

ISSN 2518-1467 (Online),  
ISSN 1991-3494 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Ш Ы С Ы

---

---

## ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА  
PUBLISHED SINCE 1944

4

---

АЛМАТЫ  
АЛМАТЫ  
ALMATY

2017

JULY  
ИЮЛЬ  
ШІЛДЕ

Б а с р е д а к т о р ы

х. ғ. д., проф., ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Абиев Р.Ш.** проф. (Ресей)  
**Абишев М.Е.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Аврамов К.В.** проф. (Украина)  
**Аппель Юрген** проф. (Германия)  
**Баймуқанов Д.А.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Байпақов К.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Байтулин И.О.** проф., академик (Қазақстан)  
**Банас Иозеф** проф. (Польша)  
**Берсимбаев Р.И.** проф., академик (Қазақстан)  
**Велихов Е.П.** проф., РҒА академигі (Ресей)  
**Гашимзаде Ф.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Гончарук В.В.** проф., академик (Украина)  
**Давлетов А.Е.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Джрбашян Р.Т.** проф., академик (Армения)  
**Қалимолдаев М.Н.** проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары  
**Лаверов Н.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Лупашку Ф.** проф., корр.-мүшесі (Молдова)  
**Мохд Хасан Селамат** проф. (Малайзия)  
**Мырхалықов Ж.У.** проф., академик (Қазақстан)  
**Новак Изабелла** проф. (Польша)  
**Огарь Н.П.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Полещук О.Х.** проф. (Ресей)  
**Поняев А.И.** проф. (Ресей)  
**Сагиян А.С.** проф., академик (Армения)  
**Сатубалдин С.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Таткеева Г.Г.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Умбетаев И.** проф., академик (Қазақстан)  
**Хрипунов Г.С.** проф. (Украина)  
**Якубова М.М.** проф., академик (Тәжікстан)

**«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Хабаршысы».**

**ISSN 2518-1467 (Online),**

**ISSN 1991-3494 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы»РҚБ (Алматы қ.)

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде  
01.06.2006 ж. берілген №5551-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 2000 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р  
д. х. н., проф. академик НАН РК  
**М. Ж. Журинов**

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

**Абиев Р.Ш.** проф. (Россия)  
**Абишев М.Е.** проф., член-корр. (Казахстан)  
**Аврамов К.В.** проф. (Украина)  
**Апель Юрген** проф. (Германия)  
**Баймуканов Д.А.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Байпаков К.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Байтулин И.О.** проф., академик (Казахстан)  
**Банас Иозеф** проф. (Польша)  
**Берсимбаев Р.И.** проф., академик (Казахстан)  
**Велихов Е.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Гашимзаде Ф.** проф., академик (Азербайджан)  
**Гончарук В.В.** проф., академик (Украина)  
**Давлетов А.Е.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Джрбашян Р.Т.** проф., академик (Армения)  
**Калимолдаев М.Н.** академик (Казахстан), зам. гл. ред.  
**Лаверов Н.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Лупашку Ф.** проф., чл.-корр. (Молдова)  
**Моход Хасан Селамат** проф. (Малайзия)  
**Мырхалыков Ж.У.** проф., академик (Казахстан)  
**Новак Изабелла** проф. (Польша)  
**Огарь Н.П.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Полещук О.Х.** проф. (Россия)  
**Поняев А.И.** проф. (Россия)  
**Сагиян А.С.** проф., академик (Армения)  
**Сатубалдин С.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Таткеева Г.Г.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Умбетаев И.** проф., академик (Казахстан)  
**Хрипунов Г.С.** проф. (Украина)  
**Якубова М.М.** проф., академик (Таджикистан)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан».

