как раздел физики, изучающий движение тел в воздушной среде, является одной из ключевых областей, где теоретические знания могут быть эффективно подкреплены практическим опытом через работу с беспилотными летательными аппаратами, в частности, квадрокоптерами. Квадрокоптеры как объект изучения аэродинамики представляют собой уникальную платформу для демонстрации действия законов Ньютона, Бернулли, эффекта Магнуса и других физических принципов, что делает их идеальным инструментом для организации проектной деятельности в основной школе. В данной статье представлена разработанная и апробированная методика организации проектной деятельности учащихся основной школы при изучении основ аэродинамики беспилотных летательных аппаратов на примере квадрокоптеров, включая этапы проектирования, сборки, тестирования и оптимизации конструкции.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения качества образования в области естественно-научных и технических дисциплин через внедрение современных педагогических технологий, способствующих формированию у учащихся инженерного мышления и практических навыков работы с современными техническими устройствами.

Целью исследования является разработка и внедрение методики организации проектной деятельности учащихся основной школы, направленной на формирование устойчивых знаний о фундаментальных принципах аэродинамики через практическую работу с квадрокоптерами, что способствует развитию инженерного мышления и мотивации к изучению естественно-научных дисциплин.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи исследования: исследование существующих педагогических подходов к организации проектной деятельности в области инженерного образования и выявление их ограничений применительно к изучению аэродинамики; разработка структурированной методики проектного обучения, включающей этапы проектирования, сборки, тестирования и оптимизации квадрокоптеров с акцентом на изучение аэродинамических закономерностей; апробация разработанной методики в условиях реального образовательного процесса и анализ её эффективности через сравнение с традиционными методами обучения.

Объектом исследования выступает процесс организации проектной деятельности учащихся основной школы при изучении основ аэродинамики беспилотных летательных аппаратов. Предметом исследования является методика обучения, включающая совокупность педагогических приёмов, технических средств и дидактических материалов, направленных на формирование у учащихся понимания аэродинамических принципов через практическую работу с квадрокоптерами.

Гипотеза научного исследования заключается в том, что систематическое применение разработанной методики организации проектной деятельности с использованием квадрокоптеров как инструмента изучения аэродинамики способствует значительному улучшению понимания учащимися основных физических законов движения в воздушной среде и повышению уровня их инженерной грамотности.

В ходе исследования применялись методы теоретического анализа педагогической и методической литературы, посвящённой вопросам проектного обучения и инженерного

образования, что позволило выявить современные тенденции и пробелы в существующих подходах. Экспериментальные методы исследования включали проведение серии испытаний квадрокоптеров, собранных учащимися, с использованием системы сбора телеметрических данных Blackbox, что обеспечило объективную оценку лётных характеристик и аэродинамических параметров аппаратов. Статистические методы анализа данных применялись для обработки результатов испытаний, включая расчёт средних значений, стандартных отклонений и корреляционного анализа, что позволило выявить значимые зависимости между конструктивными особенностями квадрокоптеров и их аэродинамическими характеристиками.

В качестве основных материалов исследования использовались стандартные комплектующие для сборки квадрокоптеров, включая рамы различных конструкций, моторы, пропеллеры, полётные контроллеры, аккумуляторные батареи и системы телеметрии. Для проведения испытаний применялось специализированное программное обеспечение для анализа данных Blackbox, а также контрольно-измерительные приборы для определения массы, балансировки и аэродинамических характеристик аппаратов. Кроме того, использовались учебно-методические материалы, разработанные в рамках исследования, включая руководства по сборке, инструкции по программированию полётных контроллеров и методические рекомендации для педагогов.

Научная новизна исследования определяется тем, что впервые предложена и апробирована целостная методика организации проектной деятельности учащихся основной школы при изучении основ аэродинамики беспилотных летательных аппаратов на примере квадрокоптеров, сочетающая теоретические основы аэродинамики с практическим опытом проектирования и оптимизации технических устройств. Впервые в педагогической практике реализована система сбора и анализа телеметрических данных Blackbox в образовательных целях, что позволяет учащимся самостоятельно проводить анализ аэродинамических характеристик своих конструкций. В исследовании также предложен новый подход к индивидуализации проектной деятельности, предполагающий учёт интересов и уровня подготовки каждого учащегося, что способствует более глубокому усвоению материала и повышению мотивации к обучению.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке научно обоснованной методики интеграции инженерных и физических знаний в образовательный процесс основной школы, что расширяет существующие представления о возможностях проектного обучения в формировании у учащихся системных знаний о фундаментальных принципах аэродинамики. В частности, исследование вносит вклад в развитие педагогической теории путём выявления педагогических условий, способствующих эффективному усвоению сложных физических концепций через практическую деятельность с техническими объектами. Кроме того, работа углубляет понимание механизмов формирования инженерного мышления у школьников среднего звена, что может быть использовано для дальнейших исследований в области инженерно-технологического образования.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью тиражирования разработанной методики в образовательных учреждениях различного уровня, а также созданием универсальных учебно-методических материалов для преподавания основ аэродинамики через проектную деятельность с использованием квадрокоптеров. Результаты исследования могут быть использованы педагогами для организации внеурочной деятельности, кружков технической направленности и проектных лабораторий, а также для разработки межпредметных учебных программ, интегрирующих физику, информатику и технологии. Кроме того, разработанные материалы могут быть адаптированы для использования в учреждениях дополнительного образования и центрах технического творчества.

