

УДК 629.735

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.51.4.044](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.044)

## Анализ влияния временных задержек на работу системы управления шасси беспилотного летательного аппарата

И.И. Хасанов✉, Н.В. Бережанский, П.Д. Акаемов

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва,  
Российская Федерация*

**Резюме.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надежности и безопасности систем управления шасси беспилотных летательных аппаратов, функционирующих в условиях временных задержек передачи управляющих сигналов. Такие задержки, возникающие на этапах измерения, обработки и исполнения команд, существенно влияют на время реакции системы и могут привести к отказам при посадке аппарата. В связи с этим данная работа направлена на моделирование поведения электронной части системы управления шасси беспилотного летательного аппарата с учетом совокупных временных задержек, определяющих общее время отклика. Ведущим методом исследования является численное моделирование во временной области, выполненное в программной среде Simintech, что позволило реализовать структурно-блочную модель передачи сигнала от датчика положения до исполнительного привода. В результате определено, что суммарная задержка системы составляет около двух секунд при допустимом угле наклона корпуса не более пятнадцати градусов. При превышении данного значения управляющий сигнал не формируется, что обеспечивает дополнительную защиту от аварийных режимов. Полученные результаты подтверждают необходимость оптимизации архитектуры системы управления и выбора более быстродействующих компонентов. Материалы исследования представляют практическую ценность для проектирования и анализа систем управления беспилотных летательных аппаратов самолетного типа.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, система управления шасси, временные задержки сигнала, моделирование динамических систем, электронная часть системы управления, программная среда.

**Для цитирования:** Хасанов И.И., Бережанский Н.В., Акаемов П.Д. Анализ влияния временных задержек на работу системы управления шасси беспилотного летательного аппарата *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2025;13(4). URL: <https://moitvvt.ru/journal/pdf?id=2096> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.044

## Analysis of the impact of time delays on the operation of the chassis control system of an unmanned aerial vehicle

I.I. Khasanov✉, N.V. Berezhansky, P.D. Akaemov

*Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow,  
the Russian Federation*

**Abstract.** The relevance of this research stems from the need to improve the reliability and safety of unmanned aerial vehicle landing gear control systems operating under conditions of time delays in control signal transmission. Such delays, which occur during the measurement, processing, and execution of commands, significantly impact the system's response time and can lead to failures during landing. Therefore, this study aims to model the behavior of the electronic component of an unmanned aerial vehicle landing gear control system, taking into account the cumulative time delays that determine the overall response time. The primary research method is numerical simulation in the time domain, performed in the Simintech software environment, which enabled the implementation of a structural

block model of signal transmission from the position sensor to the actuator. The results showed that the total system delay is approximately two seconds for an acceptable body tilt angle of no more than fifteen degrees. If this value is exceeded, the control signal is not generated, providing additional protection against emergency conditions. The obtained results confirm the need to optimize the control system architecture and select faster-responding components. The research materials are of practical value for the design and analysis of control systems for aircraft-type unmanned aerial vehicles.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, landing gear control system, signal time delays, dynamic systems modeling, electronic part of the control system, software environment.

**For citation:** Khasanov I.I., Berezhansky N.V., Akaemov P.D. Analysis of the impact of time delays on the operation of the chassis control system of an unmanned aerial vehicle. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=2096> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.044

## Введение

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются в различных отраслях – от наблюдения и мониторинга до выполнения специализированных транспортных и разведывательных задач. В работах [1, 2] рассмотрены особенности проектирования и применения БПЛА, а также вопросы организации их систем управления и взаимодействия между компонентами. Надежность и безопасность эксплуатации таких аппаратов напрямую зависят от корректного функционирования их систем управления, включая критически важную систему выпуска шасси, обеспечивающую безопасную посадку.

Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность функционирования системы управления шасси, является наличие временных задержек на всех этапах передачи управляющего сигнала – от измерения параметров движения аппарата до срабатывания исполнительных механизмов. Эти задержки могут быть вызваны физическими, программными и аппаратными причинами: инерционностью сенсоров, характеристиками микроконтроллеров, особенностями обработки данных, а также задержками, связанными с сервоприводами и средствами передачи сигнала [3, 4].

