ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

SATBAYEV UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Капанова Аида Талгатовна

«Қашықтықтан жедел медициналық көмек көрсететін іздестіру мақсатындағы дронды әзірлеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5В071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

SATBAYEV UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты

Қ.А. Ожикенов
«23» мамыр 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Қашықтықтан жедел медициналық көмек көрсететін іздестіру мақсатындағы дронды әзірлеу»

5В071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады Капанова Аида

Ғылыми жетекшісі
профессордың ассистенті, к.т.н.

Тулешов Е.А.

« 24 » мамыр 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

SATBAYEV UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5В071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН
РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты

Қ.А. Ожикенов
«23» қаңтар 2020 ж.

ТАПСЫРМА
дипломдық жұмысты орындауға

Білім алушыға Капанова Аида Талгатовна
Тақырыбы: Қашықтықтан жедел медициналық көмек көрсететін іздестіру мақсатындағы дронды әзірлеу
Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №726-б «27» қаңтар 2020 ж.
Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2020 ж.
Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: қашықтықтан жедел медициналық көмек көрсететін іздестіру мақсатындағы дронды әзірлеу болып табылады, MatLab Simulink бағдарламасында басқару жүйесінің имитациялық моделін құрып, зерттеу.
Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:
а) Төтенше жағдай кезінде ұшқышсыз ұшу аппаратын қолдану;
б) ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің математикалық моделін әзірлеу;
в) ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің имитациялық моделін әзірлеу.
Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):
15 слайд
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 20 әдебиеттер тізімі

Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Есептеу бөлімі	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Бағдарламалық бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Зерттеу бөлімі	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Қорытынды бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының

ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдердің атауы	**Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер,** **(аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)**	**Қол қойылған күні**	**Қол**
Қалып бақылаушы	Е.А. Тулешов, профессордың ассистенті, к.т.н.	23.05.2020 ж.	

Ғылыми жетекшісі Тулешов Е.А.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы Капанова А.Т.

Күні «23» мамыр 2020 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста медициналық қызметтің мүдделері үшін ұшқышсыз ұшу аппаратын (ҰҰА) дамыту қарастырылады, оның көмегімен адамдар қашықтан немесе қол жетімсіз орман алқаптарында ізделеді. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының сипаттамалары мен анықтамалары, төтенше жағдайларды бақылаудағы артықшылықтары атап көрсетіліп, сипатталған. Төтенше жағдайлардың динамикасына қатысты ақпараттық олқылықтардың орнын толтыруға ықпал ететін, ұшқышсыз ұшу аппараттарын одан әрі енгізу қажеттілігіне баса назар аударылды.

Имитациялық моделі ұшқышсыз меңгерілетін ұшу аппаратының кеңістіктегі қозғалысын меңгеру 4 басқару каналдары (крен, тангаж, рыскания және биіктік) арқылы қамтамасыз етіледі. Ұшқышсыз меңгерілетін аппаратының ұшу процессін модельдеу әдісі ыңғайлы болуы үшін сызықтық моделінің матрицалық өкілдігін пайдаланатын сызықтық-квадраттық реттеуші әдісі таңдап алынды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе затрагивается тема разработки беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в интересах медицинской службы, с помощью которого осуществляется поиск людей в удаленных или труднодоступных лесных территориях. Выделяются и описываются характерные особенности и определения беспилотного летательного аппарата, преимущества при мониторинге чрезвычайных ситуаций. Сделан акцент на необходимость дальнейшего внедрения беспилотных летательных аппаратов, что существенным образом будет способствовать восполнению информационных пробелов относительно динамики развития чрезвычайных ситуаций.

Имитационная модель осуществляет управление пространственным движением беспилотного летательного аппарата по 4 каналом управления (крен, тангаж, рыскания и высота). Для удобства моделирования процесса полета БПЛА выбран метод линейно-квадратичного регулятора, в котором используется матричное представление линейной модели.

ABSTRACT

This graduate thesis touches upon the development of an unmanned aerial vehicle (UAV) in the interests of the medical service, with which people are searched in remote or inaccessible forest areas. The characteristic features and definitions of an unmanned aerial vehicle, the advantages in monitoring emergency situations are highlighted and described. Emphasis is placed on the need for the further introduction of unmanned aerial vehicles, which will significantly contribute to filling information gaps regarding the dynamics of emergency situations.

Simulation model manages spatial movement of the unmanned aerial vehicle 4 control channel (roll, pitch, yaw and altitude). For the convenience of the UAV flight process modeling method is selected linear-quadratic regulator that uses a matrix representation of the linear model.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе 9

1 Көп моторлы заманауи шқышсыз ұшу аппараттарына шолу 10

1.1 Көп моторлы типтегі заманауи ҰҰА-на жалпы түсінік, түрлері және қолдану саласы 10

1.2 Төтенше жағдай кезінде ұшқышсыз ұшу аппаратын қолдану 13

1.3 ҰҰА-ның медицинада қолданылуы 14

2 ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің математикалық моделін әзірлеу 16

2.1 ҰҰА құрылымы. Көп роторлы ҰҰА қозғалысын басқарудың жұмыс принциптері 16

2.2 Ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу режидері 18

2.3 Координаттар жүйесі және сыртқы күштердің математикалық моделі 21

2.4 ҰҰА массалар орталығы қозғалысының математикалық моделі 23

2.5 ҰҰА айналмалы қозғалысының математикалық моделі 24

2.6 ПД-реттеуіш базасында ҰҰА қозғалысын басқару заңы және ҰҰА-ның қозғалысын басқару жүйесінің схемасы 28

