

УДК 62-521

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ НЕСТАБИЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛЁТА

Н.В. Ким (*nkim2011@list.ru*)М.В. Походенко (*m.poxodenko@mail.ru*)

МАИ, Москва

**Аннотация.** Рассматривается задача повышения устойчивости беспилотного летательного аппарата при скачкообразном изменении условий полета, формирующем высокие аэродинамические возмущения. Предлагаемый подход основан на адаптации автопилота к внешним воздействиям путём автоматизации процесса настройки параметров ПИД-регулятора с использованием искусственной нейронной сети (ANN). Результаты модельных экспериментов подтверждают возможность повышения устойчивости исследуемого летательного аппарата.

**Ключевые слова:** Беспилотный летательный аппарат, устойчивость, ПИД-регулятор, коррекция коэффициентов.

### Введение

Расширение круга задач, решаемых беспилотными летательными аппаратами (БЛА), требует обеспечения стабильности параметров полёта БЛА, осуществляемого с помощью автопилота [Чулин и др, 2018].

При некоторых нештатных ситуациях возможен переход БЛА в неустойчивый режим. В данной работе в качестве причины возникновения таких ситуаций рассматривается внезапное краткосрочное усиление ветра, возникающее, как правило, в условиях горной местности или плотной городской застройки, и формирующее высокое аэродинамическое возмущение.

Возможны 3 варианта реакций автопилота БЛА на возникающие опасные ситуации:

1. Автопилот парирует дестабилизирующие возмущения;
2. БЛА переходит в неустойчивый режим полёта;
3. БЛА переходит в неустойчивый режим, но физически реализуем возврат в управляемый режим полёта путём дополнительной настройки коэффициентов ПИД-регулятора [Андропов и др, 2016].

## Основная часть

Целью настоящей работы является повышение эффективности работы БЛА, с точки зрения расширения условий управляемого режима полёта.

В качестве объекта исследований выбран малоразмерный БЛА самолетного типа. В рамках данной работы предложено проводить исследования на упрощённой линеаризованной модели.

## Метод исследования

В данной работе был реализован следующий ряд этапов исследований:

- Формирование линейной модели;
- Оценка устойчивости модели;
- Корректировка ПИД-регулятора;
- Тестирование полученного автопилота.

На первом этапе исследований была сформирована линеаризованная модель БЛА, параметры которой были рассчитаны в соответствие с параметрами исходной модели.

Для оценки влияния изменяемых внешних факторов на устойчивость системы использовалась методология, основанная на логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристиках.

Для перехода системы из области неустойчивых режимов в область устойчивых была реализована настройка автопилота с использованием алгоритма на основе искусственной нейронной сети (ANN) [Kumar, 2016]. Структурная схема ЛА с использованием ANN представлена на рис. 1.

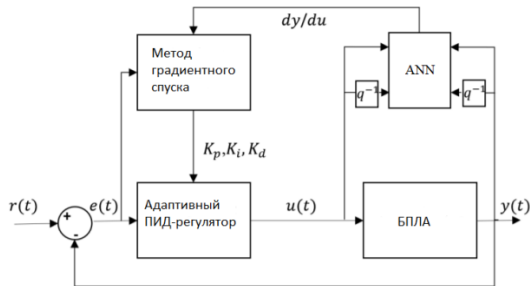


Рис. 1. Структурная схема ЛА с адаптивным контуром управления.

## Результаты исследований

В рамках оценки работоспособности реализованного автопилота рассматривались переходные процессы, имитирующие скачкообразное изменение условий полета, кратковременно уменьшающие значение

декремента затухания в модели БЛА. При этом на вход системы подавался ступенчатый тип сигнала в качестве желаемого угла тангажа.

В качестве примера полученных результатов представлены выходные изменения угла тангажа БЛА (Рис. 2) при штатных настройках ПИД-регулятора (кривая Standart PID) и настройках адаптивного контура управления (кривая Adaptive).

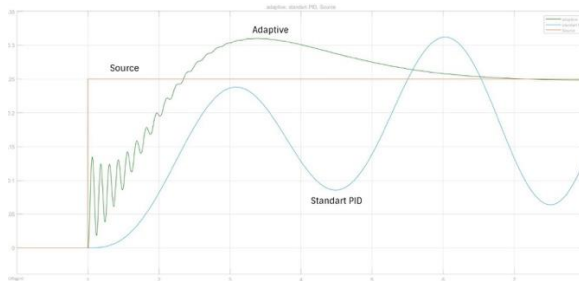


Рис. 2. Графики изменения угла тангажа.

После настройки коэффициентов ПИД-регулятора процесс стабилизируется и тангаж стремится к заданному положению.

Таким образом, адаптивная настройка коэффициентов ПИД-регулятора позволяет повысить устойчивость БЛА в рассматриваемых ситуациях.

## Заключение

В работе рассмотрена задача повышения устойчивости беспилотного летательного аппарата в сложных условиях полёта. Реализован подход, основанный на настройке ПИД-регулятора автопилота с помощью искусственной нейронной сети. Проведенные модельные эксперименты подтверждают возможность повышения устойчивости полета БЛА.

## Список литературы

- [Андропов и др, 2016] Андропов С.С., Гирик А.В., Будько М.Ю., Будько М.Б. Стабилизация беспилотного летательного аппарата на основе нейросетевого регулятора // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. №5.
- [Чулин и др, 2018] Чулин Н.А., Миронова И.В. Система управления беспилотным летательным аппаратом // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №9 (81).
- [Kumar, 2016] Kumar R., Srivastava S., and Gupta J. R. P. (2016, July). Artificial neural network based PID controller for online control of dynamical systems. In 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES) (pp. 1-6). IEEE.