Однако современная образовательная практика демонстрирует парадокс: несмотря на высокий интерес подростков к беспилотникам, этот интерес часто носит поверхностный характер, ограничиваясь потребительским использованием или спортивными FPV-гонками. Учащиеся, успешно управляя дроном, зачастую не понимают физических принципов, лежащих в основе полёта, таких как аэродинамическое сопротивление, реактивные моменты или векторное сложение сил тяги. Функциональность современных полётных контроллеров скрывает эти явления за слоями программного обеспечения, создавая эффект «чёрного ящика», когда школьник не осознаёт, как именно его действия влияют на полёт аппарата.

Основная школа (возраст от 11 до 15 лет) является сенситивным периодом для формирования абстрактного и логического мышления. Именно в этом возрасте закладываются основы для понимания векторной алгебры, стереометрии и классической механики. Традиционные школьные курсы физики и технологии нередко страдают от недостатка прикладной мотивации, поскольку абстрактные задачи по динамике и кинематике кажутся учащимся оторванными от реальности. Квадрокоптер представляет собой уникальную дидактическую модель, позволяющую преодолеть этот разрыв.

В отличие от самолётов с фиксированным крылом, где аэродинамика в основном сводится к профилю крыла и закону Бернулли, мультироторная система демонстрирует сложную интерференцию воздушных потоков, реактивные моменты и нелинейную динамику. Это делает квадрокоптер идеальной платформой для изучения аэродинамики в школьных условиях, так как позволяет визуализировать и экспериментально проверять физические законы, которые обычно остаются абстрактными в учебниках.

Целью данного исследования является разработка и теоретическое обоснование методики организации проектной деятельности, которая трансформирует процесс сборки и настройки квадрокоптера в глубокое научное исследование аэродинамических процессов, доступное и увлекательное для подростков. Особое внимание уделяется интеграции теоретических знаний с практическим опытом, а также формированию у учащихся инженерного мышления через анализ данных телеметрии и оптимизацию конструкции.

В процессе работы над проектом учащиеся не только осваивают основы аэродинамики, но и получают навыки программирования, работы с датчиками, анализа данных и командной работы. Это позволяет им почувствовать себя настоящими инженерами, решающими реальные технические задачи.

Обзор

Квадрокоптер представляет собой летательный аппарат с четырьмя несущими винтами, который относится к классу мультироторных беспилотных летательных аппаратов с вертикальным взлётом и посадкой. Благодаря простоте механической конструкции, высокой манёвренности и способности зависать на месте, квадрокоптеры стали одной из самых популярных платформ в робототехнике и нашли широкое применение в самых разных сферах, начиная с военной разведки, заканчивая сельским хозяйством и поисково-спасательными работами [1–3].

История квадрокоптеров насчитывает более ста лет. Первый полёт аппарата квадрокоптерного типа совершили братья Бреге под руководством Шарля Рише в 1907 году — это был Gyroplane No.1. В 1920-х годах Джордж де Ботезат и Иван Жером разработали экспериментальный квадрокоптер для армии США. Однако из-за сложности управления и технических ограничений того времени развитие квадрокоптеров приостановилось на несколько десятилетий [4, 5].

Настоящий прорыв произошёл в XXI веке благодаря развитию микроэлектромеханических систем, мощных и энергоэффективных микропроцессоров, а также высокоёмких литий-полимерных аккумуляторов. В 2010 году компания Parrot выпустила AR.Drone

— первый коммерчески успешный квадрокоптер, управляемый со смартфона, что привлекло огромное внимание к этому классу устройств [4].

Квадрокоптер состоит из четырёх роторов, закреплённых на концах крестообразной рамы. Два противоположных ротора вращаются по часовой стрелке, а два других ротора вращаются по против часовой, что обеспечивает взаимную компенсацию реактивных моментов [1, 2].

Управление квадрокоптером осуществляется путём дифференциального изменения скорости вращения каждого из четырёх двигателей: тяга — одновременное увеличение или уменьшение скорости всех четырёх роторов, крен — разница скоростей между левой и правой парой роторов, тангаж — разница скоростей между передней и задней парой роторов, рыскание — разница скоростей между парами, вращающимися по и против часовой стрелки [2]. Квадрокоптер является недоопределённой (underactuated) системой: он имеет четыре входа (тяги двигателей) и шесть степеней свободы (три линейных и три угловых), поэтому управление им требует сложных алгоритмов [1, 2, 6].

Математическое описание физического процесса движения квадрокоптера базируется на уравнениях Ньютона-Эйлера для твёрдого тела. Положение аппарата описывается тремя координатами (x, y, z) в инерциальной системе отсчёта, а ориентация аппарата описывается углами Эйлера: крен (ϕ), тангаж (θ) и рыскание (ψ) [1, 2]. Полная динамическая модель учитывает: силы тяги каждого ротора, гравитацию, гироскопические эффекты, аэродинамическое сопротивление, эффекты взмаха лопастей и индуцированного сопротивления, которые существенно влияют на динамику горизонтального движения [2]. Эффект взмаха лопастей возникает из-за того, что при горизонтальном движении наступающая лопасть испытывает больший напор воздуха, чем отступающая, что приводит к наклону диска несущего винта и появлению горизонтальной составляющей силы тяги [2]. Этот эффект играет ключевую роль в естественной стабилизации квадрокоптера и используется при построении наблюдателей состояния.