В условиях полета влияние таких задержек может привести к запаздыванию реакции системы, особенно при нестабильном пространственном положении аппарата. Кроме того, как показано в исследовании [5], наличие запаздываний в контурах управления требует применения методов адаптивного регулирования для поддержания устойчивости и требуемого качества переходных процессов. Таким образом, для обеспечения надежной работы системы управления шасси необходимо предварительное моделирование ее поведения с учетом типовых задержек, определяющих общее время реакции на управляющее воздействие.

Проблема моделирования таких задержек актуальна, поскольку некорректный учет этих факторов может привести к запаздыванию реакции системы при изменении пространственного положения аппарата.

Цель настоящего исследования заключается в определении времени отклика системы управления шасси беспилотного летательного аппарата с учетом временных задержек сигнала на этапах формирования и передачи управляющего воздействия. Для достижения цели решаются задачи: анализ структуры системы управления шасси, моделирование процесса передачи сигнала с учетом задержек, определение совокупного времени реакции системы и условий корректного срабатывания механизма выпуска шасси.

## Материалы и методы

Система управления шасси БПЛА представляет собой комплекс аппаратных и программных компонентов, обеспечивающих выпуск и фиксацию шасси при посадке. В рамках данного исследования рассматривается электронная часть системы, начиная с датчиков положения и заканчивая формированием управляющего сигнала на исполнительные механизмы.

Объектом моделирования выступает структура передачи сигнала от датчика положения БПЛА до сервоприводов механизма выпуска шасси, без учета динамики самих исполнительных механизмов. Основная задача заключается в количественной оценке суммарного времени задержки сигнала, возникающей на всех промежуточных этапах прохождения, и в определении условий, при которых формируется или не формируется управляющее воздействие [6].

Система управления функционирует при следующих условиях:

- пороговое условие активации: сигнал с датчика положения разрешается к передаче, только если угол наклона БПЛА относительно горизонтальной плоскости не превышает  $15^\circ$ ;

- при превышении этого значения управляющий сигнал не формируется.

Задержки в тракте управления:

1) датчик положения:

- задержка установления тока (ПИД-регулятор):  $\delta_1$  5 мкс;
- задержка фильтрации (фильтр 2-го порядка):  $\delta_2$  0,2 мкс;
- задержка аналого-цифрового преобразования (интегрирующий АЦП):  $\delta_3$  0,15 мкс;
- задержка емкостная зарядка:  $\delta_4$  0,5 мкс;

2) микроконтроллер:

- битовая задержка:  $\delta_5$  87 мкс;
- задержка десинхронизации:  $\delta_6$  17 мкс;
- буферизация данных (FIFO):  $\delta_7$  1,4 мкс;
- обработка прерывания:  $\delta_8$  50 мкс;

3) сервопривод:

- задержка на стороне приемника:  $\delta_9$  10000 мкс;
- задержка драйвера:  $\delta_{10}$  5000 мкс;
- время переключения между режимами передачи TX и RX:  $\delta_{11}$  50000 мкс.

Для моделирования сигнала задержки по длине его передачи используется инерционно-дифференцирующее звено, описываемое передаточной функцией:

$$\delta_L = \frac{ks}{Ts+1}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления;  $T$  – постоянная времени.

Условие срабатывания шасси формализуется логическим выражением:

$$\begin{aligned} & \text{input } u: \text{integer}; \text{output } y; \\ & \text{if } u > 15, \\ & \text{then } y = 0, \text{ else } y = 1, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $u$  – угол наклона корпуса БПЛА,  $y$  – выходной управляющий сигнал на микроконтроллер.

Сигнал, полученный от датчика, в случае соблюдения условий, модифицируется с учетом всех задержек (фильтрация, АЦП, ПИД и т. д.) и подается на вход микроконтроллера. Последующий путь сигнала включает задержки, обусловленные

вычислительными и коммуникационными процессами, после чего сигнал поступает на привод управления шасси.

