УДК 681.5.015.3

А. А. ЛОБАТЫЙ, Ю. Ф. ЯЦЫНА, С. С. ПРОХОРОВИЧ, Е. А. ХВИТЬКО

ИДЕНТИФИКАЦИЯ УПРОЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Белорусский национальный технический университет

Решается задача определения формы и параметров математической модели в виде передаточной функции для движения беспилотного летательного аппарата (БЛА) в вертикальной плоскости пространства. В качестве входного сигнала рассматривается угол отклонения руля высоты, а в качестве выходного сигнала – угол тангажа БЛА. Используются результаты экспериментальных исследований полета БЛА, в качестве которых рассматриваются известные значения входного и выходного сигналов при заданных условиях полета. Измеренные дискретные значения результатов эксперимента для удобства их использования при идентификации аппроксимированы полиномом четвертого порядка на основе регрессионного анализа. Проведено аналитическое обоснование необходимости применения методов линеаризации математической модели движения БЛА и принятых допущений при получении дифференциальных уравнений движения БЛА относительно центра масс, позволяющих синтезировать требуемую передаточную функцию соответствующего элемента системы управления БЛА. Результаты компьютерного моделирования подтвердили обоснованность применения синтезированной математической модели, полученной на основе структурной и параметрической идентификации. Данный подход может использоваться для получения упрощенных математических моделей, которые применяются для решения задач синтеза и оптимизации систем управления не только БЛА, но и других динамических объектов.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, идентификация, математическая модель, передаточная функция.*

Введение

Достижения в области информационных технологий сделали математическое моделирование, пожалуй, основным направлением в развитии и применении методов анализа и синтеза сложных технических систем и их элементов, оставляя экспериментальным методам исследования лишь часть работ по подтверждению или опровержению результатов, полученных путём моделирования. Поэтому создание математических моделей технических систем и их элементов – важнейшая задача ученых и инженеров. Вид (форма представления) математической модели и используемый для её построения математический аппарат определяется в первую очередь законами физики, на основе которых создается и функционирует данная техническая система и её тот или иной элемент.

Математическое моделирование позволяет при минимальных затратах проводить исследования технической системы в любых условиях, проводить её доработку, развитие, оптимизацию, исследовать одновременно и совместно с функционированием реальных конструктивных элементов системы (полунатурное моделирование).

После определения общего вида математической модели системы стоит задача приведения её параметров (постоянных и переменных) в соответствие реальной системе (объекту исследований), чтобы при проведении моделирования у модели проявлялись те же свойства, которые интересуют разработчиков и исследователей реальной системы. Это является задачей идентификации.

Под идентификацией в широком смысле понимается получение или уточнение по экспериментальным данным модели реального объекта (процесса), выраженной в тех или иных терминах (описанной на том или ином языке). Идентификацией динамической системы (процесса) называется получение или уточнение по экспериментальным данным математической модели этой системы или процесса, выраженной посредством того или иного математического аппарата [1]. Существует большое разнообразие методов идентификации систем. Выбор того или иного метода идентификации определяется априорной информацией об объекте, способом представления характеристик объекта и методом проведения эксперимента на объекте [2, 3, 4].

Среди объектов идентификации широкое распространение получили интенсивно развивающиеся в настоящее время беспилотные летательные аппараты (БЛА). Достижения в области микроэлектроники механики, оптики дали БЛА такие свойства и возможности, которые позволили БЛА при решении ими ряда задач выполнять функции, которые прежде были присущи только пилотируемым летательным аппаратам. В первую очередь это относится к задачам мониторинга земной поверхности в различных диапазонах волн (оптическом, инфракрасном, радиотехническом) благодаря способности БЛА иметь на своем борту полезную нагрузку в виде миниатюрной аппаратуры, решающей различные задачи обработки информации и управления. При этом к аэродинамическим свойствам БЛА как правило не предъявляются высокие требования по обеспечению маневренности, как например, к боевым или пассажирским пилотируемым летательным аппаратам в силу того, что БЛА предназначены в первую очередь для выполнения узкого круга конкретных задач, полет их обычно производится по простому заданному маршруту. К тому же стоимость БЛА должна быть небольшой, чтобы в случае его аварии материальный ущерб был минимальным.