**ISSN 2518-1467 (Online),**  
**ISSN 1991-3494 (Print)**

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов  
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK

**M. Zh. Zhurinov**

E d i t o r i a l b o a r d:

**Abiyev R.Sh.** prof. (Russia)  
**Abishev M.Ye.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Avramov K.V.** prof. (Ukraine)  
**Appel Jurgen,** prof. (Germany)  
**Baimukanov D.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Baipakov K.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Baitullin I.O.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Joseph Banas,** prof. (Poland)  
**Bersimbayev R.I.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Velikhov Ye.P.** prof., academician of RAS (Russia)  
**Gashimzade F.** prof., academician ( Azerbaijan)  
**Goncharuk V.V.** prof., academician (Ukraine)  
**Davletov A.Ye.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Dzhrbashian R.T.** prof., academician (Armenia)  
**Kalimoldayev M.N.** prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief  
**Laverov N.P.** prof., academician of RAS (Russia)  
**Lupashku F.** prof., corr. member. (Moldova)  
**Mohd Hassan Selamat,** prof. (Malaysia)  
**Myrkhalykov Zh.U.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Nowak Isabella,** prof. (Poland)  
**Ogar N.P.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Poleshchuk O.Kh.** prof. (Russia)  
**Ponyaev A.I.** prof. (Russia)  
**Sagiyani A.S.** prof., academician (Armenia)  
**Satubaldin S.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Tatkeyeva G.G.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Umbetayev I.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Khripunov G.S.** prof. (Ukraine)  
**Yakubova M.M.** prof., academician (Tadjikistan)

**Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

**ISSN 2518-1467 (Online),**

**ISSN 1991-3494 (Print)**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**K. A. Ozhikenov<sup>1</sup>, P. M. Rakhmetova<sup>1</sup>, A. K. Ozhiken<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University named after K. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: p.rakhmetova@gmail.com

## INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF THE FLIGHT OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE

**Abstract.** At the moment, the development of unmanned aerial vehicles (UAV) is a promising industry, since UAVs are acquiring more and more functionality to solve various problems. In this connection, in this article, the problem of developing a mathematical model for the control of the movement of an aircraft-type UAV is considered. Simulation model of the automatic control system of unmanned aerial vehicle (UAV) is developed, which allows to track the movement of the flight the autopilot in the state space. The calculations are based on the optimal method for integral quadratic criterion of non-stationary linear control system.

**Keywords:** UAV, mathematical model, dynamics, control, optimal method control.

УДК 004.896

**К. А. Ожикенов<sup>1</sup>, П. М. Рахметова<sup>1</sup>, А. К. Ожикен<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Аннотация.** На данный момент разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является перспективной отраслью, так как БПЛА приобретают все больше функциональных возможностей для решения различных задач. В связи с этим в данной статье рассмотрена проблема разработки математической модели управления движением БПЛА самолетного типа. Разработана математическая модель системы управления беспилотного летательного аппарата (БПЛА), которая позволяет отследить движением полета автопилота в пространстве состояний. Расчеты выполнены на основе оптимального метода по интегральному квадратичному критерию нестационарной линейной системы управления.

**Ключевые слова:** БПЛА, математическая модель, динамика, управление, оптимальные методы управления.

**Введение.** БПЛА с каждым годом занимают все большее место как в военной, так и гражданской сфере. Такое развитие данного класса авиатехники обусловлено рядом специфических достоинств, реализация которых позволяет получить существенное преимущество над пилотируемой авиацией для широкого спектра задач, таких как ведение наблюдения и разведка, мониторинг экологического состояния местности, аэрофотосъемка, контроль строительства и т.д. [1]. В связи с этим многие страны начинают развивать отрасль производства отечественных БПЛА различного класса и назначения.

В данной статье рассматривается один из этапов разработки БПЛА самолетного типа – математическое моделирование управляемого движения БПЛА в полете по произвольной траектории.

**Математическая модель динамики БПЛА.** Для описания динамики БПЛА используется несколько систем координат:

- 1) траекторная система координат;
- 2) связанная система координат;
- 3) земная система координат;

4) скоростная система координат. Проекция этих систем координат используется для выявления уравнения динамики БПЛА.

Уравнения движения центра масс БПЛА обычно выводятся на основании теоремы об изменении количества движения [2, 3]. Руководствуясь этим принципом, получены уравнения движения центра масс в проекциях на траекторную систему координат в виде:

$$\begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= -G \sin \Theta \cos \Psi + P \cos \alpha \cos \beta - X; \\ mV \frac{d\Theta}{dt} \cos \Psi &= -G \cos \Theta \cos \Psi + P(\sin \beta \cos \gamma_a + \cos \alpha \sin \alpha \cos \gamma_a) + Y \cos \gamma_a - Z \sin \gamma; \\ mV \frac{d\Psi}{dt} &= P(\sin \beta \cos \gamma_a - \cos \beta \sin \alpha \cos \gamma_a) - Y \sin \gamma_a + Z \cos \gamma_a \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V$  - скорость БПЛА,  $P$  - сила тяги двигателя,  $G$  - сила тяжести,  $X$  - сила лобового сопротивления,  $Y$  - подъемная сила,  $Z$  - боковая сила,  $\alpha$  - угол атаки (угол между осью СХ связанной системы координат и проекций скорости на плоскость СХУ),  $\beta$  - угол скольжения между вектором скорости и его проекцией на вертикальную плоскость симметрии БПЛА,  $\gamma_a$  - угол крена в скоростной системе координат,  $\Theta$  - угол наклона траектории,  $\Psi$  - угол поворота траектории БПЛА.

Уравнение движения БПЛА относительно центра масс, получим на основании теоремы об изменении кинетического момента [3]:

$$\begin{aligned} J_x \frac{d\omega_x}{dt} &= M_x - (J_z - J_y) \omega_y \omega_z; \\ J_y \frac{d\omega_y}{dt} &= M_y - (J_x - J_z) \omega_x \omega_z; \\ J_z \frac{d\omega_z}{dt} &= M_z - (J_y - J_x) \omega_x \omega_y \end{aligned} \quad (2)$$

где  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  - проекции моментов сил, действующих на БПЛА,  $J_x$ ,  $J_y$ ,  $J_z$  - осевые моменты инерции БПЛА,  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  - угловые скорости БПЛА в проекциях на оси связанной системы координат.

Кинематические уравнения БПЛА имеют вид [4]:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi}{dt} &= \frac{1}{\cos \vartheta} (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\ \frac{d\vartheta}{dt} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma; \\ \frac{d\gamma}{dt} &= \omega_x - \operatorname{tg} \vartheta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\psi$  - угол рыскания,  $\vartheta$  - угол тангажа,  $\gamma$  - угол крена.

Поскольку уравнения движения центра масс (1) записаны в траекторных осях, уравнения движения относительно центра масс (2) и (3) – в связанных осях, а аэродинамические силы и моменты в правых частях уравнений (1) и (2) зависят от углов атаки  $\alpha$  и скольжения  $\beta$  между скоростными и связанными осями, то возникает необходимость в добавлении к записанным уравнениям геометрических соотношений между углами  $\Psi$ ,  $\Theta$ ,  $\gamma_a$  и углами  $\psi$ ,  $\vartheta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , которые имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \sin \Theta &= \cos \alpha \cos \beta \sin \vartheta - \sin \alpha \cos \beta \cos \vartheta \cos \gamma - \sin \beta \cos \vartheta \sin \gamma - \sin \psi \cos \Theta = \\
 &= -\cos \alpha \cos \beta \cos \vartheta \sin \psi - \sin \alpha \cos \beta (\cos \gamma \sin \vartheta \sin \psi + \sin \gamma \cos \psi) + \\
 &+ \sin \beta (\cos \gamma \cos \psi - \sin \gamma \sin \vartheta \sin \psi) - \sin \gamma_a \cos \Theta = \\
 &= \cos \alpha \sin \beta \sin \vartheta + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma \cos \vartheta - \cos \beta \sin \gamma \cos \vartheta
 \end{aligned} \tag{4}$$

В заключение дополним уравнения (1) – (4) уравнениями, задающими проекции линейной скорости БПЛА в земных осях координат:

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= V \cos \Psi \cos \Theta \\
 \frac{dy}{dt} &= V \sin \Theta \\
 \frac{dz}{dt} &= -V \cos \Theta \sin \Psi
 \end{aligned} \tag{5}$$

**Математическая модель управления движением БПЛА.** Система уравнений движения БПЛА (1) – (5) является сложной нелинейной системой дифференциальных уравнений. При проектировании системы управления имеется необходимость аналитического представления динамических и кинематических характеристик БПЛА, поэтому используют различные методы упрощения уравнений движения, что делает доступным аналитические методы исследования динамики полета. Одним из таких упрощений является линеаризация этих уравнений относительно малых отклонений параметров движения.