3 ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің имитациялық моделін әзірлеу 31

3.1 ҰҰА биіктігін өзгерту режимінің моделі 31

3.2 Крен бұрышын өзгерту режимінің моделі 33

3.3 Тангаж бұрышын өзгерту режимінің моделі 34

3.4 Рыскания бұрышын өзгерту режимінің моделі 35

3.5 ҰҰА қозғалысының теңдеулерін линеризациялау 37

Қорытынды

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

КІРІСПЕ

Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) – бұл бүкіл әлемде дамып келе жатқан және негізінен басқарылатын ұшу аппараттарынан (ҰА) пайдалану мүмкін емес немесе орынсыз жағдайларда қолдануға арналған авиациялық техниканың ерекше түрі.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) біртіндеп көптеген авиациялық фирмалардың басты өнімдеріне айналады. Тек ұшқышсыз аппараттармен және жүйелермен айналысатын ҰҰА әзірлеушілері мен өндірушілерінің көп саны пайда болады. Бұл бірқатар себептер бойынша орын алады. ҰҰА-ның өзі, әдетте, басқарылатын ұшақтар мен тікұшақтардан әлдеқайда арзан. Ұшқышсыз жүйе операторын дайындау ұшқышты дайындаудан гөрі арзанырақ. Пилоттың болмауы тіршілікті қамтамасыз етудің борттық жүйелерін болдырмауға, ҰҰА массасын және габариттерін азайтуға, сондай-ақ рұқсат етілген шамадан тыс жүктемелер мен әсер ететін факторлардың диапазонын ұлғайтуға мүмкіндік береді. Қауіпсіздік факторы да үлкен мәнге ие – ұшқышсыз аппараттардың жоғалуы ұшқыштардың жоғалуына алып келмейді.

Жұмыс істеп тұрған және әзірленетін аппараттардың диапазоны өте кең: микро және шағын ҰҰА-нан ауыр көптонды аппараттарға, сондай-ақ бірнеше ай ұзақтылығымен аса жоғары ұшуды орындауға қабілетті ҰҰА-ға дейін. Заманауи ҰҰА тағайындау тек әскери саламен шектелмейді. Оларды азаматтық қолдану саласы да (мұнай-газ өнеркәсібі, көлік, құрылыс, ауыл шаруашылығы, Байланыс және т.б. сияқты салаларда) қарқынды түрде кеңеюде, бұл ұшқышсыз авиациялық техниканы дамытуға қосымша серпін береді.

Адамдарды іздеу ТЖМ қызметкерлері шешетін маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Алыстағы, жету қиын және батпақты орман аумақтарында, сондай-ақ су айдындарында қолданылатын ұшқышсыз ұшу аппараттарының арқасында жыл сайын жүздеген адам анықталады.

Қазіргі заманғы және перспективалы технологияларды дамыту бүгінде ұшқышсыз ұшу аппараттарына бұрын оларға қол жетімсіз болған немесе басқа да күштер мен құралдар арқылы орындалған осындай функцияларды табысты орындауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, ҰҰА бақылау және барлау міндеттерін орындау кезінде өзінің жоғары тиімділігін көрсетеді. Ұшқышсыз апараттар жер үсті операторына нақты уақыт ауқымында берілген ауданда немесе берілген маршрутта жағдайдың дамуын бақылауға мүмкіндік бере отырып, "аспандағы жан-жақты көзі" болды.

1 Көп моторлы заманауи ұшқышсыз ұшу аппараттарына шолу

1.1 Көп моторлы типтегі заманауи ҰҰА-на жалпы түсінік, түрлері және қолдану саласы.

Ұшқышсыз ұшу аппараты – ұшқышсыз (экипажсыз) бортта ұшуды орындайтын және ұшуда автоматты түрде басқарылатын, жерүсті басқару станциясынан (ЖБС) оператормен немесе әр түрлі тәсілдердің үйлесімімен басқарылатын әуе кемесі. Экипажсыз ұшу аппараты бортта қозғалтқышпен жабдықталған және арнайы міндеттерді орындау үшін жеткілікті пайдалы жүктемесі мен ұшу ұзақтығы бар бекітілген немесе айналмалы қанат (ұшақ және тікұшақ үлгісіндегі ҰҰА) көмегімен көтеру күшін құрудың аэродинамикалық принципін пайдаланады.

Кесте 1.1 – Ұшқышсыз ұшу аппараттарының түрлері

	Аэростати-калық	Аэродинамикалық			Реактивті
		Икемді қанат	Бекітіл-ген қанат	Айналма-лы қанат	
Мотор-сыз	Аэростаттар	Батпыра-уықтар және аса жеңіл авиацияның моторсыз аппараттарының аналогтары (параплан-дар, дельтаплан-дар және т. б.)	Планер-лер		
Мотор-лы	Дирижабльдер	Аса жеңіл авиацияның моторлы аппараттары-ның аналогтары (парапландар, дельтапландар және т. б.)	Ұшақ түріндегі ҰҰА	Тікұшақ түріндегі ҰҰА	Ғарыштық реактивті аппараттар

2012 жылғы жағдай бойынша жалпы қабылданған ҰҰА жіктемесі жоқ. Дегенмен, ұшқышсыз ұшу аппараттары мынадай ұйымдық және техникалық белгілері бойынша жүйелендіреді:

- қолдану ауқымы бойынша – тактикалық, жедел, стратегиялық;
- керек-жарақтары бойынша – құрлық әскерлері, ӘДС, ҚМФ, басқа да күш құрылымдары (ІІМ, шекара әскерлері, ТЖМ және т. б.);
- аэродинамикалық схема бойынша – ұшақ, тікұшақ немесе гибридті (мысалы, конвертопландар) типті;

