

Ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару жүйесінің әдістемелері мен белгісіздік жағдайы

¹ЛИТВИНОВ Юрий Георгиевич, ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, yurii-litvinov@mail.ru,

^{1*}КЕРИБАЕВА Талшын Бақытжанқызы, докторант, talshyn.keribayeva@gmail.com,

¹Азаматтық Авиация Академиясы, Қазақстан, 050039, Алматы, Ахметов көш., 44,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – ұшқышсыз ұшу аппаратын басқару жүйесінің әдістемелерін және басқару түрлерін талдау. Бағдарламалық тілді пайдалану тиімділігі мен ұшқышсыздардың басқару жүйесінде қолданылуы қарастырылады. Ұшу барысында болатын өзгерістерді байқау мүмкіндіктері сипатталған. Бағдарламалау тілінің көмегімен біз төтенше жағдайдағы белгісіздіктердің алдын алу реттеуішін жасау арқылы ҰҰА (ұшқышсыз ұшу аппараты) берілген тапсырманы жоғары дәлдікте орындау мүмкіндігіне ие боламыз. Ұшқышсыздарды бағдарламалау тілінің көмегімен шынайы ұшуда сынау мен модельдерін алу сипатталған.

Кілт сөздер: ұшқышсыз ұшу аппараты, ҰҰА басқару жүйелері, бағдарламалау тілдері, имитациялық модель.

Кіріспе

Ұшқышсыз ұшу аппаратына (ҰҰА) қойылған тапсырмалардың тиімді орындалуы, оның бағдарламалық траекторияларының қозғалысына негізделінген. Тәжірибелік ұшу, ұшқышсыздарда белгілі бір траектория бойынша ұшуға алдын-ала бағдарламалау. Сондай-ақ, қоршаған орта мен ҰҰА күйінің өзгеруін ескеру өте қиын, өйткені сенімді априорлық ақпарат жоқ. Априорлық белгісіздік жүйені синтездеу кезеңінде болады. Бұл басқару объектісінің қасиеттері туралы ақпараттың болмауына және оның жұмыс шарты туралы ақпараттың жетіспеушілігінен, сондай-ақ оның жұмыс істеу шартының нақты математикалық сипаттамасының болмауы, ұшу барысында енгізілген басқару элементтері параметрлерінің шашыраңқы болуы [1].

Негізгі бөлім

ҰҰА басқару жүйесін әзірлеу үшін және бір қатар тапсырмаларды орындауға реттеуші эталонды модель қажет. Ол үшін бізде ҰҰА математикалық моделі болу керек. Яғни, ұшқышсыздың басқару алгоритміне белгісіздікті түзетуді жүзеге асыратын қосымша реттеуші орнату қажет.

Ұшқышсыз ұшу аппаратының математикалық сипаттамасында қазіргі уақытта t фазалық вектормен берілген $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ векторы компоненттері $x(t)$, атап айтқанда, ұшқышсыздың геометриялық координаттары және оның жылдамдық векторын құрайтындар. Фазалық вектордың уақыт өзгерісі дифференциалдық теңдеу түрін қанағаттандырады деп санаймыз

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u(t), v(t)), (t \geq t_0).$$

Мұнда $u(t) = (u_1(t), \dots, u_p(t))$ – басқару әсерінің векторы, оның компоненттері әртүрлі рульдердің орналасуын және уақыт кезіндегі қозғалтқыштардың жұмыс режимін сипаттайды t ; $v(t) = (v_1(t), \dots, v_q(t))$ сыртқы бұзылулар векторы, бұл вектор, мысалы, желдің күші мен бағытын сипаттайды. Уақыт функциялары $u(\cdot) = (u(t), t \geq t_0)$ және $v(\cdot) = (v(t), t \geq t_0)$ біз бұдан әрі басқару және кедергі деп атаймыз. Шешімі $x(\cdot) = (x(t), t \geq t_0)$ теңдеу (1) басқарылатын жүйенің қозғалысы деп атаймыз. Рұқсат етілген басқару және кедергі шектеулерді қанағаттандырады деп болжанады

$$u(t) \in P, v(t) \in Q(t \geq t_0), \quad (1)$$

мұндағы P және Q жиындар R^p және R^q , сәйкесінше, физикалық жағдаймен берілген есептер. Функциясы: $f: R \times R^n \times P \times Q \rightarrow R^n$ теңдеудің оң жағында (1.1) ұшақтың қозғалысына бағынатын физикалық заңдармен анықталады. Математикалық модель нақты процеске сәйкес келеді.