Следовательно, исходя из этого, конструктивная и аэродинамическая компоновка БЛА выбирается как можно более простой. У БЛА отсутствуют присущие пилотируемым летательным аппаратам дополнительные сложные аэродинамические поверхности такие, как закрылки, предкрылки и т. п. Аэродинамическая компоновка БЛА как правило ограничивается наличием управляемого стабилизатора (руля высоты), элеронами, иногда – рулем направления, которые обеспечивают взлет, полет по заданной траектории и успешное приземление в заданной точке. Изготовление конструкции БЛА, выполняющего такие задачи, не представляет особых трудностей с учетом того, что синтез системы управления полетом и полезной нагрузкой – отдельная задача.

Синтез подробной математической модели летательного аппарата с учетом его аэродинамических свойств представляет собой сложную задачу, требующую как математического описания каждого элемента конструкции, так и описания взаимного влияния различных элементов объекта. Для решения этой задачи необходимо производить исследования с помощью специальных аэродинамических труб и (или) с помощью сложных дорогостоящих компьютерных программ, не всегда позволяющих получить адекватные результаты. В то же время для синтеза системы управления БЛА, обеспечивающей успешный полет и управление полезной нагрузкой (системой мониторинга) достаточно иметь упрощенную приближенную математическую модель планера БЛА, осуществляющего поступательное и вращательное движение в пространстве.

Анализ результатов экспериментального исследования

Путем полунатурного эксперимента было проведено исследование поведение БЛА конкретной аэродинамической и конструктивной компоновки при его полете по заданной траектории в вертикальной плоскости. При этом использовалась подробная математическая модель движения БЛА в пространстве, реализованная с помощью программного пакета Matlab-Simulink, описанная в [5]. На рис. 1 представлены: график изменения во времени угла отклонения руля высоты $\delta(t)$ (нижний график) и график изменения во времени реакции БЛА на $\delta(t)$ в виде изменения угла тангажа БЛА $\vartheta(t)$ (верхний график). С учетом того, что привод руля в данном случае обладает высоким быстродействием, график $\delta(t)$ по виду близок к прямоугольному импульсу. Задача состоит в определении приближенной математической модели БЛА при заданных входном $\delta(t)$ и выходном $\vartheta(t)$ сигналах, представленной в виде передаточной функции $W(p) = \dfrac{\vartheta(p)}{\delta(p)}$.

В данной задаче мы имеем объект идентификации, для которого известны описывающие его динамику операторные (дифференциальные) уравнения во временной области, а на вход объекта поступает специальный пробный сигнал в виде прямоугольного импульса заданной амплитуды.