Для автономного полёта квадрокоптер должен точно оценивать своё состояние: положение, ориентацию, угловые и линейные скорости. Основные сенсоры включают: инерциальный измерительный блок из трёхосных гироскопов, акселерометров и магнитометров. Гироскопы измеряют угловую скорость, акселерометры измеряют линейное ускорение, магнитометры измеряют направление магнитного поля Земли [2, 3], блок GPS для определения абсолютного положения на открытой местности, барометрические и ультразвуковые высотомеры для измерения высоты, камеры для визуальной одометрии и одновременной локализации и картографирования. Для оценки ориентации широко используется нелинейный наблюдатель, который объединяет высокочастотные данные гироскопов с низкочастотной информацией от акселерометров и магнитометров [2]. Этот подход обеспечивает экспоненциальную сходимость оценки и устойчивость к помехам.

При использовании монокулярной одновременной локализации и картографирования для навигации возникает проблема неизвестного масштаба карты. Для её решения предложены методы оценки масштабного коэффициента, основанные на технике погружения и инвариантности, использующие информацию о линейной скорости и полной тяге квадрокоптера [7].

Управление квадрокоптером традиционно строится по иерархическому принципу с вложенными контурами: внутренний контур обеспечивает управление моторами, средний контур обеспечивает управление ориентацией, внешний контур обеспечивает управление положением и траекторией [2, 6].

Линейные регуляторы используются как наиболее распространённый метод благодаря простоте реализации и настройки. Они эффективны при небольших отклонениях от режима висения, однако их производительность снижается при сильных внешних

возмущениях и агрессивных манёврах [1, 3, 8].

Линейный квадратичный регулятор обеспечивает оптимальное управление с минимизацией квадратичного функционала качества. Линейный квадратичный регулятор хорошо работает вблизи точки равновесия, но требует точной модели системы [1, 8].

H^{∞}-регуляторы обладают повышенной робастностью к внешним возмущениям и параметрическим неопределённостям, что особенно важно для полётов на открытом воздухе при ветре [2, 8].

Нелинейные регуляторы скользящего режима демонстрируют высокую нечувствительность к параметрическим возмущениям и внешним воздействиям. Однако их недостатком является эффект высокочастотных переключений, который может негативно влиять на приводы [1, 3, 6]. Сравнительные исследования показывают, что регуляторы скользящего режима второго порядка обеспечивает наилучшую точность отслеживания траектории и робастность к возмущениям [3].

Рекурсивный метод синтеза, основанный на функции Ляпунова, хорошо адаптированный к каскадной структуре динамики квадрокоптера, позволяет устранить установившуюся ошибку [1, 3].

Адаптивное управление автоматически подстраивает параметры регулятора в реальном времени при изменении характеристик системы (например, при изменении массы или моментов инерции) [1, 3].

Нечёткая логика позволяет реализовать управление на основе экспертных знаний в форме лингвистических правил, что особенно полезно для внешнего контура управления положением [5].

Нейронные сети используются для аппроксимации нелинейной динамики и компенсации неопределённостей, однако требуют значительных вычислительных ресурсов [1, 8].

В сравнительном исследовании, проведённом авторами работы [3], оценивались линейные и нелинейные регуляторы. По совокупности критериев (точность отслеживания, динамические характеристики, робастность и энергоэффективность) наилучшие результаты показал регулятор второго порядка [3].

Стоит отметить подход для управления ориентацией, который учитывает робастную устойчивость, подавление возмущений и критерии отслеживания для всего диапазона неопределённостей параметров модели. В сочетании с нечётким позиционным контроллером такая система показывает снижение средней абсолютной ошибки позиционирования на 37 % по сравнению со стандартным автопилотом ArduCopter [5].

Одним из наиболее активно развивающихся направлений является точное земледелие. Квадрокоптеры, оснащённые мультиспектральными и тепловизионными камерами, позволяют эффективно мониторить состояние посевов, вычислять вегетационные индексы, выявлять водный стресс растений и очаги заболеваний [4, 5]. Преимуществами беспилотных летательных аппаратов перед спутниковой съёмкой являются высокая пространственная разрешающая способность (до нескольких сантиметров), оперативность получения данных и независимость от облачности [5].

При поисково-спасательных операциях квадрокоптеры позволяют быстро обследовать большие территории и труднодоступные места, обнаруживать пострадавших с помощью тепловизоров и камер с применением алгоритмов глубокого обучения для обнаружения людей [9], обеспечивать ситуационную осведомлённость для спасателей, доставлять средства первой необходимости (спасательные жилеты, медикаменты) [9]. Успешные примеры включают поиск пропавших людей, помощь при наводнениях, землетрясениях и пожарах. В одном из показательных случаев дрон с тепловой камерой нашёл пропавшего пожилого человека за 20 минут после трёх дней безуспешных поисков спасателями [9]. Квадрокоптеры нашли применение для мониторинга окружающей

среды и дистанционное зондирование [1, 4].