В случае если значение сигнала с датчика положения угла составляет более  $15^\circ$ , то значение сигнала на управление контроллера не передается. Если значение сигнала с датчика положения угла меньше либо равно  $15^\circ$ , то на вход контроллера передается фактическое значение сигнала.

Далее сигнал адитируется со значением задержки сигнала с датчика положения и передается на вход микроконтроллера.

После микроконтроллера сигнал передается на управление сервоприводами, которыми формируется управляющее воздействие на исполнительный механизм шасси.

Суммарная задержка сигнала определяется по формуле:

$$\delta_{\text{сумм}} = \sum_{i=1}^4 \delta \cdot \frac{ks}{Ts+1} + \sum_{i=5}^8 \delta \cdot \frac{ks}{Ts+1} + \sum_{i=9}^{11} \delta \cdot \frac{ks}{Ts+1} + \sum_{i=12}^{14} \delta \cdot \frac{ks}{Ts+1} + \sum_{i=15}^{17} \delta \cdot \frac{ks}{Ts+1}, \quad (3)$$

где  $\delta_{12-15}$  – задержки передачи 2-го и 3-го сервопривода, мкс.

Таким образом, задача сводится к анализу реакции системы на входной управляющий сигнал при различных пространственных положениях БПЛА и фиксированных параметрах задержки, с целью определения времени отклика системы и пороговых условий ее срабатывания.

Для проведения количественной оценки времени отклика системы управления шасси использовано моделирование во временной области с помощью программной среды Simintech<sup>1</sup>. Этот инструмент позволяет реализовывать структурно-блочные схемы, содержащие элементы с временными задержками, логическими условиями, а также инерционно-динамическими звеньями.

Модель системы включает последовательное прохождение сигнала от датчика положения до исполнительного привода. Основной акцент в моделировании сделан на учете совокупных задержек в тракте передачи сигнала, без включения характеристик самого механизма шасси (инерция, фрикционные силы и др.).

Система моделируется в виде последовательности логических и функциональных блоков:

1. Датчик положения – генерирует сигнал, пропорциональный углу наклона БПЛА.

2. Логический фильтр – проверяет, не превышает ли угол наклона  $15^\circ$ .

3. Физические задержки сенсора – реализованы суммированием ПИД-инерции, фильтрации, АЦП и емкостной составляющей.

4. Передаточная функция (инерционно-дифференцирующее звено) – моделирует задержку в передаче сигнала по кабельной линии, с параметрами:

– коэффициент усиления  $k = 1$ ;

– постоянные времени  $T = 1$ ;

– начальные условия  $x_0 = 1$ .

Для корректного воспроизведения динамики системы в среде Simintech необходимо задание начальных параметров, определяющих точность, диапазон времени и масштаб отклика. Данные, использованные в процессе расчета, представлены в Таблице 1.

<sup>1</sup> Справочная система SimInTech (версия 04.09.2025). URL: <https://help.simintech.ru> (дата обращения: 17.09.2025).

Таблица 1 – Начальные параметры расчета  
Table 1 – Initial calculation parameters

Параметр	Значение, с
Минимальный шаг интегрирования	0,001
Максимальный шаг интегрирования	0,001
Конечное время моделирования	100
Относительная ошибка	0,0001

Использование фиксированного шага интегрирования с высокой точностью обеспечивает устойчивость численного решения и позволяет достоверно оценить временные задержки на каждом этапе прохождения сигнала.

Математическое моделирование процессов передачи сигнала и накопления задержек базируется на уравнениях звеньев автоматических систем. В частности, задержка в кабельной линии моделируется через инерционно-дифференцирующее звено, передаточная функция которого имеет вид (1).

Это звено позволяет смоделировать как задержку по времени, так и влияние быстрогодействия линии на форму сигнала (появление фронтов, колебаний, запаздывания). Введение начального состояния  $x_0 = 1$  определяет начальное значение сигнала на входе цепи моделирования.

Такая формализация адекватно отражает распространение сигналов в электронной системе управления с реакцией на кратковременные искажения и стабилизацией на заданном уровне.