Параметры возмущенного движения обычно определяют методами численного интегрирования, как известные функции времени:  $V^*(t)$ ,  $\Theta^*(t)$  и т.д. Параметры возмущенного движения отличаются от параметров невозмущенного движения на некоторую малую величину:  $V = V^* + \Delta V$ ;  $\Theta = \Theta^* + \Delta \Theta$ ;  $\Psi = \Psi^* + \Delta \Psi$ ;  $\gamma_a = \gamma_a^* + \Delta \gamma_a$  и т.д.

С учетом некоторых допущений и разложения в ряд Тейлора линеаризованные уравнения движения центра масс БПЛА записывается в виде:

$$\begin{aligned}
 m \frac{d\Delta V}{dt} &= -X\Delta V - P \sin \alpha \cos \beta \Delta \alpha - P \cos \alpha \sin \beta \Delta \beta - G \cos \Theta \cos \Psi \Delta \Theta + G \cos \Theta \cos \Psi \Delta \Psi \\
 mV \frac{d\Delta \Theta}{dt} &= (Y \cos \gamma_a - Z \sin \gamma_a) \Delta V + (-Y \sin \gamma_a + T \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma_a) \Delta \alpha + (-Z \sin \gamma_a - \\
 &- T \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma_a + T \cos \beta \sin \gamma_a) \Delta \beta + G \sin \Theta \Delta \Theta + (-Y \sin \gamma_a - Z \cos \gamma_a - \\
 &- T \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma_a + T \sin \beta \cos \gamma_a) \Delta \gamma_a + Y \Delta \delta_B \\
 mV \cos \Theta \frac{d\Delta \Psi}{dt} &= (Z \cos \gamma_a - Y \sin \gamma_a) \Delta V + G \cos \Theta \sin \Psi \Delta \Theta + G \sin \Theta \cos \Psi \Delta \Psi + \\
 &+ (Z \cos \gamma_a + T \cos \beta \cos \gamma_a + T \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma_a) \Delta \beta + (-Y \sin \gamma_a - T \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma_a) \Delta \alpha + \\
 &+ (-Z \sin \gamma_a - Y \cos \gamma_a - T \sin \beta \sin \gamma_a - T \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma_a) \Delta \gamma_a + Z^{\delta_H} \Delta \delta_H
 \end{aligned} \tag{6}$$

Анализ динамических свойств БПЛА как объекта управления осуществляется в динамике полета на основе именно этих уравнений. Для дальнейшего расчета управляемого движения БПЛА используем оптимальный метод на основе квадратичного критерия качества [5]:

$$J = x^T(t_f) F x(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t) Q(t) x(t) + u^T(t) R(t) u(t)] dt, \tag{7}$$

где  $F$  - положительно полуопределенная матрица;  $Q(t)$ ,  $R(t)$  - положительно определенные матрицы.

В соответствие с данным методом, модель объекта управления (БПЛА) должна быть приведена к виду [5]:

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u + h(t), \tag{8}$$

где  $A$  - матрица объекта управления,  $B$  - матрица управления,  $h$  - матрица возмущений,  $x$  - вектор состояния,  $u$  - вектор управления.

При этом оптимальный линейный регулятор, который минимизирует квадратичный функционал качества (9) имеет вид [5]:

$$u = -(R^{-1}B^T Kx + \frac{1}{2}R^{-1}B^T p), \tag{9}$$

где матрицы  $K$  и  $p$  определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{K} &= -KA - A^T K + KBR^{-1}B^T K - Q \\ \dot{p} &= KBR^{-1}B^T p - A^T p - 2Kh \end{aligned} \tag{10}$$

Вектор состояния в нашем случае имеет вид:

$$x = [\Delta V, \Delta\Theta, \Delta\Psi, \Delta w_x, \Delta w_y, \Delta w_z, \Delta\gamma, \Delta\psi, \Delta\vartheta, \Delta L, \Delta H, \Delta Z, \Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma_a]^T. \tag{11}$$

Вектор управления имеет вид:

$$u = [u_1 \ u_2 \ u_3]^T. \tag{12}$$

Используя линеаризованные уравнения динамики (6), определяются компоненты матриц  $A[15 \times 15]$ ,  $B[15 \times 3]$ . Далее, задавая компоненты матриц  $Q$  и  $R$ , производится решение уравнений (12) для поиска оптимального линейного регулятора в виде (11).