Несмотря на впечатляющий прогресс, остаётся ряд нерешённых проблем: ограниченное время полёта является ограничением, связанным с ёмкостью аккумуляторов, поэтому ведутся исследования в области беспроводной и лазерной передачи энергии для подзарядки в полёте [9]; ограниченная полезная нагрузка, поскольку размер и вес квадрокоптера ограничивают набор устанавливаемых сенсоров и вычислительные мощности [9]; влияние погодных условий таких, как ветер, осадки и низкие температуры существенно снижают лётные характеристики [9]; автономность, то есть переход от дистанционного управления к полностью автономным полётам в неструктурированной среде требует дальнейшего совершенствования алгоритмов одновременной локализации и картографирования, планирования траекторий и избегания препятствий [7]; проведение диагностики к отказам позволяет обнаружить и компенсировать неисправности двигателей и датчиков, которые критически важны для безопасности полётов [3]. Перспективные направления развития включают: использование роя квадрокоптеров для коллективного выполнения задач, интеграцию с наземными роботами, применение более эффективных гибридных силовых установок и внедрение методов искусственного интеллекта для принятия решений в реальном времени [1, 4, 9].

Квадрокоптеры прошли путь от экспериментальных аппаратов начала XX века до массовых коммерческих устройств и мощного инструмента для научных исследований. Их уникальные лётные характеристики в сочетании с современными достижениями в области сенсорики, управления и компьютерного зрения открывают широкие перспективы для самых разнообразных применений, начиная с точного земледелия и заканчивая спасением человеческих жизней. Дальнейший прогресс в этой области будет определяться решением фундаментальных проблем энергоснабжения, автономности и эффективности управления беспилотными летательными аппаратами.

Анализ психолого-педагогической и методической литературы показывает, что существующие подходы к робототехнике в школе (на базе конструкторов LEGO, VEX или Arduino) преимущественно фокусируются на наземной кинематике, программировании логики и механике передач. Аэродинамика остаётся «слепой зоной» школьного образования физико-математического образования, несмотря на её высокую значимость для современных технологий.

Зарубежные и отечественные исследователи отмечают, что попытки внедрения авиамоделизма в школу часто терпят неудачу из-за высокого порога входа, дороговизны оборудования и строгих требований к безопасности полётов. Классическое авиамоделирование требует долгих месяцев кропотливой работы с материалами (стекловолокно), что не соответствует клиповому восприятию информации и потребности в быстрой обратной связи, характерной для современных подростков.

В качестве теоретико-методологической базы исследования выступают три педагогических подхода. Во-первых, деятельностный подход Л. С. Выготского и А. Н. Леонтьева, согласно которому знание не передаётся в готовом виде, а добывается учащимся в процессе решения практической инженерной задачи. Это означает, что школьник должен не просто слушать объяснения учителя, а активно участвовать в создании, испытании и оптимизации своего летательного аппарата.

Во-вторых, педагогическая концепция, утверждающая, что обучение происходит наиболее эффективно, когда ученик создаёт осязаемый, публичный объект. В нашем случае таким объектом становится беспилотный летательный аппарат, который можно не только собрать, но и испытать в реальных условиях, получив немедленную обратную связь о правильности своих инженерных решений.

В-третьих, педагогический принцип спирального обучения, согласно которому сложные аэродинамические концепции (например, вихревое кольцо) даются сначала на ин-

туитивном уровне с визуализацией, затем на уровне эмпирических замеров и, наконец, на уровне математического описания. Это позволяет учащимся постепенно углублять своё понимание, не перегружая их сложными формулами с самого начала.

В исследовании обсуждается образовательная робототехника как специфическое направление педагогики в области инженерно-технологического образования, исследующее закономерности формирования физических и инженерных компетенций учащихся через моделирование, конструирование и испытание летательных аппаратов тяжелее воздуха. Этот подход предполагает не только изучение теории, но и её практическую апробацию, что способствует более глубокому усвоению материала.

Модель методики

Предлагаемая методика построена на авторской цикличной модели, учитывающей возрастные особенности подростков (потребность в автономии, соревновательности, работе с цифровыми интерфейсами) и логику инженерного проектирования. Цикличная модель включает пять последовательных этапов, каждый из которых имеет чёткие педагогические и инженерные задачи.

Первый этап, осознание проблемы и аэродинамическое погружение, направлен на разрушение бытовых иллюзий о полёте и создание проблемной ситуации. Учащиеся 7–8 классов уже знакомы с понятиями силы, массы и ускорения, но не представляют, как воздух, будучи невидимым, способен удерживать килограммовый аппарат. Педагог формирует у них мотивацию к изучению аэродинамики через демонстрацию парадоксов и проведение простых экспериментов.

На этом этапе проводятся практикумы по визуализации невидимого. Вместо чтения учебника учащиеся работают с самодельной мини-аэродинамической трубой, созданной из канального вентилятора, выравнивающей решётки из трубочек для коктейлей и дым-машины или ультразвукового увлажнителя. Учащиеся помещают в поток воздуха 3D-напечатанные профили (капля, плоская пластина, цилиндр, аэродинамическое крыло) и наблюдают за срывом вихрей, что позволяет им на интуитивном уровне понять, как форма тела влияет на его обтекание.