– қозғалтқыш түрі бойынша – электр қозғалтқышы, іштен жану қозғалтқышы , гибридті қозғалтқыш;
– старт тәсілі бойынша – ұшып көтерілу жолағынан (алаңшадан) іске қосылатын орнынан, қолмен, катапульттік үлгідегі);
– қону тәсілі бойынша – тігінен (тікұшақ бойынша), ұшақ тәсілімен (жүгірумен, дайындалған немесе дайындалмаған бетке немесе суға), парашютпен түсірілетін, түрлі айлабұйымдармен (торлармен және т. б.) ауланатын);
– басқару тәсілі бойынша – басқару желілері (арналары) бойынша оператор басқаратын, автоматты түрде (бағдарлама бойынша) басқарылатын , біріктірілген басқару жүйесі бар;
– қолданылатын барлау аппаратурасының түрі бойынша – спектрдің көрінетін бөлігінде фото және бейне барлау, радиолокациялық барлау, тепловизиялық барлау, радио және радиотехникалық барлау, радиациялық, химиялық және биологиялық барлау, ауа-райын барлау (метеобарлау);
– іске қосу қондырғысының орналасу түрі бойынша – жер үсті, әуе, теңіз;
– қолдану биіктігі бойынша – үлкен биіктіктерде қолданылатын, орташа биіктіктерде қолданылатын, аса ірі биіктік, аз биіктік;
– әрекет қашықтығы бойынша – өте аз қашықтық, аз қашықтық, орташа қашықтық, үлкен қашықтық;
– ұшу ұзақтығы бойынша аз, орташа және ұзақтығы үлкен.

ҰҰА-мен кешендердің жіктелуі құрамына жақын әрекет ететін , аз және орташа қашықтықтағы ҰҰА, сондай-ақ әртүрлі мақсатты аппаратурамен жабдықталған үлкен қашықтықтағы ҰҰА кіретін ұшқышсыз кешендер жүйесінің жұмыс істеуін білдіреді. Жалпы алғанда, азаматтық өнімнің міндеттері мен ерекшелігін ескере отырып, аталған сыныптама азаматтық мақсаттағы осыған ұқсас жүйені қалыптастыру барысында пайдалануға жарамды.

Тікұшақ үлгісіндегі (көп роторлы) ҰҰА-ны пайдаланудың әлемдік тәжірибесі көрсеткендей, оларды қолдану көптеген міндеттерді шеше алады.

Дистанциондық диагностика және өндірістік-экологиялық мониторинг, геофизикалық зерттеулер, геологиялық барлау міндеттерін шешу үшін ұшқышсыз құралдармен айналысатын "НефтеГазАэроТранс "ЦММС" ААҚ компаниясы өз сайтында Қазақстан үшін де өзекті болуы мүмкін ҰҰА қолдану нұсқаларын жариялады (кесте 1.2 көрсетілгендей).[6]

Кесте 1.2 – Көп моторлы пилотсыз ұшу аппаратын қолдану саласы

Тікұшақ үлгісіндегі ҰҰА қолдану саласы	Шешілетін міндеттер
	газ кемуін іздеу;

Энергетикалық инфрақұрылымның желілік объектілерінің (газ құбырларының, Мұнай және өнім құбырларының, ЭБЖ) мониторингі	мұнай мен мұнай өнімдерінің ағуын іздеу;
	газ, мұнай және өнім құбырларының ақауларын анықтау:
	энергетикалық инфрақұрылымның желілік объектілерін қорғау және пайдалану қағидаларының сақталуын бақылау:
Аэрофотүсірілім және сканерлеу жұмыстары	жергілікті жердің сандық үлгілерін жасау;
	сандық карталарды жасау;
	тау-кен қазбаларын кеңістіктік-геометриялық өлшеу, олардың параметрлерін, орналасқан жерін және жобалық құжаттамаға сәйкестігін анықтау;
	тау-кен бөліністерінің жай-күйін бақылау;
	тау-кен қазбаларының, ғимараттардың, құрылыстардың және табиғи объектілердің қауіпті аймақтарын анықтау.
Төтенше жағдайды жою немесе арнайы операция жүргізу аймағында байланысты және басқаруды қамтамасыз ету	нақты уақытта көрінетін және инфрақызыл спектрде операция ауданының бейнесін алу;
	операция ауданының жедел тактикалық картография (жергілікті жердің сандық модельдерін және карталарды жасау);
	барлық операцияға қатысушылар арасында дауыстық және сандық деректермен алмасуды қамтамасыз ету;
	жабдықтарды, керек-жарақтар мен керек-жарақтарды алыстағы топтарға жеткізу.
Қалалық және аудандық билік органдары мүддесіндегі авиациялық жұмыстар	жылу желілерінің, сумен жабдықтау және кәріз желілерінің жай-күйінің мониторингі;
	автомобиль жамылғысының жай-күйіне мониторинг жүргізу;
	жер, орман, ауыл шаруашылығы және су қорын пайдалануды есепке алу.
Экологиялық бақылау	ҚТҚ полигондарының өндірістік-экологиялық мониторингі;
	өнеркәсіптік объектілер мен инфрақұрылымның (оның ішінде газ, мұнай және өнім құбырларының) өндірістік-экологиялық мониторингі);
	жер, орман және су қорының экологиялық жай-күйінің мониторингі (оның ішінде ластануларды, рұқсат етілмеген қоқыс тастайтын жерлерді және т. б. анықтау);
	Ауа ортасының экологиялық жай-күйінің мониторингі (оның ішінде атмосферадағы ластаушы заттардың құрамын, олардың шығарылу көздерін және т.б. анықтау).
Ауыл шаруашылығы өндірушілері мүддесіндегі авиациялық жұмыстар:	ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлердің тақырыптық карталарын құру:
	топырақ жай-күйінің карталары;
	ауыл шаруашылығы дақылдарының аурулар мен зиянкестерге ұшырағыштық карталары;
	егістік және т. б. жай-күйі мен көлемдерінің карталары