**Анализ результатов моделирования САУ БПЛА в среде Matlab/Simulink.** На основании математической модели была разработана имитационная модель пространственного движения БПЛА с учетом работы САУ. Имитационная модель представлена на рисунке 1.

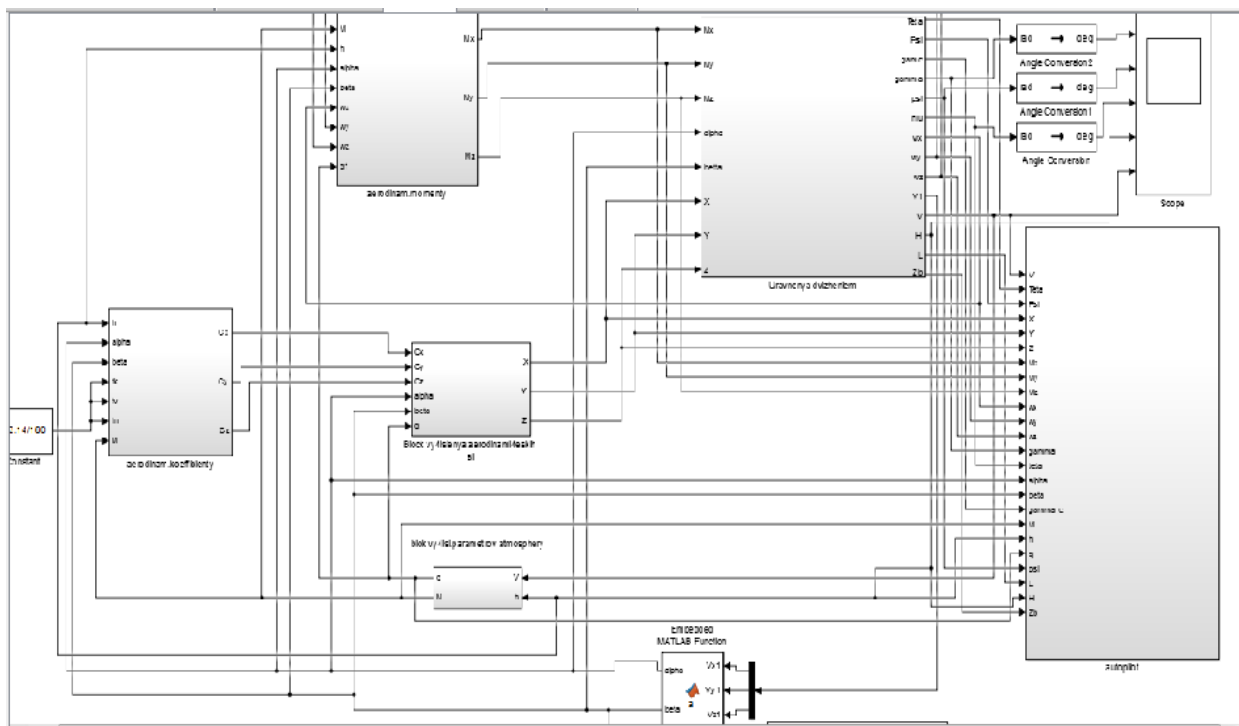


Рисунок 1 – Модель пространственного движения в среде Matlab/Simulink

Модель включает модули:

- уравнения движения центра масс;
- уравнения вращательного движения (кинематические и динамические уравнения Эйлера);
- модуль вычисления аэродинамических сил и моментов;
- «автопилот».



Модуль автопилота включает в себя следующие вычислительные блоки:

- вычисления коэффициентов линеаризации и элементов матрицы системы и матрицы управления;
- вычисления коэффициентов передачи обратной связи системы управления.

На рисунке 2 представлены графики скорости  $V$ , углы наклона траектории  $\Theta$  и угла поворота траектории  $\Psi$  без учета автопилота.