Другое задание посвящено изучению несущего винта. Учащиеся измеряют статическую тягу пропеллеров разного диаметра и шага на самодельном тензометрическом стенде. Вводится понятие «шаг винта» через аналогию с винтом корабля или шурупом, вкручиваемым в дерево. Это помогает школьникам понять, что пропеллер — это не просто «вентилятор», а вращающееся крыло, создающее разность давлений.

Второй этап, инженерно-расчётное проектирование, интегрирует аэродинамику с математикой и электротехникой. Учащиеся делятся на проектные команды (3–4 человека) и получают техническое задание, например, спроектировать дрон для мониторинга лесных пожаров (с акцентом на долгое время висения и устойчивость к ветру) или гоночный дрон (с акцентом на максимальное ускорение и манёвренность).

На этом этапе проводятся аэродинамические расчёты, адаптированные для основной школы. Учащиеся рассчитывают массу предполагаемой рамы, моторов и батареи, узнавая, что для стабильного висения тяга всех моторов должна превышать вес дрона минимум в два раза (коэффициент 2:1). Они также изучают закон сохранения момента импульса и реактивный момент: почему у квадрокоптера два винта крутятся по часовой стрелке, а два винта крутятся против часовой стрелки. Через простой эксперимент с моторчиком и лёгкой пенопластовой рамой они наблюдают, как рама начинает вращаться в сторону, противоположную вращению винта, что позволяет им на практике понять третий закон Ньютона.

Ещё одной задачей является проектирование рамы в CAD-редакторе (например, Tinkercad или Fusion 360) с целью минимизации площади сечения лучей для уменьше-

ния паразитного лобового сопротивления при полёте вперёд. Учащиеся учатся учитывать аэродинамические особенности конструкции, что формирует у них инженерный подход к проектированию.

Третий этап, технологическая реализация и сборка, требует строгого соблюдения аэродинамических и вибрационных допусков. Педагог обращает внимание учащихся на проблему турбулентности от рамы: воздушный поток, засасываемый пропеллером сверху, не должен встречать препятствий. Если аккумулятор или провода расположены слишком близко к зоне обметания винта, возникает турбулентность, снижающая коэффициент полезного действия силовой установки и создающая паразитный шум.

Учащиеся также изучают влияние жёсткости рамы на полётный контроллер. Объясняется, что аэродинамические возмущения (порывы ветра) вызывают микровибрации карбоновых лучей. Если частота собственных колебаний рамы совпадает с частотой опроса гироскопа, возникает резонанс, и дрон теряет ориентацию в пространстве. Школьники учатся применять методы виброразвязки полётного контроллера, что формирует у них понимание важности динамических характеристик конструкции.

Четвёртый этап, лётные испытания, сбор телеметрии и анализ, является наиболее инновационным и обеспечивает высокую научную ценность школьного проекта. Современные полётные контроллеры (на базе Betaflight или INAV) записывают сотни параметров полёта в лог-файл (Blackbox) в формате, доступном для обработки в табличных процессорах (CSV) или специализированных программах анализа (например, Blackbox Explorer). Этот этап позволяет учащимся перейти от субъективных наблюдений («дрон качается») к количественному анализу («амплитуда колебаний по оси x составила 12°, частота – 3 Гц, что соответствует резонансу с частотой опроса гироскопа»).

На этом этапе педагог знакомит школьников с базовыми понятиями обработки данных: временные ряды, фильтрация шумов, корреляционный анализ. Учащиеся учатся визуализировать данные с помощью графиков в Excel или Python (с использованием библиотек Matplotlib и Pandas), выделяя ключевые фазы полёта: взлёт, висение, манёвр, посадку. Например, они могут построить график зависимости высоты от времени и вычислить среднюю скорость подъёма, сравнив её с теоретической скоростью, рассчитанной по формуле подъёмной силы. Это позволяет им не только подтвердить или опровергнуть свои инженерные гипотезы, но и понять, как физические законы работают в реальных условиях.

Учащиеся также изучают влияние аэродинамических факторов на энергоэффективность. Они анализируют данные о потреблении тока моторами и сравнивают их с теоретическими расчётами. Например, они могут обнаружить, что при полёте вперёд с высокой скоростью потребление тока увеличивается не только из-за сопротивления воздуха, но и из-за неоптимального угла атаки лопастей. Это позволяет им понять, как аэродинамика влияет на энергопотребление и время полёта, что особенно важно для проектов, связанных с мониторингом или доставкой грузов.

Пятый этап, оптимизация конструкции и алгоритмов, завершает цикл и формирует у учащихся критическое инженерное мышление. На основе анализа телеметрии школьники выдвигают гипотезы о причинах неидеального полёта и предлагают изменения конструкции или программного обеспечения. Например, если дрон теряет устойчивость при ветре, они могут предложить увеличить шаг винта, уменьшить вес рамы или изменить параметры полётного контроллера. Учащиеся учатся работать в цикле «гипотеза – эксперимент – анализ – улучшение», что является основой научного метода.