Қонуды автоматты басқару $t = t_0 = 0$ моментіне қосылады, егер ұшқышсыз белгілі бір аймақта болса, онда фазалық кеңістіктің X_0 аймағы жауап береді R^n . Берілген тапсырмада басында ұшқышсыздың қону жолағы жылдамдықпен, мөлшері мен бағыты рұқсат етілген жылдамдықпен жеткізуді қамтамасыз ету қажет. Бұл ретте ұшу қауіпсіздігінің кейбір шарттары да орындалуы тиіс. Бұл талаптарды шарттар түрінде рәсімдеуге болады

$$x(\tau) \in M, x(t) \in N \text{ кезегінде } 0 \leq t \leq \tau. \quad (2)$$

Мұнда M – қону кезінде рұқсат етілген фазалық күйлердің жиынтығы;

N – қауіпсіздіктің техникалық шарттарына сәйкес келетін R^n фазалық кеңістігіндегі жиын; $\tau = \tau(x(\cdot))$ – қону моменті, яғни x қозғалысы үшін уақыт моменті $x(\cdot) = (x(t)), t \geq 0$ бірінші рет $x(t) \in M$ шарты орындалады.

Ұшақты автоматты түрде қондыру міндеті белгісіздік жағдайында қарастырылатындығын ескеріңіз, бұл жерде қозғалыс процесінде қандай кедергі болатынын алдын-ала болжау мүмкін емес. Мұндай жағдайда басқарудың екі әдісін ажырату керек – бағдарламалық және кері байланыс қағидаты бойынша. Бірінші әдіспен u басқару $u(\cdot) = (u(t), t \geq t_0)$ бастапқы сәтінде барлық кейінгі уақыт аралығында анықталған белгіленген уақыт функциясы ретінде таңдалады; бағдарламалық басқару класында қарастырылатын мәселені шешуге болмайтынын бірден мойындау керек. Екінші әдіспен басқару кіріс ақпаратқа байланысты қозғалыс процесінде қалыптасады.

Қозғалыс процесінде $x(t)$ фазалық вектор компонентінің кез-келген бөлігін өлшеуге болады делік, мысалы бірінші m компоненті $(x_1(t), \dots, x_m(t)) = x^{[m]}(t)$. $u(t)$ рульдерінің орналасуы $x^{[m]}(t)$ кіріс ақпаратына байланысты тағайындалады деп болжаймыз. Математикалық модельде бұл шарт $u(t) = U(x^{[m]}(t))(t \geq t_0)$. Заңы бойынша басқарудың қалыптасуына жауап бере алады, мұндағы $U: x^{[m]} \rightarrow U(x^{[m]})$ P – жиынтығындағы мәндерді қабылдайтын кейбір функция. Бұл жағдайда стратегия u функциясымен беріледі.

Сонымен, басқарудың математикалық есебі U^0 функциясын (стратегиясын) құруға болады, ол келесі шарттың орындалуына кепілдік береді: V (кедергі) қандай болмасын $v(\cdot) = (v(t), t \geq 0)$ бастапқы нүктесі $x_0 = x(0)$ аймағынан, x_0 қозғалысы үшін $x(\cdot) = (x(t), t \geq 0)$ басқарылатын жүйе

$$x(t) = f(t, x(t), U^0(x^{[m]}(t)), c(t)). \quad (3)$$

Шарттар орындалуы керек (2).