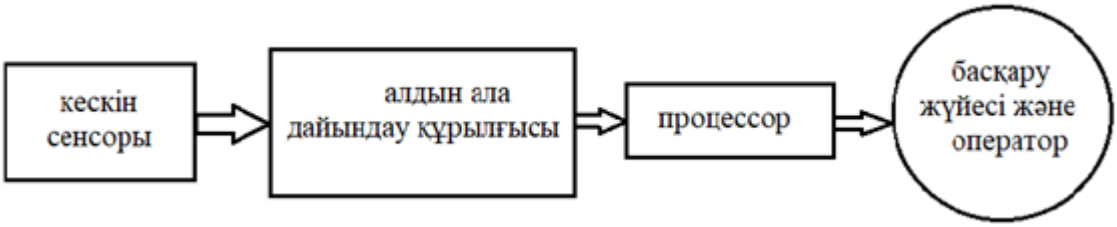
	ауыл шаруашылығы алқаптарының мониторингі;
	өрістерді химиялық өңдеу.
Геофизикалық зерттеулер және геологиялық барлау	қашықтықтан зондтаудың әртүрлі түрлерін пайдалана отырып, тақырыптық геологиялық және геофизикалық карталар жасау:
	мультиспектральды түсіру;
	радиолокация;
	магниттік түсіру;
	аэрогравиметриялық түсіру;
	геологиялық және геофизикалық экспедициялардың қашықтағы жұмыс орындарына аспаптарды, жабдықтарды, керек-жарақтар мен керек-жарақтарды жеткізу.
Құқық қорғау қызметі. Күзет пен қауіпсіздікті қамтамасыз ету	күзет аймағын бақылау;
	бұқаралық іс-шараларды өткізу орнын бақылау;
	ғимаратты, адамды немесе көлік құралын жасырын көзбен шолып бақылауды жүзеге асыру, оны алып жүру және сәйкестендіру;
	әр түрлі радиобайланысты сөндіру және қорғау көзін ұстау, оқшаулау; GPS сигналдарын өшіру

1.2 Төтенше жағдай кезінде ұшқышсыз ұшу аппаратын қолдану.

Адамдарды іздеу ТЖМ қызметкерлері шешетін маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Алыстағы, жету қиын және батпақты орман аумақтарында, сондай-ақ су айдындарында қолданылатын ұшқышсыз ұшу аппараттарының арқасында жыл сайын жүздеген адам анықталады.

Қазіргі уақытта медицина мүддесінде көптеген міндеттерді шешуге қабілетті қазіргі заманғы ҰҰА-ны дамыту саласындағы жұмыстардың қарқындылығы артады: жергілікті қарулы қақтығыс пен төтенше жағдайдың (ТЖ) жетуге қиын аймақтарда жараланғандар мен зардап шеккендерді іздеу; қол жетімділігі қиын (жеткізу үшін қауіпті) жерлерде жараланған, зардап шеккен адамдарға және медициналық құралымдарға, әртүрлі жүктерді жеткізу; медициналық қызметтің күштері мен құралдарын болжалды орналастыру орындарын барлау; апаттық аймақтың шекарасын (жаппай санитарлық шығындар орталығы) анықтау;

1.1 суретте ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшуды басқару жүйесі көрсетілген.



1.1 сурет – Ұшқышсыз ұшу аппаратының ұшуды басқару жүйесі

Табиғи төтенше жағдайларды бақылаудағы, сондай-ақ азаматтық секторда қолданудағы ҰҰА артықшылықтары:

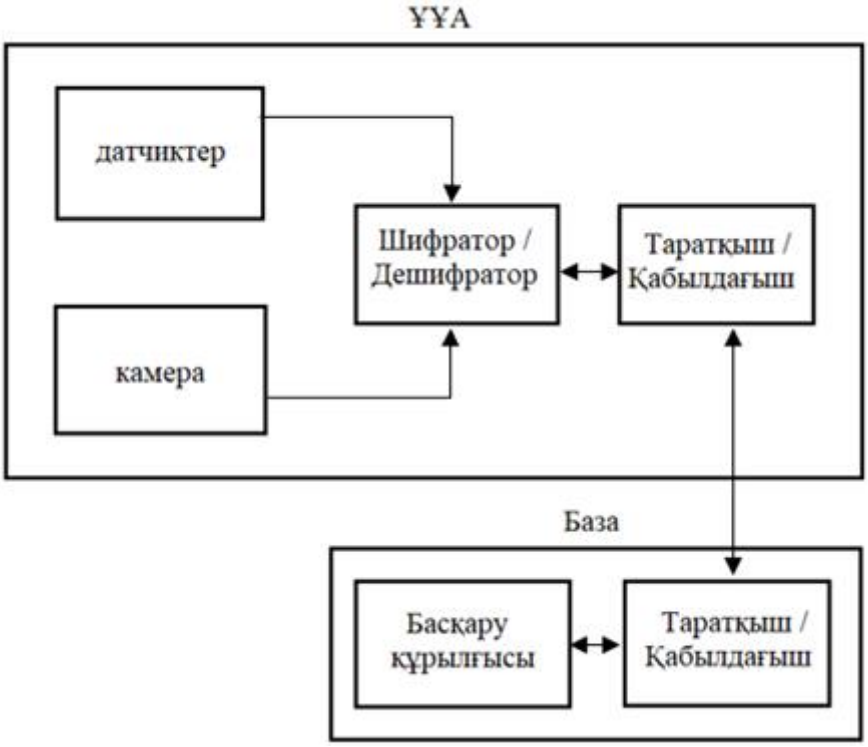
- ұшқыштың өміріне қауіптің болмауы;
- жоспарланған жұмыс орнына жеткізілген кезде ҰҰА мен жабдықтың салыстырмалы түрде аз мөлшері;
- ұшуға дайындықтың минималды уақыты – 3-20 минут;
- әуе кемесін ұшырудың жеңілдетілген жүйесі, көптеген кішігірім ҰҰА үшін ең аз мөлшердегі әртүрлі учаскелерден, қажет болған жағдайда автомобиль корпусынан ұшу мүмкіндігі;
- 10 метрден төмен биіктікте пайдалану мүмкіндігі;
- таңдалған нысанды қысқа қашықтықтан сапалы бөлшектеу мүмкіндігі;
- белгілі бір сапа деңгейі туралы ақпарат алу қажет болған жағдайда мақсатты жүктемені қысқа мерзімде ауыстыру мүмкіндігі.