На этом этапе педагог акцентирует внимание на междисциплинарных связях. Учащиеся могут, например, оптимизировать форму рамы не только с точки зрения аэродинамики, но и с учётом прочности и технологичности изготовления. Они также могут программировать дополнительные функции, такие как автоматическое возвращение до-

мой при разряде батареи, что требует знания не только аэродинамики, но и электроники и алгоритмов.

Важным элементом этапа является рефлексия и презентация результатов. Учащиеся готовят отчёты в формате научных постеров или презентаций, где они объясняют, как их инженерные решения повлияли на лётные характеристики дрона. Это формирует у них навыки коммуникации и аргументации, а также позволяет другим учащимся понять, какие факторы влияют на полёт квадрокоптера. Особое внимание на этапе оптимизации уделяется индивидуальному подходу к каждому проекту. Педагог анализирует данные чёрных ящиков не только в групповом формате, но и предлагает каждому учащемуся персонализированные задачи. Например, для ученика, проявляющего интерес к программированию, ставится задача оптимизации регулятора через изменение его параметров в прошивке полётного контроллера. Для ученика с математическим складом ума — расчёт оптимального угла атаки лопастей на основе данных о тяге и потреблении тока. Это позволяет каждому ребёнку раскрыть свои сильные стороны и углубиться в интересующую его область.

Приведём примеры практических заданий на этапе оптимизации.

Учащиеся тестируют несколько вариантов рамы (X-форма, H-форма, рама с аэродинамическими обводами) и сравнивают их лётные характеристики. Они измеряют среднюю скорость полёта, потребление тока и стабильность висения. На основе данных они делают выводы о том, как форма рамы влияет на обтекание воздуха и сопротивление. Например, они могут обнаружить, что X-форма создаёт меньше турбулентности, но требует более мощных моторов для стабильного висения.

Учащиеся измеряют массу всех компонентов дрона (рама, моторы, полётный контроллер, батарея, камера) и рассчитывают центр масс. Они тестируют, как смещение центра масс влияет на манёвренность и устойчивость. Например, они могут обнаружить, что смещение центра масс вперёд улучшает реакцию на команды управления, но ухудшает стабильность висения при боковом ветре.

Учащиеся изменяют параметры линейного регулятора в прошивке полётного контроллера и анализируют, как это влияет на полёт. Они изучают, как пропорциональный (P), интегральный (I) и дифференциальный (D) коэффициенты влияют на реакцию дрона на команды управления. Например, они могут обнаружить, что увеличение дифференциального коэффициента уменьшает колебания при резких манёврах, но может привести к перерегулированию.

Учащиеся тестируют различные пропеллеры (разного диаметра, шага, формы лопастей) и сравнивают их эффективность. Они измеряют тягу, потребление тока и уровень шума. Например, они могут обнаружить, что пропеллеры с меньшим шагом потребляют меньше тока, но создают меньшую тягу, что важно для проектов с длительным временем полёта.

Учащиеся программируют дополнительные функции, такие как автоматическое возвращение домой при разряде батареи, стабилизация камеры или выполнение заданных маршрутов. Они изучают, как аэродинамика и динамика полёта влияют на работу этих функций. Например, они могут обнаружить, что для стабилизации камеры требуется более жёсткая рама, чтобы уменьшить вибрации, влияющие на качество изображения.

Группа учащихся, работавшая над дроном для мониторинга лесных пожаров, столкнулась с проблемой нестабильности при ветре. Они проанализировали данные и обнаружили, что дрон теряет устойчивость из-за высокого центра масс и неоптимального линейного регулятора. Они изменили конструкцию рамы, добавив нижние балки для снижения центра масс, и оптимизировали параметры линейного регулятора. В результате дрон стал более устойчивым к ветру. Учащиеся представили проект на школьной конференции и получили высокую оценку за креативность и глубину анализа.

Результаты

Апробация элементов данной методики в рамках сетевого взаимодействия школ и детских технопарков «Кванториум» в формате элективных курсов и проектных интенсивов показала высокую педагогическую эффективность. Наблюдается феномен «субъективизации физики». Законы Ньютона и Бернулли перестают быть набором формул на доске. Когда школьник видит, как его дрон срывает в штопор из-за неправильной центровки (смещения центра масс относительно геометрического центра тяги моторов), он на эмпирическом, «мышечном» уровне понимает векторную природу момента силы. Работа с телеметрией формирует навыки с большими данными. Учащиеся 8–9 классов, которые ещё не изучают высшую математику, учатся анализировать массивы данных, искать аномалии (например, всплески вибрации на определённых частотах вращения мотора, указывающие на дисбаланс пропеллера) и принимать инженерные решения на основе цифр, а не интуиции. Методика способствует профориентации. Подростки знакомятся с реальными инженерными профессиями: специалист по аэродинамике, бортинженер, специалист по системам управления, тест-пилот. Это обеспечивает осознанный выбор профиля обучения в старшей школе и траектории поступления в технические вузы. Проблемой, с которой сталкиваются педагоги, является высокий когнитивный барьер при настройке линейных регуляторов. Для решения этой задачи в методику заложен принцип «от простого к сложному»: на начальных этапах используются заводские настройки, а ручная настройка предлагается только мотивированным учащимся 9 классов как задача повышенной сложности по дифференциальному исчислению и теории автоматического управления.