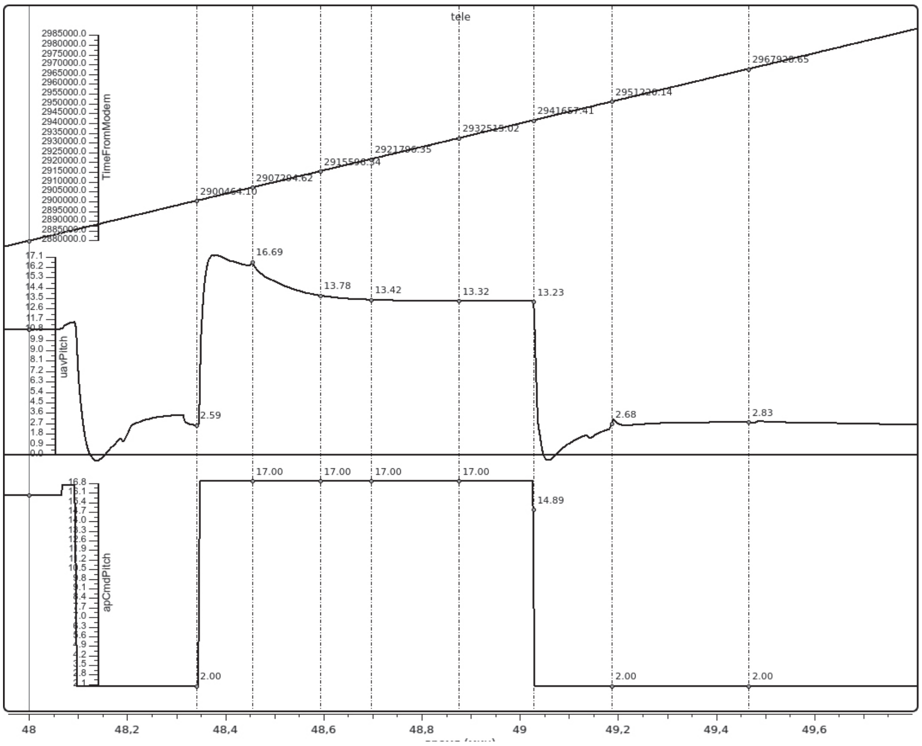

Рис. 1. Результаты экспериментальных исследований

В данном эксперименте точные значения сигналов получены в дискретные моменты времени, которые на графике выделены вертикальными прямыми. Дискретные значения векторов k-x моментов времени tk и угла тангажа ϑk имеют вид:

$$tk = [0,\ 0.683,\ 1.513,\ 2.133,\ 3.205,\ 4.120]^T,$$
$$\vartheta k = [0,\ 16.69,\ 13.78,\ 13.42,\ 13.32,\ 13.23]^T.$$

Определим связь между зависимой переменной $\vartheta(t)$ и независимой переменной $t(t)$ на основе известных значений ϑ_k и t_k. Для этого используем метод регрессионного анализа [6] и проведем аппроксимацию значений $\vartheta_k(t_k)$ полиномом вида

$$A(t) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \ldots + b_n x^n + \varepsilon, \quad (1)$$

где b_0, b_1,…, b_n – неизвестные параметры, ε – случайная ошибка аппроксимации с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией.

Чтобы не выполнять громоздкие аналитические вычисления воспользуемся стандартными встроенными функциями системы компьютерной математики Mathcad [……]. $A(t) := interp(s,\ x,\ y,\ t)$, где $s := regress(x,\ y,\ k)$ – встроенная функция для построения полиномиальной регрессии, x – вектор действительных данных аргумента, y – вектор действительных данных значений функции того же размера, t – значение аргумента полинома регрессии, при котором вычисляется интерполирующая функция k – степень интерполирующего полинома. Значения $\vartheta(0)$ из вектора аппроксимации исключаем, так как в соответствии с результатами эксперимента (рис. 1) при $t=0$ $\vartheta=0$.

На рис. 2 представлены результаты аппроксимации точек $\vartheta_k(t_k)$. При этом наиболее приемлемый результат аппроксимации получен при степени полинома $k=4$.

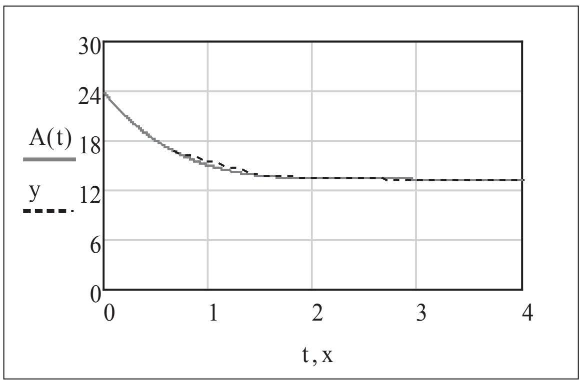

Рис. 2. Результаты аппроксимации точек

Аналитический синтез модели движения БЛА

Для получения аналитической зависимости угла тангажа БЛА ϑ, как и любого летательного аппарата самолетной аэродинамической схемы, от угла отклонения руля δ необходимо рассматривать математическую модель движения БЛА, включающую уравнения движения центра масс БЛА как твердого тела и уравнения движения БЛА вокруг центра масс. Уравнения движения любого БЛА представляют собой сложные функциональные зависимости параметров движения БЛА от большого числа аэродинамических коэффициентов, представляющих собой частные производные соответствующих переменных. Для решения большинства задач управления, оптимизации БЛА, построения тренажеров используются различные способы аппроксимации аэродинамических коэффициентов [8, 9].