$\mathfrak{A}(X_0, U)$ көптеген қозғалыстар $x(\cdot) = (x(t), t \geq 0)$ жүйелері

$$x(t) = f(t, x(t), U(x^{[m]}(t))), x(0) = x_0 \in X_0, t \geq 0. \quad (4)$$

Барлық бастапқы нүктелерді $x_0 \in X_0$ және барлық рұқсат етілген кедергілерді $v(\cdot) = (v(t) \in Q, t \geq 0)$. M арқылы барлық үздіксіз функциялар жиынтығы $x(\cdot) = (x(t), t \geq 0)$, әрқайсысы үшін екі шарт орындалады: 1) уақыт моменті $\tau = \tau(x(\cdot))$, алғаш рет $x(t) \in M$; 2) іске қосулар орындалады $x(t) \in N$ кезегінде $0 \leq t \leq \tau(x(\cdot))$. Енгізілген белгілерді қолдана отырып, біз талқыланатын мәселенің келесі тұжырымына келеміз. Жарамды стратегиялар класында U^0 стратегиясын анықтау қажет, ол үшін $\mathfrak{A}(X_0, U^0) \subset M$ тіркемесі дұрыс.

Программалау құралдары

Ұшқышсыздардың басқару жүйелеріне деген талаптар күн сайын артуда. Ұшқышсыз ұшу аппараттарымен (ҰҰА) көптеген тапсырмаларды

сапалы орындау, басқару дәлдігіне байланысты [2]. Бүгінгі таңда шағын көлемдегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының жинақталған ақпаратқа негізделген 132 түрлері бар [3]. Талдаудың мақсаты ҰҰА бүгінгі таңда азаматтық және әскери мақсаттарда үлкен сұранысқа ие екенін білеміз. Ел аумағында 2020 жылдың маусым айындағы статистика бойынша елімізде 277 ұшқышсыз ұшу аппараттары тіркелген [4]. Сондай-ақ ел аумағында қолданылып жүрген ұшқышсыздардың белгісіздік жағдайында туындайтын қиындықтардың алдын алу үшін, басқару жүйесін оңтайландыруды ұсыну керек.

Түрлі жобалау жаттығуларын бастапқыда студенттердің бағдарламалық кәсіби дағдыларын қажет ететін, C/C++ бағдарламалау тілін қолдану үшін жасаған. Ал бұл оқытушы үшін де, студенттер үшін де қолайсыз қиындықтар тудырды. Кейіннен жобалау бойынша жаттығулар өзгерді, сондықтан олар Matlab/Simulink бағдарламалау жүйесінде орындалды. Бұл өз кезегінде студенттерге бағдарламалау тіліне емес, ҰҰА – на байланысты негізгі аспектілері мен маңызды мәліметтерге назар аударуға мүмкіндік береді. Matlab / Simulink қосымшалары негізгі құралдарын сипаттайтын, қосымша ақпарат беретін, әрі ұшқышсыздар моделін жасау кезінде қолданылады [5].