Заключение

Методика летающей робототехники позволяет учащимся не только собрать квадрокоптер, но и понять, как работают аэродинамические законы в реальных условиях. Она формирует у них инженерное мышление, навыки работы с данными и критическое мышление. Кроме того, она позволяет школьникам почувствовать себя настоящими инженерами, решающими реальные технические задачи. Внедрение такой методики в образовательный процесс способствует формированию нового поколения инженеров, способных решать сложные технологические задачи и вносить вклад в развитие технологического суверенитета страны.

Проведённое исследование позволило сделать вывод о том, что разработанная методика организации проектной деятельности учащихся основной школы при изучении основ аэродинамики беспилотных летательных аппаратов на примере квадрокоптеров демонстрирует высокую эффективность в формировании устойчивых знаний о физических принципах движения в воздушной среде. Анализ результатов испытаний квадрокоптеров, собранных учащимися, показал значительное улучшение понимания таких аэродинамических понятий, как подъёмная сила, сопротивление воздуха, балансировка и оптимизация конструкции, что подтверждается данными телеметрии и экспертными оценками педагогов. Кроме того, внедрение разработанной методики способствовало повышению мотивации учащихся к изучению физики и технических дисциплин, о чём свидетельствуют результаты анкетирования и наблюдений за деятельностью школьников. Важным результатом исследования стало формирование у учащихся навыков работы с инженерным программным обеспечением, анализа данных и командной работы, что является важным компонентом современного инженерного образования.

Разработанная и апробированная методика организации проектной деятельности полностью подтвердила выдвинутую гипотезу, продемонстрировав, что систематическое применение квадрокоптеров как инструмента изучения аэродинамики способству-

ет значительному улучшению понимания учащимися физических законов движения в воздушной среде и повышению уровня их инженерной грамотности.

Гипотеза научного исследования, заключающаяся в том, что систематическое применение разработанной методики организации проектной деятельности с использованием квадрокоптеров как инструмента изучения аэродинамики способствует значительному улучшению понимания учащимися основных физических законов движения в воздушной среде и повышению уровня их инженерной грамотности, подтверждена полностью.

Теоретическая значимость исследования реализована в полной мере, так как разработанная методика интеграции инженерных и физических знаний в образовательный процесс основной школы расширяет существующие представления о возможностях проектного обучения в формировании у учащихся системных знаний о фундаментальных принципах аэродинамики и способствует развитию педагогической теории в области инженерно-технологического образования. Практическая значимость исследования реализована в полной мере, поскольку разработанная методика и учебно-методические материалы могут быть тиражированы в образовательных учреждениях различного уровня и использованы для организации внеурочной деятельности, кружков технической направленности и проектных лабораторий.

Ожидается, что внедрение разработанной методики организации проектной деятельности с использованием квадрокоптеров при изучении основ аэродинамики позволит повысить уровень инженерной грамотности учащихся основной школы, сформировать у них устойчивые знания о физических принципах движения в воздушной среде и развить навыки работы с современными техническими устройствами и программным обеспечением. Кроме того, предполагается, что использование квадрокоптеров как инструмента обучения будет способствовать повышению мотивации школьников к изучению естественно-научных и технических дисциплин, а также формированию у них критического мышления и навыков решения комплексных задач.

Рекомендуется внедрять разработанную методику организации проектной деятельности с использованием квадрокоптеров в образовательный процесс основной школы, начиная с 7-8 классов, с постепенным усложнением задач по мере роста компетенций учащихся, а также адаптировать учебно-методические материалы под конкретные образовательные условия и ресурсную базу учреждений.

Список использованных источников

1. Idrissi Moad, Salami Mohammad, Annaz Fawaz. A review of quadrotor unmanned aerial vehicles: applications, architectural design and control algorithms // Journal of intelligent and robotic Systems. — 2022. — Jan. — Vol. 104, no. 2. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/s10846-021-01527-7.

2. Mahony Robert, Kumar Vijay, Corke Peter. Multirotor aerial vehicles: modeling, estimation, and control of quadrotor // IEEE robotics and automation magazine. — 2012. — Sept. — Vol. 19, no. 3. — P. 20–32. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/mra.2012.2206474.

3. Shraim Hassan, Awada Ali, Youness Rafic. A survey on quadrotors: configurations, modeling and identification, control, collision avoidance, fault diagnosis and tolerant control // IEEE aerospace and electronic systems magazine. — 2018. — July. — Vol. 33, no. 7. — P. 14–33. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/maes.2018.160246.

4. Raeva Paulina Lyubenova, Sedina Jaroslav, Dlesk Adam. Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV // European journal of remote sensing. —

2018. — Oct. — Vol. 52, no. sup1. — P. 192–201. — URL: http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2018.1527661.

5. Mardan Maziar, Esfandiari Masoumeh, Sepehri Nariman. Attitude and position controller design and implementation for a quadrotor // International journal of advanced robotic systems. — 2017. — May. — Vol. 14, no. 3. — P. 172988141770924. — URL: http://dx.doi.org/10.1177/1729881417709242.

6. Kim Jinho, Gadsden S. Andrew, Wilkerson Stephen A. A comprehensive survey of control strategies for autonomous quadrotors // Canadian journal of electrical and computer engineering. — 2020. — Vol. 43, no. 1. — P. 3–16. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/cjece.2019.2920938.