1.3 ҰҰА-ның медицинада қолданылуы.

ҰҰА-ны медициналық қызметтің мүдделеріне пайдалану туралы алғашқы ақпарат 1970ж. аяғында, оптикалық әдісті қолдана отырып, әуедегі жараланған әскери қызметшілерді іздеуге тырысқан кезде пайда болды. Қазіргі жағдайда, технологияның жетілдірілуінің арқасында (жаңа композициялық материалдар, нанотехнологиялар, микропроцессорлар, күн панельдері, сыйымдылығы өте жоғары аккумуляторлар, гиро-тұрақтандырылған оптоэлектрондық жүйелер, ақпаратты қабылдау мен берудің тиімді құралдары, навигациялар, радиолокациялар және т.б.) ҰҰА мүмкіндіктері едәуір кеңейді. Сонымен, жылу түсіргіштерді, лазерлік дальномерлерді, жаңа сандық технологияларды, жаңа оптикалық құрылғыларды қолданудың арқасында жаралылар мен зардап шеккендерді қол жетімсіз жерлерден табуға мүмкіндік туды. Әрбір сарбазға датчиктерді қолданған кезде оның жағдайын бақылай алатын, орналасқан жерін көрсете алатын және адам жарақат алған немесе жарақаттаған кезде сенсор пайдаланушының зақымдануы туралы белгілі бір сигнал беретін құрылғы жасалды.

Медицинада ҰҰА қолданудың бірі – оларды медициналық қызметкерлердің мүдделері үшін көрінбейтін аймақтардағы аудио, видео сигналдарын тарату үшін қолдану. Телехирургия мен телемедицинаға

арналған роботты мобильді жүйелердің көптеген жобаларында ҰҰА-да қайталағыштың болуы қарастырылған. Жараланғандарды және жарақаттанушыларды іздеуге арналған ҰҰА-ның қазіргі жағдайын ескере отырып, олар мыналармен жабдықталуы керек: көрініс жүйелері (екі-үш каналды, кіші өлшемді, әртүрлі спектрлік диапазондарда жұмыс істейтін, көрінетін, жақын және алыс инфрақызыл спектрлік аймақтарды қамтитын).



1.2 сурет – Жүйенің тұжырымдамалық схемасы

1.2 суретте көрсетілгендей, ҰҰА камерасының (инфрақызыл камера) көмегімен нысанды анықтайды, деректерді шифраторға жібереді (деректерді оқиды) және қабылдағыш пен таратқышқа жібереді .