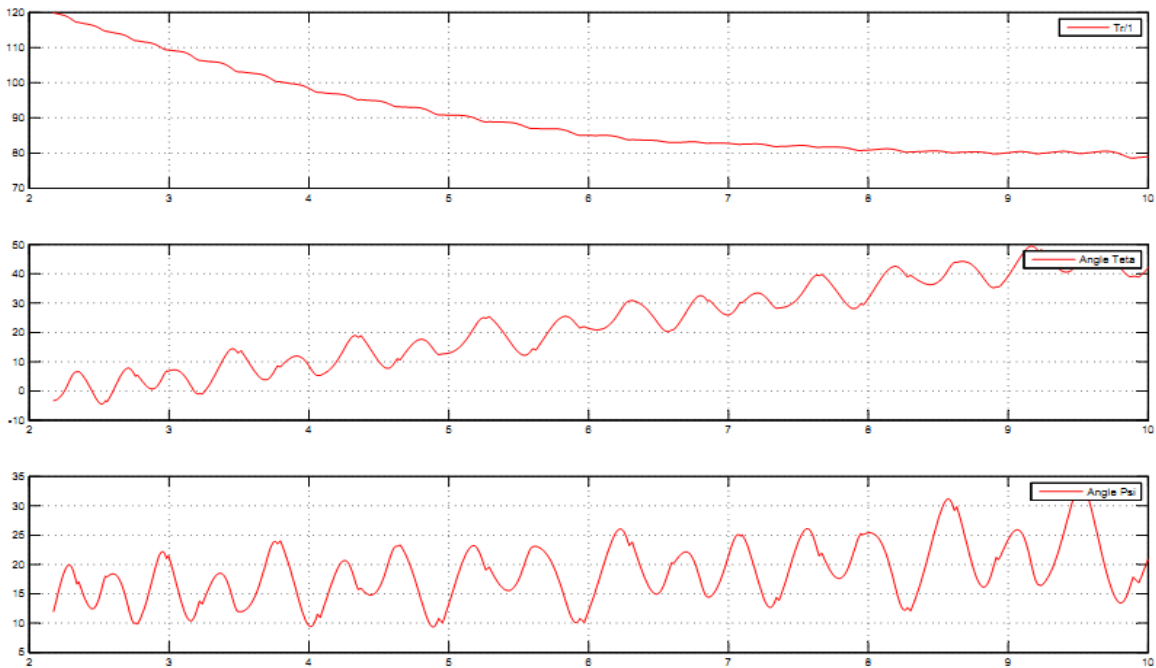


Рисунок 2 – Графики изменения  $V$ ,  $\Theta$ ,  $\Psi$  в среде Matlab/Simulink

На рисунке 3 представлены графики изменения системы автоматического управления БПЛА с автопилотом (по скорости, по углу наклона траектории и по углу поворота траектории).