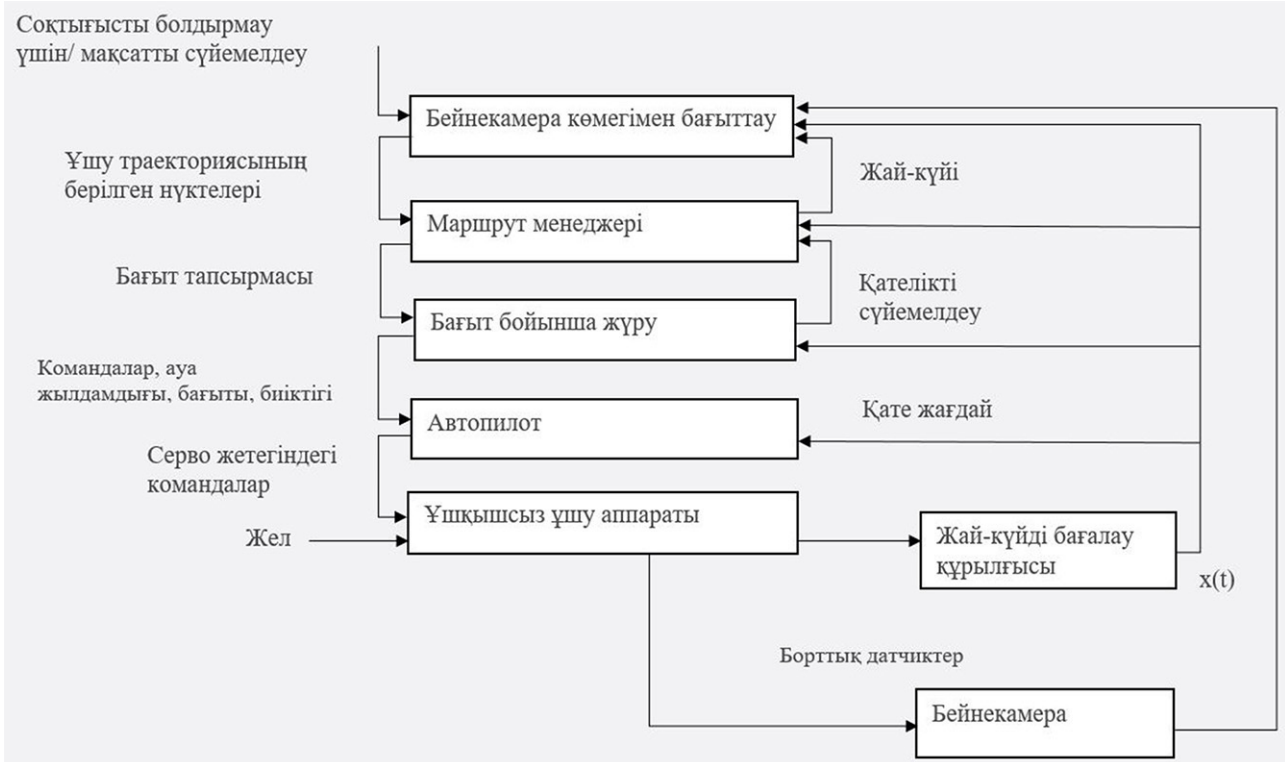
Ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару жүйесіне тоқталатын болсақ, ҰҰА қолданушы бағыттардың барлығы дерлік борттық оптоэлектронды / инфрақызыл бейнекамераларды пайдалануды талап етеді. Камераның әдеттегі міндеті пайдаланушыны визуалды ақпаратпен қамтамасыз ету. ҰҰА өткізу қабілеті шектеулі болғандықтан, бұны пайдаланудың өзіндік мағынасы бар, сондай-ақ бейнекамера, навигация, бағыттау және ұшуды басқаруға арналған [4]. Бейнекамера ақпаратын тиімді пайдалану қазіргі уақытта белсенді зерттеу міндеті болып табылады.

Жобалау кезеңі

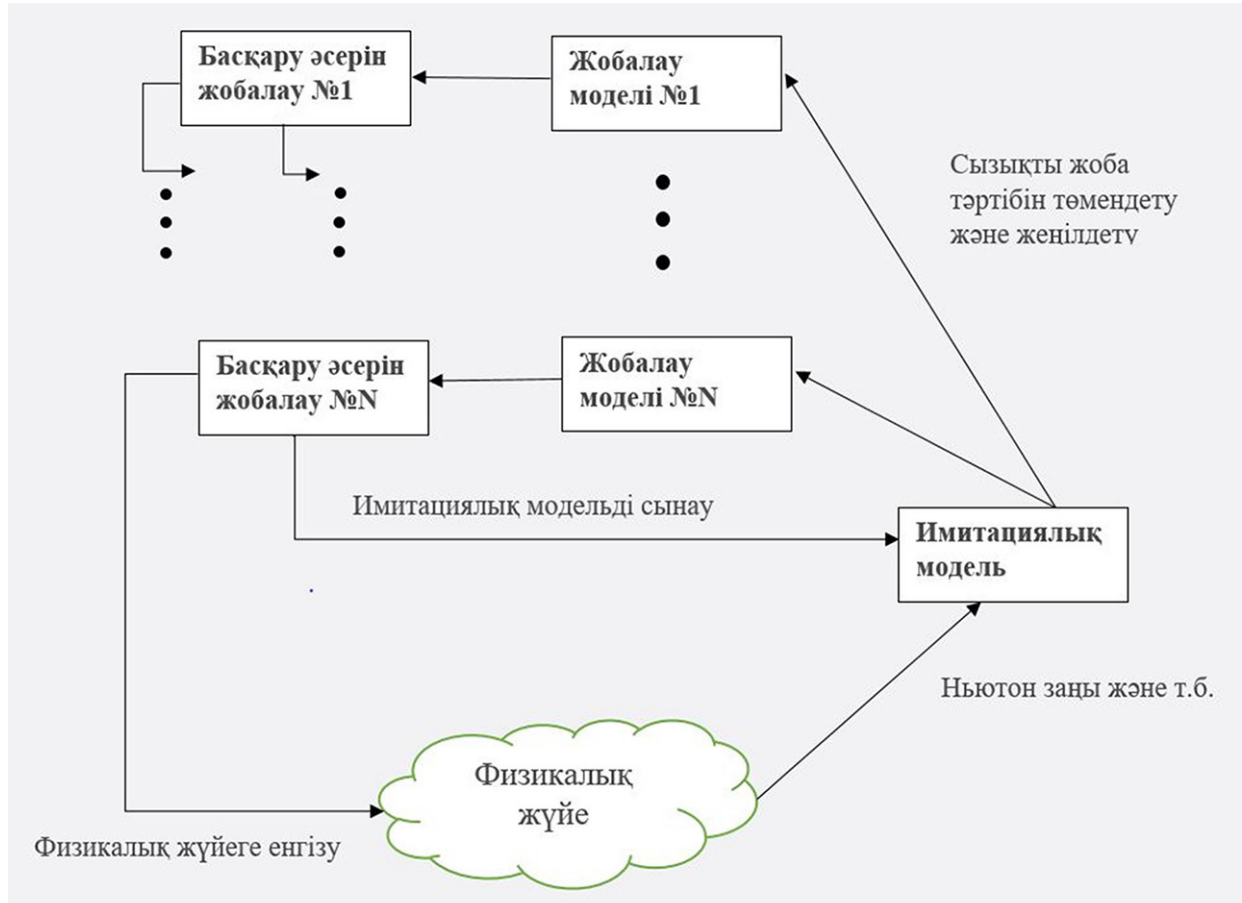
1-суреттің жұмыс жасауын былайша түсіндіруге болады. Бейнекамера қосымша сенсор ретінде қосылады, ал маршрутты жоспарлаушы бейне жүйесін қолдана отырып бағыттау ретінде белгіленген блокқа ауыстырылады. Бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу процесінің әртүрлі тәсілдері бар [6,7].