Для получения передаточных функций, описывающих взаимозависимости между различными переменными, характеризующими движение БЛА в пространстве, необходимо рассматривать линеаризованные дифференциальные уравнения движения БЛА. При этом как правило рассматривается так называемая модель короткопериодического продольного движения БЛА «в малом», получаемая из «полной» модели путем пренебрежения влиянием приращения скорости БЛА на приращение нормальной перегрузки и приращение продольного момента, что при постоянной скорости БЛА является вполне допустимым.

В работе [8] и других источниках, ссылающихся на [8], приводятся передаточные функции для короткопериодического продольного движения БЛА, которые рассматриваются для горизонтального прямолинейного невозмущенного программного движения БЛА при условии пренебрежения подъемной силой поворотного стабилизатора (руля высоты). Передаточную функцию зависимости угла ϑ от угла отклонения руля δ в ряде работ представляют в форме последовательного соединения усилительного, колебательного, форсирующего звена первого порядка и интегрирующего звеньев в следующем виде

$$W(p)=\frac{\vartheta(p)}{\delta(p)}=\frac{b_0+b_1p}{(a_0+a_1p+a_2p^2)p}=$$
$$=\frac{K_\delta^\vartheta(T_1p+1)}{(T_2^2p^2+2T_2\varsigma p+1)p}, \tag{2}$$

где K_δ^ϑ – обобщенный коэффициент усиления, T_1, T_2 – постоянные времени, ζ – коэффициент (декремент) затухания, p – оператор преобразования Лапласа.

Для получения передаточной функции вала (2) рассматривается линеаризованная математическая модель движения БЛА в вертикальной плоскости, которая имеет вид [10]:

$$\ddot{y}=\frac{P+Y^\alpha}{m}\alpha+\frac{P-X_a}{m}\dot{y}+\frac{Y^\delta}{m}\delta-g, \tag{3}$$

$$\ddot{\vartheta}=\left(\frac{m_z^\omega+m_z^{\dot\alpha}}{I_z}\right)\omega_z+\left[\frac{m_z^\alpha}{I_z}-\frac{m_z^\alpha(P+Y^\alpha)}{I_zmV}\right]\alpha+$$
$$+\left(\frac{m_z^\delta}{I_z}-\frac{m_z^{\dot\alpha}Y^\delta}{I_zmV}\right)\delta+\frac{m_z^\alpha}{I_zV}g, \tag{4}$$

$$\dot\alpha=\omega_z-\frac{P-Y^\alpha}{mV}\alpha+\frac{g}{V}-\frac{Y^\delta}{mV}\delta. \tag{5}$$

В выражениях (3)-(5): m – масса, V – скорость, I_z – момент инерции БЛА, P – сила тяги, Y^α и Y^δ – проекции составляющих аэродинамической силы, вызванные соответствующими углами α и δ, m_z^α, $m_z^{\dot\alpha}$, m_z^ω – аэродинамические коэффициенты. При обосновании выражений (3)-(5) в [10] принято, что $\alpha=\vartheta-\theta$, $\dot\alpha=\dot\vartheta-\dot\theta$, $\dot\vartheta=\omega_z$, $\dot y\approx V\theta$, а с учетом малости углов – $\sin\alpha=\alpha$, $\sin\vartheta=\vartheta$, $\cos\alpha=\cos\vartheta=1$, $\dot\vartheta=\omega_z$.

Продифференцируем выражение (4) и подставим в него выражение (5), при этом учтем, что $\dot g=0$ и $\frac{P-Y^\alpha}{mV}\alpha+\frac{g}{V}\approx 0$, так как эти составляющие угловой скорости направлены в разные стороны и приблизительно равны. В результате преобразований получим выражение:

$$a_2\dddot\vartheta+a_1\ddot\vartheta+a_0\dot\vartheta=b_0\delta+b_1\dot\delta,$$
$$\vartheta(0)=\vartheta_0,\ \dot\vartheta(0)=\dot\vartheta_0,\ \ddot\vartheta(0)=\ddot\vartheta_0,\ \delta(0)=\delta_0. \tag{6}$$