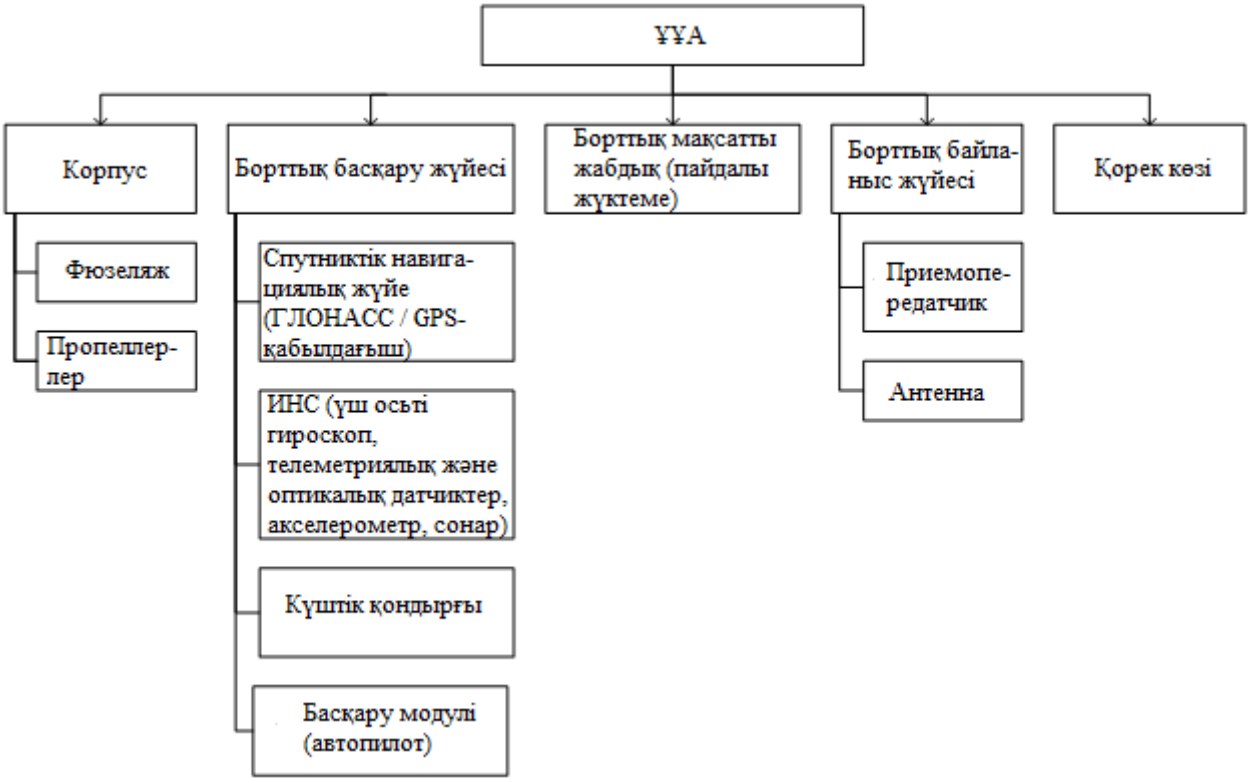
Құрамалы телетепловизионды жүйелерді қолдану неғұрлым перспективалы болып табылады; гиротұрақтандырылған құрамдастырылған жүйелермен (бейнекамера, мақсат көрсеткіші, инфрақызыл камера); командаларды қабылдау және нақты уақытта бейне ақпарат пен телеметрияны беру жүйелері, сондай-ақ автоматтандыру жүйелерімен және ГЛОНАСС (GPS) навигациялық жүйелері. Медициналық қамтамасыз ету үшін ҰҰА-ты пайдаланудың маңызды артықшылықтары (ұшудың аз биіктігінде және объектілердің әртүрлі бағыттарынан берілген аудандарды барлауды жүзеге асыру мүмкіндігі, олардың неғұрлым егжей-тегжейлі бейнесін алу; метеожағдайларға тәуелділіктің аз дәрежесі; қолданудың жеделдігі мен икемділігі – жағдайдың өзгеруіне байланысты оларды құрлықтың немесе теңіздің кез келген ауданына тасымалдауға болады; "ұшқышсыздық", бұл адам шығынын болдырмайды және т.б.) медицина мүддесінде оларды кеңінен қолдану перспективасының бар екеніне күмән тудырмайды.

2 ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің математикалық моделін әзірлеу

2.1 ҰҰА құрылымы. Көп роторлы ҰҰА қозғалысын басқарудың жұмыс принциптері

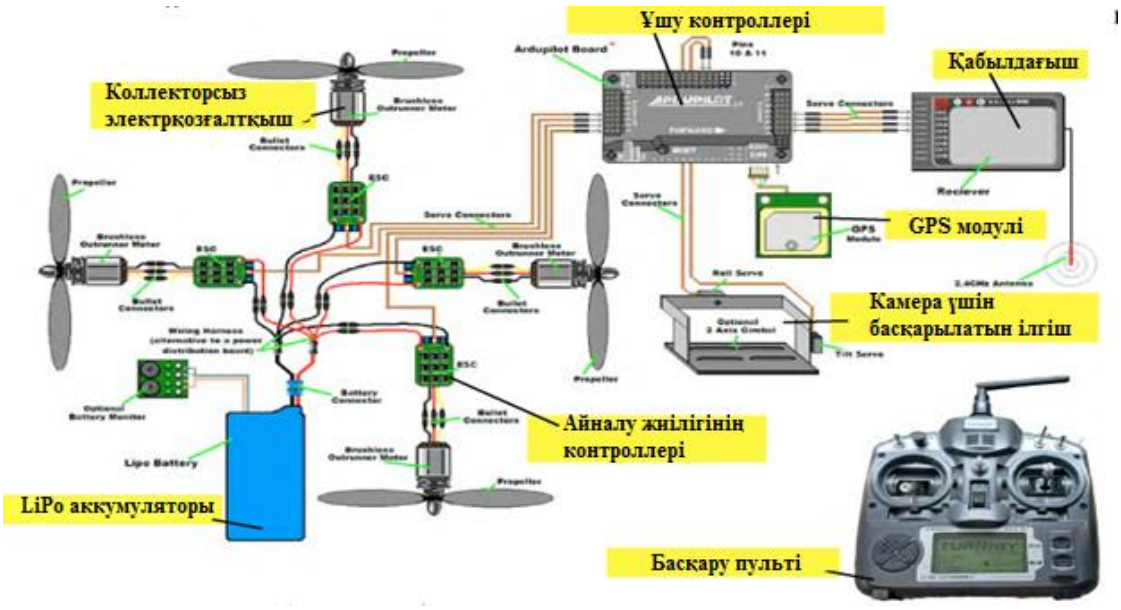
Мультироторлы ҰҰА оның аспаптық жабдықталуымен және пайдалы жүктемемен жиынтықта қарастырылуы тиіс.

Көп моторлы ҰҰА-ның негізгі компоненттері: корпус, борттық басқару жүйесі, борттық мақсатты жабдық, борттық байланыс жүйесі және қоректену көзі болып табылады. Көп роторлы ҰҰА құрылымдық сұлбасы 2.1 суретте көрсетілген.