Имитациялық модель, әдетте, сызықты емес және жоғары ретті, сондай-ақ басқару әсерін жобалауда қолдану үшін математикалық тұрғыдан қиын. Жобалау процесінің ыңғайлылығы үшін имитациялық модель жеңілдетілген және төмен ретті жоба модельдерін жасау үшін сызылады. Жобалау процесінің белгілі бір аспектілерін көрсететін, физикалық жүйелер үшін көптеген жоба модельдері болуы мүмкін. Кіші көлемді ҰҰА-ға төмен деңгейлі, ұшуды басқару үшін де, құрылғыны жоғары деңгейде бағыттау үшін де әртүрлі модельдер қолданылады [5].

Ұшқышсыз ұшақтарды зерттеу кезінде әртүр-



1-сурет – Бейнекамераны қолдана отырып навигация, бағыттауды және ұшуды басқарудың архитектуралық жүйесі сипатталған



2-сурет – Жобалау процесі

лі денелердің бір-біріне қалай бағытталғанын түсіну керек. Ұшақтың жерге қатысты қалай бағытталғанын түсіну керек. Сондай-ақ, сенсордың (мысалы, борттық камера) ұшаққа қалай бағытталғанын немесе антеннаның жердегі сигнал көзіне қалай бағытталғанын білу керек [5].

Шағын көлемдегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының динамикалық әрекетін алу және түсіну үшін, бірнеше координаттар жүйесі қажет. Бұл дегеніміз: координаттардың инерциялық жүйесі, ұшу аппаратының координаттар жүйесі, ұшу аппаратының координаттар жүйесі-1, ұшу аппаратының координаттар жүйесі-2, жартылай байланысқан координаттар жүйесі және координаттардың жылдамдық жүйесі. Инерциялық координаттар жүйесі және ұшақтың координаттар жүйесі бір-бірімен ығысу арқылы байланысады, ал қалған координаттар жүйелері бұрылыстармен байланысады. Ұшу аппаратының-1,2 координаттар жүйесі және байланысты координаттар жүйесі үшін ұшу аппаратының салыстырмалы бағдарын айқындайтын бұрыштар ұшақтың биіктігін сипаттайтын қисаю бұрышы, ұшақтың биіктігін сипаттайтын тангаж бұрышы және бұралу бұрышы [5].