В выражении (6) обозначено:

$$a_0=-\frac{m_z^\alpha}{I_z}+\frac{m_z^\alpha(P+Y^\alpha)}{I_zmV},$$
$$a_1=\frac{-m_z^\omega-m_z^{\dot\alpha}}{I_z},\ a_2=1,$$

$$b_0 = -\frac{Y^\delta}{mV}\left[\frac{m_z^\alpha}{I_z} - \frac{m_z^\alpha (P+Y^\alpha)}{I_z mV}\right],$$

$$b_1 = \frac{m_z^\delta}{I_z} - \frac{m_z^{\dot\alpha} Y^\delta}{I_z mV}.$$

Преобразовав выражение (6) по Лапласу при нулевых начальных условиях, получим

$$p(a_2 p^2 + a_1 p + a_0)\vartheta = (b_0 + b_1 p)\delta. \quad (7)$$

Из выражения (6) получается выражение для передаточной функции вида (1).

Следует заметить, попытки использовать выражения (1) или (7) для компьютерного моделирования движения БЛА связаны с определенными трудностями, обусловленными программной реализацией дифференцирующего звена. В цифровой информационной системе (компьютере, ЭВМ), классического типа (выполненной по схеме Джона фон Неймана), такого рода операции выполняются приближенными методами, вносящими существенные искажения в ожидаемый результат. Кроме того наличие в составе W(p) интегрирующего звена приводит к искажению динамически изменяющегося выходного сигнала системы.

В то же время при рассмотрении горизонтального полета БЛА с нулевым углом наклона траектории ($\theta = 0$) и с постоянной скоростью, что характерно для БЛА, существенно упрощается постановка задачи ($\alpha = \vartheta$, $\dot\alpha = \dot\vartheta$) и выражение (4) принимает следующий вид [10]:

$$\ddot\vartheta = \frac{m_z^\omega + m_z^{\dot\alpha}}{I_z}\dot\vartheta + \frac{m_z^\alpha}{I_z}\vartheta + \frac{m_z^\delta}{I_z}\delta. \quad (8)$$

Операторное уравнение в данном случае будет иметь вид

$$(a_2 p^2 + a_1 p + a_0)\vartheta = b_0\delta, \quad (9)$$

а передаточная функция БЛА имеет вид колебательного звена

$$W(p) = \frac{\vartheta(p)}{\delta(p)} = \frac{b_0}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2} = \frac{K_\delta^\vartheta}{T^2 p^2 + 2T\varsigma p + 1}. \quad (10)$$

Таким образом, задача идентификации математической модели БЛА сводится к подбору коэффициентов колебательного звена T и ζ, так как обобщенный коэффициент K_δ^ϑ вычисляется как отношение выходного сигнала ко входному в установившемся режиме (при $p=0$). Коэффициент затухания ζ выбирается исходя из требований к переходной характеристике системы (величине перерегулирования, времени переходного процесса). В инженерной практике, как правило, оптимальным считают $\zeta=0.7$. Условием определения значения T будем считать равенство величин выходного сигнала ϑ, полученных экспериментальным путем и полученным аналитически после окончания переходного процесса. Пусть в момент времени $t=3$ с разность между экспериментальным и теоретическим значениями ϑ не должна превышать 0.001. Путем компьютерного моделирования (перебором значений T) установлено, что при $T=0.22438$ разность между экспериментальным и теоретическим значениями ϑ составляет 0.000924.

На рис. 3 представлены графики изменения $\delta(t) = u_k$ и $\vartheta(t) = z_k$, полученные в среде Mathcad, при использовании модели движения БЛА в виде (10). Сравнивая графики $\delta(t)$ и $\vartheta(t)$, представленные на рис. 1 и рис. 3 видно, что эти графики по своей форме схожи между собой. Отличия между ними обусловлены принятыми многочисленными допущениями (линеаризация, малость углов и т.д.) при получении аналитических выражений.