### Результаты

В результате моделирования, выполненного в среде Simintech, были получены временные диаграммы реакции системы управления шасси на управляющий сигнал при различных пространственных положениях БПЛА. Графики отражают динамику прохождения сигнала через все компоненты системы с учетом задержек.

На Рисунок 1а представлена реакция системы при угле наклона БПЛА, не превышающем  $15^\circ$ . В этом случае выполняется условие передачи управляющего сигнала, и он поступает на исполнительный привод шасси. Характерной особенностью является наличие переходного процесса, после которого система достигает устойчивого состояния примерно через 2 секунды. Это значение представляет собой совокупное время реакции системы с учетом всех задержек на этапах: датчик → микроконтроллер → сервопривод.

На Рисунке 1б представлена ситуация, при которой угол наклона корпуса БПЛА превышает  $15^\circ$ . В соответствии с логическим условием, управляющий сигнал в данном случае не формируется и не передается на исполнительный механизм. На графике это отражено как отсутствие выходного сигнала, несмотря на наличие входного воздействия.

Полученные результаты подтверждают:

- чувствительность системы к ориентации БПЛА в пространстве – при угле более  $15^\circ$  работа привода блокируется;
- совокупная задержка от момента генерации сигнала до формирования управляющего воздействия составляет порядка 2 секунд, что может быть критично при высоких скоростях снижения;
- наличие логического фильтра по углу положения эффективно предотвращает активацию шасси в условиях потенциальной неустойчивости, однако требует строгого контроля угла при заходе на посадку.

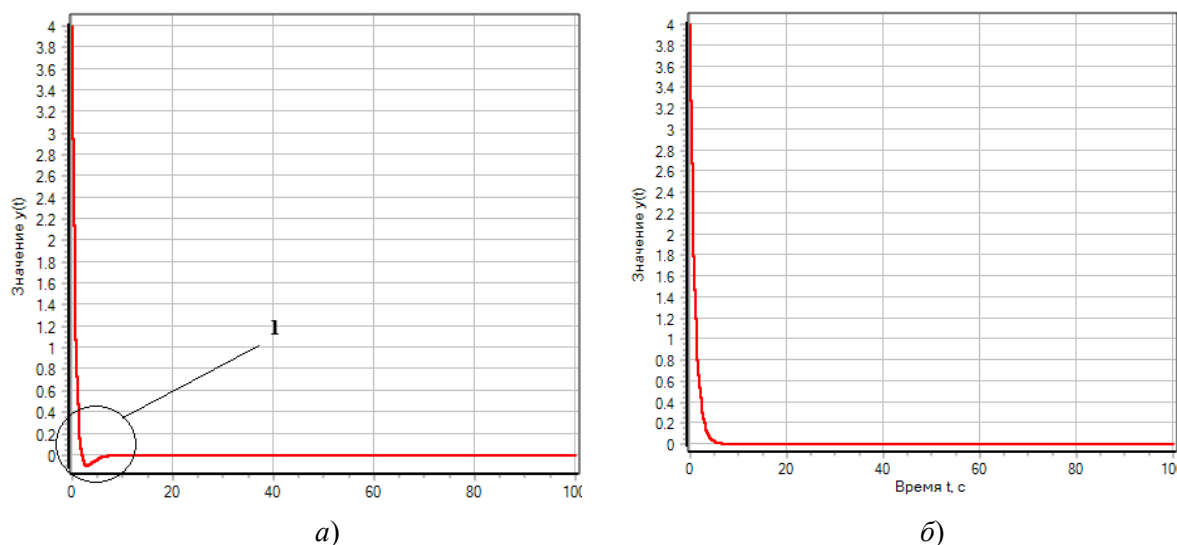


Рисунок 1 – Определение времени реакции системы: а) реакция системы;  
б) отсутствие реакции системы

Figure 1 – Determining the system response time: a) system response; b) no system response

Таким образом, результаты моделирования демонстрируют реалистичную динамику работы системы управления и позволяют количественно оценить ее ограничения при реальной эксплуатации.