Ұшқышсыздарды ұшыру шектеулі биіктік диапазонында орындалатындықтан, матрицалық жазбалар тек шынайы әуе жылдамдығының функциялары болып табылады. Осылайша, нақты уақыттағы ауа жылдамдығын әуе деректер жүйесімен өлшеу биіктікті басқару жүйесін жақ-

сартуды жоспарлау үшін қолданылады.

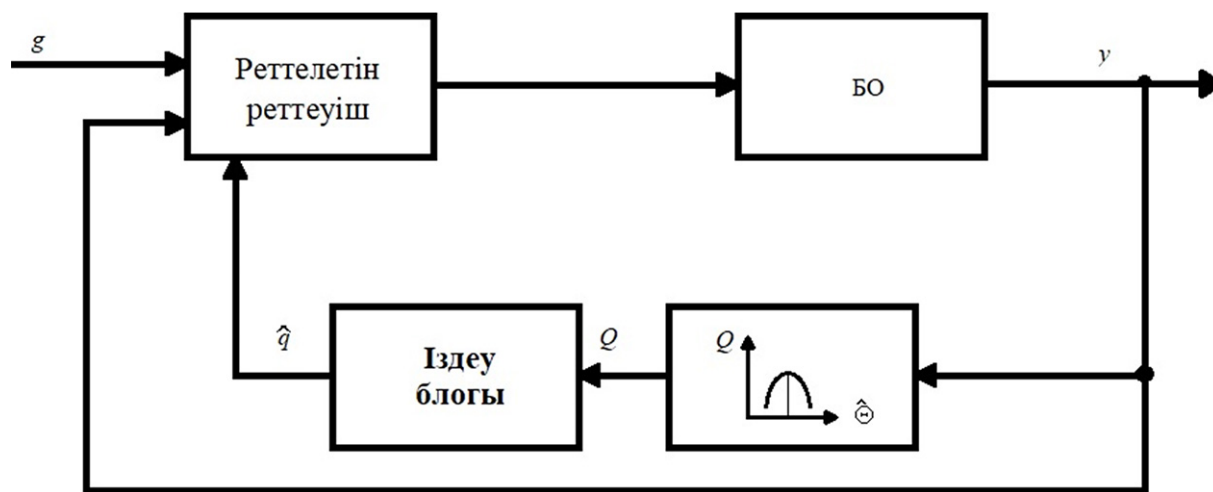
Ұшқышсыз ұшу аппараттарын биіктікте басқару жүйесін қарапайым іске асыру ретінде статикалық шығу кері байланысын күшейту қолданылды.

Жобалау әдістемесін сандық іске асыру үшін сынақ стенді ретінде аэросондтың ұшу динамикасының математикалық моделі қолданған. Бұл жүйе өз кезегінде үздіксіз күшейту-шығу кезінде статикалық кері байланысты күшейтуді жоспарлау, Лагранж арасындағы қарапайым интерполяцияны қолдану арқылы қол жеткізілді. Бұл тәсілдің тиімділігі Simulink басқару процестерін модельдеу арқылы дәлелденді [8].

Өз кезегімізде бағдарламалау тілінің көмегімен біз төтенше жағдайдағы белгісіздіктердің алдын алу реттеуішін жасау арқылы ҰҰА берілген тапсырманы жоғарғы дәлдікте орындау мүмкіндігіне ие боламыз.

Қорытынды

Ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару жүйесін талдап, басқару тәсілдерінің көп түрлілігіне көз жеткіздік. Бағдарламалық тілді пайдалану арқылы, ұшқышсыздарға арналған жаңа басқару жүйелерін шынайы ұшуда сынай аламыз. Ұшқышсыздардағы белгісіздікті реттеуші көмегімен бағдарламалаудың маңыздылығы алдағы жаңа жетістіктер мен ғылыми жаңалықтарды толық тексеруге, әдіснамасын ұсынуға мүмкіндік береді.