2.1 сурет – Көп роторлы ҰҰА құрылымдық сұлбасы

Түсінікті болу үшін біз 2.2 суретте көрсетілген квадрокоптер жабдықтарының типтік құрамын қарастырамыз, ротор саны әр түрлі болатын құрылғылар үшін ұқсас.



2.2 сурет – Квадрокоптер жабдығының құрамы

Әуе винті (пропеллер) – ұшақтардың, тікұшақтардың, дирижабльдердің ұшуы және аэросандардың, глиссерлердің қозғалысы үшін қажетті ауадағы тартқыш Күшін алуға арналған, беті қатты иілген қалақтардың осіне айналатын бірнеше түрдегі құрылғы. Мультикоптердің конструкциясында сағат тілі бойынша айналудың жұмыс режимі бар және сағат тіліне қарсы айналудың жұмыс режимі бар ерекше пропеллерлер пайдаланылады. Мұндай конфигурация платформаны ашуға ұмтылатын пропеллер айналғанда пайда болатын айналмалы сәттің орнын толтыру үшін қажет. Бір жаққа және екінші жаққа айналатын екі пропеллердің болуы осы крутящий моментін өтейді. Ал қажет болған жағдайда платформаны бұру, белгілі бір бұрамалардың жылдамдығы өзгереді, бұл жүйені платформаның бұрылуын тудырып, тепе-теңдіктен шығарады. Квадрокоптерді салу үшін екі жұп қарсы бұранда, гексакоптер үшін – үш жұп және т. б. қажет.

Көп моторлы ҰҰА басқарудың борттық жүйесі навигациялық және ұшу контроллерінен, жиынтықсыз электр қозғалтқышынан және басқару модулінен (автопилоттан) тұрады. Сонымен қатар, оптикалық датчиктер мен атмосфералық қысымның датчиктері (телеметриялық датчиктер) бар.

Магнитті компас (магнитометр) – оның көмегімен аппарат бойлық осьті тұрақты бағытта ұстап тұру мүмкіндігін алады.

Кедергілерді ұшып өту, шағын биіктікті ұстап тұру және ҰҰА басқарудың борттық жүйесіне автоматты қону үшін сонар қосылуы мүмкін. Оның көмегімен биіктікті дәл ұстап тұру мүмкін болатын дыбыстық локатор сонар, барометрге балама ретінде 6 м-ге дейінгі биіктікте пайдаланылады; бұдан басқа, ол автоматты ұшу және қону кезінде қолданылады.

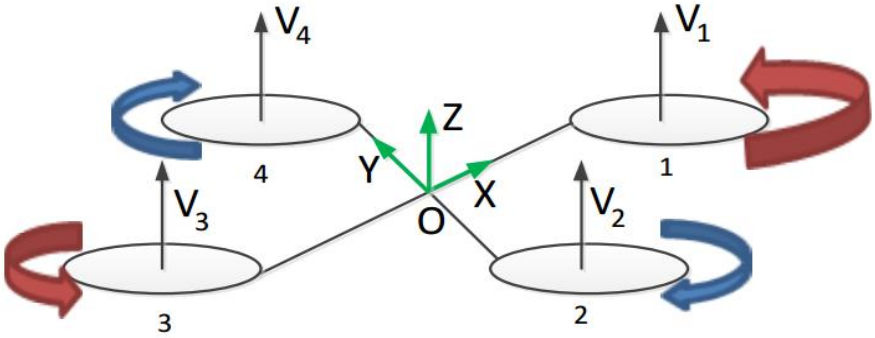
Көптеген бақылаушыларды қолданылады датчиктер қамтамасыз ететін неғұрлым нақты нәтижелері есептеулер. Жоғарыда аталған датчиктер телеметриялық датчиктер ұшу аппаратын қажетті биіктікте бекіту үшін

қолданылады. Датчиктердің күрделілігі кең шектерде түрленеді: кеңістіктегі бағдарлау үшін қарапайым гироскоптардан биіктік алуды бақылауға жауап беретін барометрлерге дейін. Кеңістіктегі аппараттың координаттарын анықтайтын GPS-қабылдағыш және соның салдарынан берілген координаттар бойынша оның позицияларын ұстап тұруды қамтамасыз ете алады, яғни бұл құрылғы сондай-ақ биіктік, жылдамдық, бағыт сияқты телеметрия үшін қосымша деректерді ұсына алады.

Мультироторлы (көп моторлы) пилотсыз ұшу аппараттарының конструкцияларында қуатты қондырғы ретінде электрқозғалтқыштар қолданылады. Олар үйкеліс түйіндерінің (щеткалардың) болмауына байланысты белгілі сипаттамаларға және өміршеңдікке ие. Жылжымалы бөлігі бар қарапайым электр қозғалтқышына қарағанда ротор және қозғалмайтын – статор, коллекторсыз қозғалтқышта жылжымалы бөлігі тұрақты магнитті статор, ал қозғалмайтын бөлігі үш фазалы орамалы ротор болып табылады. Біз қарастырып отырған мультироторлы аппараттарда радиобасқарылатын ұшақтар мен тікұшақтарды салу кезінде модельистер қолданатын сериялық шығарылатын жиынтықталмаған қозғалтқыштар қолданылады. Мультироторлы аппаратты салу үшін кем дегенде 4 электролизсіз қозғалтқыш (квадрокоптер) қажет.[10]