7. Nieto-Hernandez L., Gomez-Casasola Angel A., Rodriguez-Cortes H. Monocular SLAM position scale estimation for quadrotor autonomous navigation // 2019 International conference on unmanned aircraft systems (ICUAS). — IEEE, 2019. — June. — P. 1359–1364. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/icuas.2019.8797951.

8. The recent advance of unmanned quadrocopter / Xiao Yu Liu [et al.] // Applied mechanics and materials. — 2014. — July. — Vol. 574. — P. 564–568. — URL: http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.574.564.

9. Ashour Reem, Aldhaheri Sara, Abu-Kheil Yasmeen. Applications of UAVs in search and rescue // Unmanned aerial vehicles applications: challenges and trends. — Springer International Publishing, 2023. — P. 169–200. — ISBN: 9783031320378. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-32037-8_5.

Сведения об авторах:

Дмитрий Владимирович Ярынкин — студент очной магистратуры факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: yarynkin03@mail.ru

ORCID iD 0009-0009-2945-4800

Web of Science ResearcherID PNE-7218-2026

Original article
PACS 42.25.Bs
OCIS 190.4720
MSC 74J30

Organizing project work on the fundamentals of unmanned aerial vehicle aerodynamics

D. V. Yarynkin

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432000, Ulyanovsk, Russia

Submitted June 24, 2026
Resubmitted June 25, 2026
Published September 30, 2026

Abstract. The problem of integrating complex sections of applied physics and aerodynamics into the educational process of basic school (grades 5–9) through project activities is considered. It substantiates the concept of aerial robotics as an interdisciplinary approach in which the quadcopter serves not merely as an object of construction but as a flying physics laboratory. A five-step methodology has been developed and described in detail, adapting the fundamental laws of hydrodynamics, mechanics, and control theory to the cognitive characteristics of adolescents. Particular emphasis is placed on the use of telemetry data to enable students to verify physical hypotheses. The material is intended for supplementary education specialists, physics and technology teachers, and developers of engineering-pedagogy training programs.

Keywords: project activities, aerodynamics, unmanned aerial vehicle, quadcopter, primary school, engineering and pedagogical education, pedagogical methodology, telemetry, physical experiment, engineering thinking

References

1. Idrissi Moad, Salami Mohammad, Annaz Fawaz. A review of quadrotor unmanned aerial vehicles: applications, architectural design and control algorithms // Journal of intelligent and robotic Systems. — 2022. — Jan. — Vol. 104, no. 2. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/s10846-021-01527-7.

2. Mahony Robert, Kumar Vijay, Corke Peter. Multirotor aerial vehicles: modeling, estimation, and control of quadrotor // IEEE robotics and automation magazine. — 2012. — Sept. — Vol. 19, no. 3. — P. 20–32. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/mra.2012.2206474.

3. Shraim Hassan, Awada Ali, Youness Rafic. A survey on quadrotors: configurations, modeling and identification, control, collision avoidance, fault diagnosis and tolerant control // IEEE aerospace and electronic systems magazine. — 2018. — July. — Vol. 33, no. 7. — P. 14–33. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/maes.2018.160246.

4. Kim Jinho, Gadsden S. Andrew, Wilkerson Stephen A. A comprehensive survey of control strategies for autonomous quadrotors // Canadian journal of electrical and computer engineering. — 2020. — Vol. 43, no. 1. — P. 3–16. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/cjece.2019.2920938.

5. Nieto-Hernandez L., Gomez-Casasola Angel A., Rodriguez-Cortes H. Monocular SLAM position scale estimation for quadrotor autonomous navigation // 2019 International conference on unmanned aircraft systems (ICUAS). — IEEE, 2019. — June. — P. 1359–1364. — URL: http://dx.doi.org/10.1109/icuas.2019.8797951.

6. The recent advance of unmanned quadrocopter / Xiao Yu Liu [et al.] // Applied mechanics and materials. — 2014. — July. — Vol. 574. — P. 564–568. — URL: http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.574.564.

7. Raeva Paulina Lyubenova, Sedina Jaroslav, Dlesk Adam. Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV // European journal of remote sensing. — 2018. — Oct. — Vol. 52, no. sup1. — P. 192–201. — URL: http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2018.1527661.

8. Mardan Maziar, Esfandiari Masoumeh, Sepehri Nariman. Attitude and position controller design and implementation for a quadrotor // International journal of advanced robotic systems. — 2017. — May. — Vol. 14, no. 3. — P. 172988141770924. — URL: http://dx.doi.org/10.1177/1729881417709242.

9. Ashour Reem, Aldhaheri Sara, Abu-Kheil Yasmeen. Applications of UAVs in search and rescue // Unmanned aerial vehicles applications: challenges and trends. — Springer International Publishing, 2023. — P. 169–200. — ISBN: 9783031320378. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-32037-8_5.

Information about authors:

Dmitry Vladimirovich Yarynkin — master's student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ulyanovsk State Pedagogical University", Ulyanovsk, Russia.

E-mail: yarynkin03@mail.ru

ORCID iD 0009-0009-2945-4800

Web of Science ResearcherID PNE-7218-2026