3-сурет – Төтенше жағдайдағы реттеуші жүйе

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Никифоров В.О., Слита О.В., Ушаков А.В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности // Учебное пособие. – 2011. – С. 13.
2. Павлушенко М.И. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / М.И. Павлушенко, Г.М. Евстафьев, И.К. Макаренко // Права человека. – 2005. – С. 612.
3. Guowei Cai, Jorge Dias, Lakmal Seneviratne, A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends // World Scientific Publishing Company // Unmanned Systems, Vol. – 2014, № 2. P. 1-25.

4. https://lenta.inform.kz/kz/kazakstanda-ushkyshyz-277-ushu-apparaty-esepke-tirkelgen_a3669074
5. Randal W. Beard, Timothy W. McLain., Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice // Princeton University Press. – 2012. – P. 217.
6. W. King, Design Times at Honeywell Cut by 60 Percent // Honeywell Commercial Aviation Systems, Nov. 1999.
7. D. Nixon, Flight Control Law Development for F-35 Joint Strike Fighter // Lockheed-Martin Aeronautics, Oct. 2004.
8. A.A. Tunik, O.I. Nadsadna, Robust Digital Gain-Scheduling Control Of The UAV Altitude // International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD) – 2017 pp. 175-179.

Методика и состояние неопределенности системы управления беспилотным летательным аппаратом

¹**ЛИТВИНОВ Юрий Георгиевич**, к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, yurii-litvinov@mail.ru,

^{1*}**КЕРИБАЕВА Талшын Бакытжановна**, докторант, talshyn.keribayeva@gmail.com,

¹Академия Гражданской Авиации, Казахстан, 050039, Алматы, ул. Ахметова, 44,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель статьи – анализ методики и методов управления системой управления беспилотным летательным аппаратом. Рассмотрены эффективность использования программного языка и возможности применения в системе управления беспилотниками и наблюдения за изменениями, происходящими в них в полете. С помощью языка программирования мы можем выполнить заданную задачу БПЛА с большей точностью, создав регулятор предупреждения неопределенностей в чрезвычайных ситуациях. Описано получение моделей и испытаний беспилотников в реальном полете с помощью языка программирования.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, системы управления БПЛА, языки программирования, имитационная модель.

Methodology and State of Uncertainty of the Control System of an Unmanned Aerial Vehicle

¹**LITVINOV Yuri**, Cand. Phys. and Math. Sci., Associate Professor, yurii-litvinov@mail.ru,

^{1*}**KERIBAYEVA Talshyn**, doctoral student, talshyn.keribayeva@gmail.com,

¹Civil Aviation Academy, Kazakhstan, 050039, Almaty, Akhmetov str., 44,

*corresponding author.

Abstract. The article analyzes the techniques and methods of control of the control system of an unmanned aerial vehicle. The efficiency of using the programming language and the possibility of using it in the control system of unmanned aerial vehicles and monitoring the changes occurring in them in flight are considered. With the help of a programming language, we can perform a given UAV task with greater accuracy by developing a regulator for preventing uncertainties in emergency situations. The article describes how to obtain models and tests of unmanned aerial vehicles in real flight using a programming language.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV control systems, programming languages, simulation model.

REFERENCES

1. Nikiforov V.O., Slita O.V., Ushakov A.V. Intellekтуальное управление в условиях неопределенности // Учебное пособие. – 2011. – С. 13.
2. Pavlushenko M.I. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / M.I. Pavlushenko, G.M. Evstafev, I.K. Makarenko // Права человека. – 2005. – С. 612.
3. Guowei Cai, Jorge Dias, Lakmal Seneviratne, A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends // World Scientific Publishing Company // Unmanned Systems, Vol. – 2014, № 2. P. 1-25.
4. https://lenta.inform.kz/kz/kazakstanda-ushkyshyz-277-ushu-apparaty-esepke-tirkelgen_a3669074
5. Randal W. Beard, Timothy W. McLain., Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice // Princeton University Press. – 2012. – P. 217.
6. W. King, Design Times at Honeywell Cut by 60 Percent // Honeywell Commercial Aviation Systems, Nov. 1999.
7. D. Nixon, Flight Control Law Development for F-35 Joint Strike Fighter // Lockheed-Martin Aeronautics, Oct. 2004.
8. A.A. Tunik, O.I. Nadsadna, Robust Digital Gain-Scheduling Control Of The UAV Altitude // International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD) – 2017 pp. 175-179.