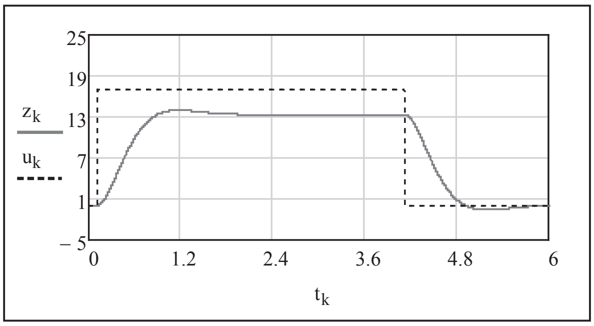

Рис. 3. Результаты математического моделирования

Заключение

На основе результатов экспериментального полунатурного исследования полета БЛА решается задача структурной и параметрической идентификации математической модели вращательного движения БЛА в вертикальной плоскости пространства. При этом аналитически получена передаточная функция рассматриваемой системы управления полетом БЛА на основе известной математической модели движения БЛА. Аппроксимация полученных дискретных результатов экспериментальных исследований полиномом четвертого порядка позволила получить непрерывную функцию изменения выходного параметра, используемого для идентификации искомой передаточной функции. Обоснованы соответствующие допущения, принятые при решении задачи, в качестве которых рассматривались линеаризация, заданный диапазон условий применения БЛА, пренебрежение некоторыми факторами, оказывающими незначительное влияние на конечный результат.

Результаты компьютерного моделирования подтвердили обоснованность применения синтезированной математической модели БЛА, полученной на основе структурной и параметрической идентификации, для решения задач, не требующих подробного исследования аэродинамических свойств БЛА. Данный подход может использоваться для получения упрощенных математических моделей, которые применяются для решения задач синтеза и оптимизации систем управления не только БЛА, но и других динамических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского.– М.: Наука, 1987.– 712 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд, перераб. и доп. Т. 2: Статистичес кая динамика и идентификация систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова.– М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.– 638 с.
3. **Лобатый, А. А.** Параметрическая идентификация стохастической системы неградиентным случайным поиском / А. А. Лобатый, В. Ю. Степанов // Наука и техника, 2017. № 3. С. 256–261.
4. **Лобатый, А. А.** Поисковый алгоритм параметрической идентификации электропривода системы мониторинга / А. А. Лобатый, А. С. Абуфанас, А. А. Шведко // Системный анализ и прикладная информатика, 2017. № 2(14). С. 39–45.
5. **Яцына, Ю. Ф.** Компьютерное моделирование контура управления беспилотного авиационного комплекса для обеспечения устойчивости и управляемости / Ю. Ф. Яцына, Ю. В. Гриднев // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, 2018. Т. 63, № 3. С. 368–380.
6. **Таха, Х. А.** Введение в исследование операций / Х. А. Таха.– М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.– 912 с.
7. **Кирьянов, Д. В.** Mathcad 15/ Mathcad Prime 1.0. / Д. В. Кирьянов – СПб. БХВ-Петербург, 2012.– 432 с.
8. **Красовский, А. А.** Системы автоматического управления летательных аппаратов / А. А. Красовский А. А., Ю. А. Вавилов, А. И. Сучков.– М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1986.– 477 с.
9. **Моисеев, В. С.** Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами / В. С. Моисеев.– Казань: ГБУ РЦМКО, 2013.– 768 с.
10. **Дмитриевский, А. А.** Внешняя баллистика / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко.– М.: Машиностроение, 2005.– 608 с.