Результаты моделирования позволяют сделать ряд значимых выводов о поведении системы управления шасси БПЛА с учетом задержек сигнала и ограничений на пространственное положение аппарата.

Дополнительно стоит отметить, что параметры задержек, использованные в модели, соответствуют типовым значениям аппаратных компонентов, применяемых в системах управления БПЛА. В частности, задержки сенсорного блока моделировались на основе характеристик инерциального датчика MPU6050, микроконтроллерная часть – на базе архитектуры STM32F10x. Задержки на исполнительном этапе были заданы согласно паспортным данным распространенных сервоприводов класса MG995, включая временные параметры обработки сигнала, коммутации и инерционности. Таким образом, моделирование основывалось на реалистичных данных, что повышает прикладную достоверность и воспроизводимость результатов.

Применение указанных аппаратных средств также обосновывает необходимость строгой логики включения управления. Одним из ключевых факторов, определяющих работоспособность всей системы, выступает угол наклона корпуса БПЛА относительно горизонтальной плоскости. Встроенное логическое ограничение в  $15^\circ$  реализовано как защита от срабатывания системы управления при нестабильной ориентации аппарата. Это обеспечивает дополнительную безопасность при возможных перегрузках, кренах и турбулентности, предотвращая преждевременное или аварийное срабатывание механизма выпуска шасси в нештатных режимах.

Моделирование показало, что при корректном положении корпуса управляющее воздействие достигает исполнительного механизма с задержкой около 2 секунд. Эта задержка включает в себя совокупное влияние:

- аппаратных фильтров и преобразователей в датчике;
- внутренней логики микроконтроллера;
- длительности передачи и обработки сигнала в приводе.



Для БПЛА, работающих в динамичных условиях с высокой вертикальной скоростью, такой интервал может оказаться избыточным. Это указывает на необходимость:

- оптимизации программной логики;
- использования более быстрых компонентов (например, сервоприводов с меньшими задержками);
- возможно, предиктивного управления (предварительная инициация срабатывания).

Следует отметить, что модель рассматривает исключительно электронную часть системы управления, без учета:

- инерционных характеристик механизма шасси;
- аэродинамических нагрузок;
- внешних возмущающих факторов (вибрации, наводки, ошибки сенсоров).

Также предполагается, что все компоненты функционируют корректно и в пределах технических допусков. В реальных условиях отклонения от этих предположений могут изменить поведение системы.

Несмотря на упрощения, модель позволяет:

- определить критически важные звенья в структуре системы управления;
- количественно оценить вклад отдельных задержек;
- сформировать требования к времени реакции и допустимым углам ориентации для безопасного запуска механизма шасси.

### Обсуждение

В данной работе выполнено моделирование системы управления шасси беспилотного летательного аппарата самолетного типа с учетом совокупных задержек, возникающих при передаче управляющего сигнала от датчика положения до исполнительного привода. Исследование проводилось в программной среде Simintech, что позволило отразить динамические процессы системы во временной области и провести количественную оценку времени реакции.

Анализ показал, что при соблюдении допустимого угла наклона корпуса БПЛА (не более  $15^\circ$ ) система формирует управляющее воздействие, которое достигает исполнительного механизма с задержкой порядка 2 секунд. Выход за пределы допустимого угла приводит к полной блокировке управляющего сигнала, что реализовано в модели через логическое условие безопасности.

Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность системы управления шасси к углу наклона аппарата и совокупным временным задержкам в тракте сигнала [7].

Задержка порядка двух секунд является значимой при динамичных режимах полета, что требует оптимизации программной логики и аппаратных компонентов [8, 9]. В частности, в работе [10] продемонстрирована эффективность метода управления с предсказанием, направленного на компенсацию временных задержек в системе управления беспилотного летательного аппарата с турбореактивным приводом.

Сравнение результатов моделирования с типовыми характеристиками аппаратных средств показывает, что параметры задержек, использованные в модели, соответствуют реальным условиям эксплуатации. Это подтверждает достоверность полученных данных и практическую применимость модели. Построенная модель обладает высокой практической значимостью: она может использоваться как на этапе проектирования системы управления, так и при верификации алгоритмов управления шасси в условиях, приближенных к реальным.