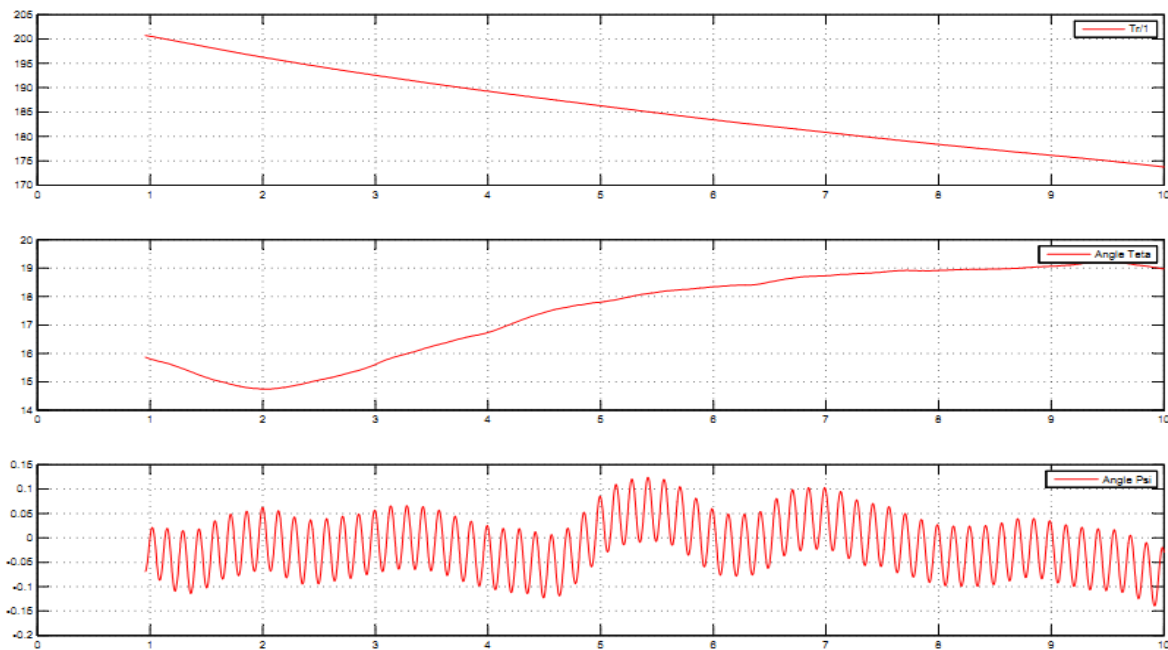


Рисунок 3

**Заключение.** В статье разработана математическая модель динамики БПЛА, а также математическая модель управляемого движения БПЛА с применением методов оптимальной теории управления. Разработана имитационная модель, которая позволяет отследить движение полета автопилота в пространстве состояний.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Афанасьев П.П. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / Под ред. И.С. Голубева и И.К. Туркина. – Изд. 2-е. – М.: Изд-во МАИ, 2009.
- [2] Распопов В. Я. Микросистемная авионика: учебное пособие. – Тула: «Гриф и К», 2010. – 248 с.
- [3] Лебедев А. А., Чернобровкин Л.С., Динамика полета беспилотных летательных аппаратов: Учеб. пособие для вузов. – Изд. 2-е, переработанное и доп. – М.: Машиностроение, 1973. – 616 с.
- [4] Остославский И. В., Стражева И. В. Динамика полета (траектории летательных аппаратов). – Изд. 2-е. М.: Машиностроение, 1969. – 502 с.
- [5] Robert K., Heffley and Wayne F. Jewell. Данные обработки самолетов. Национальный авиационный и космический центр. – Вашингтон, 1972. – 352 с.

#### REFERENCES

- [1] Afanas'ev P.P. Bepilotnye letatel'nye apparaty. Osnovy ustrojstva i funkcionirovaniya. Pod red. I.S. Golubeva i I.K. Turkina izd. 2-e. M.: Izd-vo MAI, 2009. (in Russ)
- [2] Raspopov V. Ja. Mikrosistemnaja avionika: uchebnoe posobie. Tula: «Grif i K», 2010. 248 s. (in Russ)
- [3] Lebedev A. A., Chernobrovkin L.S., Dinamika poleta bepilotnyh letatel'nyh apparatov. Ucheb. posobie dlja vuzov. Izd. 2-e, pererabotannoe i dop. M., «Mashinostroenie», 1973. 616 s. (in Russ)
- [4] Ostoslavskij I. V., Strazheva I. V. Dinamika poleta (traektorii letatel'nyh apparatov). Izd. 2-e. «Mashinostroenie». Moskva, 1969 g. 502 s. (in Russ)
- [5] Robert K., Heffley and Wayne F. Jewell. Dannye obrabotki samoletov. Nacional'nyj aviacionnyj i kosmicheskij centr. – Vashington, 1972. – 352 s. (in Eng)

**Қ. Ә. Ожикенов<sup>1</sup>, П. М. Рахметова<sup>1</sup>, А. Қ. Ожикен<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,  
<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

#### ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ ҰШУ ДИНАМИКАСЫН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.** Қазіргі кезде ұшқышсыз ұшу аппаратын (ҰҰА) жобалау болашағы зор сала болып табылады, өйткені, әртүрлі есептерді шешуге арналған функционалды мүмкіндіктерді қамтиды. Осыған орай, берілген мақалада ҰҰА ұшақты түрінің басқару қозғалысының математикалық моделін жобалау проблемасы қарастырылған. Кеңістікте автопилот ұшу қозғалысын қадағалауға мүмкіндік беретін ұшқышсыз ұшу аппаратының (ҰҰА) басқару жүйесінің математикалық моделі жобаланған. Есептеулер стационарлы емес сызықтық басқару жүйесінің ажырамас квадраттық критерий оңтайлы әдісі бойынша негізделген.

**Түйін сөздер:** ҰҰА, математикалық модель, динамика, басқару, оңтайлы басқару әдісі.

---

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

**ISSN 2518-1467 (Online), ISSN 1991-3494 (Print)**

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т. М. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 21.07.2017.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
11,75 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.