REFERENCES

1. **Krasovskij A. A.** Handbook of the theory of automatic control / ed. A. A. Krasovskogo.– M.: Nauka, 1987.– 712 p.
2. Methods of classical and modern theory of automatic control: a Textbook in 5 TT.; 2nd ed., reprint. and additional Volume 2: Statistical dynamics and identification of automatic control systems / Under the editorship of K. A. pupkov and N. D. Egupov.– M.: Publishing house of Bauman Moscow state technical University, 2004.– 638 p.
3. **Lobaty, A. A.** Parametric identification of stochastic system with random search nigredients / A. A. Lobaty, V. Y. Stepanov // Science and technology, 2017. No. 3. P. 256–261.
4. **Lobaty, A. A.** The Search algorithm of parametric identification of the actuator monitoring system / A. A. Lobaty, A. S. Ibufenac, A. A., Shvedko // System analysis and applied Informatics, 2017. No. 2(14). P. 39–45.
5. **Yatsyna, Y. F.** Computer modeling of the control contour of an unmanned aviation complex for ensuring stability and controllability / Y. F. Yatsyna, Yu. V. Gridnev // Vesti natsyyanalnai Akademii navuk Belarusi, 2018. Vol. 63, No. 3. Pp. 368–380.
6. **Taha, H. A.** Introduction to operations research / H. A. Taha.– Moscow: publishing house “Williams”, 2005.– 912 p.
7. **Kiryanov, D. V.** Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. / D. V. Kiryanov-Saint Petersburg, 2012.– 432 p.
8. **Krasovsky, A. A.** Automatic control Systems of aircraft / A. A. Krasovsky, A. A., Yu. a. Vavilov, A. I. Suchkov.– Moscow: vvia im. n. E. Zhukovsky, 1986.– 477 p.
9. **Moiseev, V. S.** Applied theory of control of unmanned aerial vehicles / V. S. Moiseev.– Kazan: GBU RCMKO, 2013.– 768 p.
10. **Dmitrievsky, A. A.** External Ballistics. Dmitrievsky, L. N. Lysenko.– M.: Mechanical Engineering, 2005.– 608 p.

Поступила *12.04.2020* | *После доработки* *12.05.2020* | *Принята к печати* *01.06.2020*

LOBATY A.A., YATSYNA Y.F. PROHOROVITH S.S., HVITKO E. A.

IDENTIFICATION OF A SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODEL OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Belarusian National Technical University

The problem of determining the shape and parameters of a mathematical model in the form of a transfer function for the movement of an unmanned aerial vehicle (UAV) in the vertical plane of space is solved. The angle of deviation of the Elevator is considered as the input signal, and the pitch angle of the UAV is considered as the output signal. We use the results of experimental studies of UAV flight, which are considered as known values of input and output signals under specified flight conditions. The measured discrete values of the experimental results are approximated by a fourth-order polynomial based on regression analysis for ease of use in identification. The analytical substantiation of the need to apply the methods of linearization of the mathematical model of UAV movement and the accepted assumptions for obtaining differential equations of UAV movement relative to the center of mass, allowing to synthesize the required transfer function of the corresponding element of the UAV control system. The results of computer modeling confirmed the validity of the synthesized mathematical model obtained on the basis of structural and parametric identification. This approach can be used to obtain simplified mathematical models that are used to solve problems of synthesis and optimization of control systems not only for UAVS, but also for other dynamic objects.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, identification, mathematical model, transfer function.*

Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор. Возглавляет кафедру «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления, в том числе – беспилотными летательными аппаратами.

Lobaty A.A., doctor of Science, Professor. From 2000 he heads of the department «Information Systems and Technologies» at the Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of control systems including unmanned aerial vehicles

Тел: +375 (29) 346–82–56. E-mail: lobaty@bntu.by

Яцына Юрий Францевич, директор Научно-производственного центра многофункциональных беспилотных комплексов Национальной академии наук Беларуси. Специалист в области разработки систем управления мобильных роботизированных систем.

Тел: +375 (29) 758–43–04. E-mail: yanvad003@gmail.com

Yatsyna Y.F., director of the State Research and Production Enterprise unmanned multipurpose complexes. A specialist in the field of research and development of control systems of mobile robotic systems for various economic purposes.

Прохорович Сергей Сергеевич, аспирант кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза стохастических систем управления применительно к беспилотным летательным аппаратам.

Prohorovith S.S., PhD student of «Information Systems and Technologies» department of Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of stochastic control systems applying to unmanned aerial vehicles.

E-mail: Sergeyprohorovich@gmail.com

Хвитько Евгений Анатольевич, аспирант кафедры «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза стохастических систем управления применительно к беспилотным летательным аппаратам.
E-mail: evgeni.hvitko@bntu.by

Hvitko A. Y., PhD student of «Information Systems and Technologies» department of Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of stochastic control systems applying to unmanned aerial vehicles.