Учитывая выявленную зависимость работоспособности системы от пространственного положения аппарата и величины совокупной задержки, представляется целесообразным рассмотреть вариант реализации автоматического режима управления системой выпуска шасси. Такой подход позволит обеспечить формирование управляющего воздействия не только по фиксированному логическому условию, но и на основе анализа динамического состояния БПЛА, что особенно актуально при переходных и нештатных режимах полета.

Автоматический режим предполагает, что при превышении порогового значения угла наклона ( $>15^\circ$ ) система управления переходит в состояние автономного анализа параметров движения. В этом режиме осуществляется временная блокировка управляющего сигнала выпуска шасси, параллельно с этим производится обработка данных с инерциальных и угловых сенсоров, а также сравнение текущих параметров с эталонными записями в библиотеке ситуационных состояний.

Библиотека представляет собой базу данных, содержащую типовые сценарии пространственного положения аппарата, полученные в результате предварительного моделирования и летных испытаний. Каждое состояние в базе описывается вектором параметров:

$$X_i = [\gamma_i, \vartheta_i, \psi_i, \gamma_i', \vartheta_i', \psi_i'], \quad (4)$$

где  $\gamma_i, \vartheta_i, \psi_i$  – углы Эйлера (крен, тангаж, курс);

$\gamma_i', \vartheta_i', \psi_i'$  – их производные по времени, характеризующие динамику ориентации БПЛА.

На основании текущего состояния  $X_{тек}$  производится сравнение с элементами библиотеки по метрике ближайшего соседа, что позволяет определить наиболее близкий сценарий и принять соответствующее управляющее решение.

Если найденный сценарий соответствует устойчивому положению, система формирует команду на переход из блокирующего режима в режим выпуска шасси. В противном случае сохраняется запрет на формирование управляющего воздействия, и выполняется корректирующее управление ориентацией.

Таким образом, автоматическое управление реализует адаптивный алгоритм, позволяющий:

- повысить надежность и автономность системы при непредвиденных изменениях пространственного положения БПЛА;
- уменьшить вероятность аварийного срабатывания шасси;
- сократить время реакции при переходе из неустойчивого в устойчивое состояние за счет использования предобученной базы данных ситуаций.

Введение автоматического режима обеспечивает согласование между логическими условиями безопасности и динамическими характеристиками системы, что особенно важно для БПЛА, работающих в турбулентных или высокоманевренных режимах полета.

### Заключение

В работе выполнено моделирование системы управления шасси беспилотного летательного аппарата с учетом совокупных временных задержек сигнала, возникающих на этапах формирования и передачи управляющего воздействия.

Определено, что при допустимом угле наклона корпуса не более  $15^\circ$  система функционирует корректно, а суммарная задержка составляет около 2 секунд.



Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем управления беспилотных летательных аппаратов, а также при оптимизации их электронных и программных компонентов.

Дальнейшие исследования планируется проводить моделированием полного цикла с учетом динамики исполнительных механизмов и внешних возмущений, а также необходимостью компенсации временных задержек. Особое внимание предполагается уделить реализации автоматического режима управления, включающего механизм ситуационного анализа на основе библиотеки эталонных состояний, что позволит автоматически инициировать выпуск шасси при достижении устойчивого положения аппарата и повысить надежность функционирования системы в реальных условиях.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Чуднов А.М., Губская О.А., Кичко Я.В. Методика анализа вероятностно-временных характеристик обмена сообщениями в комплексе беспилотных летательных аппаратов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2021;(11):117–124.  
Chudnov A.M., Gubskaya O.A., Kichko Ya.V. Methodology for Analyzing the Probabilistic-Temporal Characteristics of Messaging in a Complex of Unmanned Aerial Vehicles. *News of the Tula State University. Technical Sciences*. 2021;(11):117–124. (In Russ.).
2. Ронжин А.Л., Нгуен В.В., Соленая О.Я. Анализ проблем разработки беспилотных летательных манипуляторов и физического взаимодействия БЛА с наземными объектами. *Труды МАИ*. 2018;(98). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=90439>  
Ronzhin A., Nguen V., Solenaya O. Analysis of the Problems of Unmanned Flying Manipulators Development and UAV Physical Interaction with Ground Objects. *Trudy MAI*. 2018;(98). (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=90439>
3. Тихонов Р.И., Бубенщиков Ю.Н. Практический опыт испытаний комплексов с беспилотными летательными аппаратами в условиях информационно-технических воздействий. *Военная мысль*. 2019;(6):118–124.  
Tikhonov R., Bubezhshchikov Yu. The Practice of Testing Units with Unmanned Flying Vehicles Exposed to Information-Technical Influence. *Military Thought*. 2019;(6):118–124. (In Russ.).
4. Савельева М.В., Смушкин А.Б. Беспилотный летательный аппарат как специальное технико-криминалистическое средство и объект криминалистического исследования. *Вестник Томского государственного университета*. 2020;(461):235–241.  
Saveleva M.V., Smushkin A.B. Unmanned Aerial Vehicle as a Special Technical and Forensic Tool and an Object of Forensic Investigation. *Tomsk State University Journal*. 2020;(461):235–241. (In Russ.).
5. Никифоров В.О., Парамонов А.В., Герасимов Д.Н. Алгоритмы адаптивного регулирования в многоканальных линейных системах с запаздыванием по управлению. *Автоматика и телемеханика*. 2020;(6):153–172. <https://doi.org/10.31857/S0005231020060098>  
Nikiforov V.O., Paramonov A.V., Gerasimov D.N. Adaptive Control Algorithms in MIMO Linear Systems with Control Delay. *Automation and Remote Control*. 2020;81(6):1091–1106. <https://doi.org/10.1134/S0005117920060107>
6. Humais M.A., Chehadeh M., Boiko I., Zweiri Ya. Analysis of the Effect of Time Delay for Unmanned Aerial Vehicles with Applications to Vision Based Navigation. arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2209.01933> [Accessed 17<sup>th</sup> September 2025].

7. Muskardin T., Coelho A., Della Noce E.R., Ollero A., Kondak K. Energy-Based Cooperative Control for Landing Fixed-Wing UAVs on Mobile Platforms Under Communication Delays. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2020;5(4):5081–5088. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.3005374>
8. Dagal I., Mbasso W.F., Ambe H., Erol B., Jangir P. Adaptive Fuzzy Logic Control Framework for Aircraft Landing Gear Automation: Optimized Design, Real-Time Response, and Enhanced Safety. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*. 2025;26:2135–2163. <https://doi.org/10.1007/s42405-025-00922-w>
9. Sun Z., Wu L., You Ya. Automatic Landing System Design for Unmanned Fixed-Wing Vehicles via Multivariable Active Disturbance Rejection Control. *International Journal of Aerospace Engineering*. 2023;2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9395447>
10. Liang J., Zheng H., Zhang Yu., Gao Y., Dong W., Lyu X. Predictor-Based Time Delay Control of a Hex-Jet Autonomous Aerial Vehicle. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2025;10(4):3940–3947. <https://doi.org/10.1109/LRA.2025.3544062>

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Хасанов Ильнур Ильдарович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail*: [iikhasanov@fa.ru](mailto:iikhasanov@fa.ru)  
ORCID: [0000-0002-3422-1237](https://orcid.org/0000-0002-3422-1237)

**Khasanov I. Ildarovich**, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Information Technology, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation.

**Бережанский Никита Васильевич**, старший преподаватель кафедры информационных технологий, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail*: [nyberezzhanskij@fa.ru](mailto:nyberezzhanskij@fa.ru)

**Nikita V. Berezzhansky**, Senior Lecturer at the Department of Information Technology, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation.

**Акаемов Петр Денисович**, студент кафедры информационных технологий, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация.  
*e-mail*: [242089@edu.fa.ru](mailto:242089@edu.fa.ru)

**Petr D. Akaemov**, Student at the Department of Information Technology, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 07.10.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 20.11.2025.*

*The article was submitted 07.10.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 20.11.2025.*