2.2 Ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу режидері

Квадрокоптер тек төрт режимде ұшуға болады: крен, тангаж, рыскания және тәуелділік. Квадрокоптердің қозғалысын бағалау үшін, оның ұшында орнатылған төрт бұрандалы жеңіл крест тәрізді көтергіш конструкциядан тұратын базалық модельді қарастырайық. Алдыңғы (ротор 1) және артқы (ротор 3) бұрандалар сағат тіліне қарсы айналады, ал сол (ротор 2) және оң (ротор 4) сағат тілі бойынша айналады. Қарама-қарсы бағытталған бұрылыстары бар бұл попарная конфигурация, мысалы, кәдімгі тікұшақ жағдайында артқы бұранданы пайдалану қажеттілігін жояды. 2.3 суретте квадрокоптер құрылымының эскизі көрсетілген.[12,13]



2.3 сурет – Квадрокоптердің жеңілдетілген жылдамдық схемасы

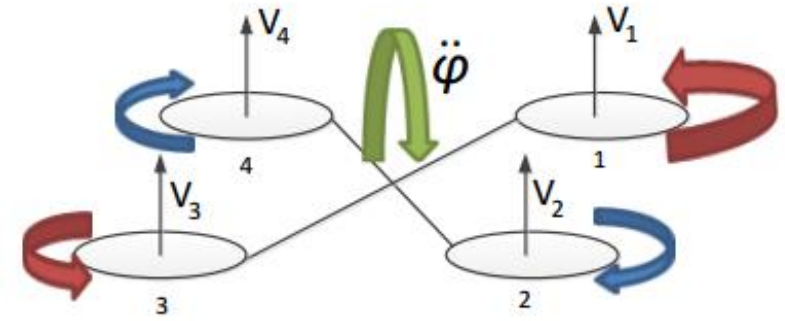
2.3 суретте берілген үлгіге сәйкес, барлық бұрандалар Ωi бірдей жылдамдықпен айналады, бұл квадрокоптер тәуелділік процесін жасаған кезде еркін құлаудың жылдамдығына кері әсерін тудырады. Осылайша, квадрокоптер стационарлық режимде болады, өйткені оны ағымдағы жағдайдан жылжыту үшін күш немесе моменттері жоқ.

Өрнектің көмегімен тәуелділік режимінің математикалық моделін ұсынамыз:

$$U_1 = \sum_{i=1}^{4} (\Omega_i + \delta_A) \cdot sign(\Omega_i) \qquad (1.1)$$

мұндағы U_1 - тәуелділік режимін белгілеу; Ω_i - і ротордың айналу жылдамдығы, с$^{-1}$; δ_A - оң қосылған шама, с$^{-1}$

Крен режимі сол немесе оң бұранда жылдамдығы ұлғайған немесе азайған кезде қамтамасыз етіледі, бұл квадрокоптерге айналуға мүмкіндік беретін OX осіне қатысты айналдыру сәтін құруға әкеледі. 2.4 суретте крен режимі көрсетілген.



2.4 сурет – Крен режимі

Крен режимінің математикалық моделі өрнек арқылы берілген:

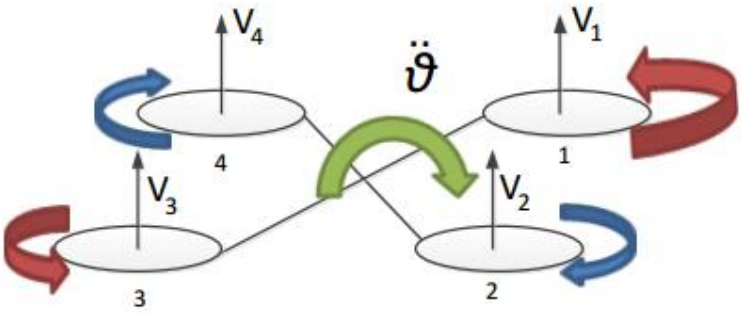
$$U_2 = \Omega_1 - (\Omega_2 + \delta_B) + \Omega_3 - (\Omega_4 + \delta_A) \qquad (1.2)$$

мұндағы U_2 - крен режимінің белгіленуі және δ_B - теріс қосылған шамасы с$^{-1}$.

Тангаж артқы бұранданың жылдамдығын ұлғайту немесе азайту кезінде немесе алдыңғы бұранданың бұрыштық жылдамдығын азайту немесе ұлғайту кезінде қамтамасыз етіледі, бұл квадрокоптерге OY осіне қатысты айналуға мүмкіндік беретін OY осі бойынша айналдыру сәтін құруға әкеледі. Бұл режим қисаю режиміне ұқсас және көлбеу бұрышының өзгеруіне әкеледі. 2.5 суретте тангаж режимі көрсетілген. Тангаж режимінің математикалық моделін теңдеу түрінде жазуға болады:

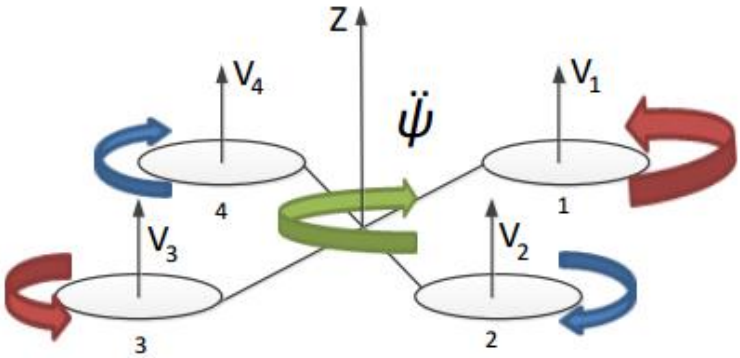
$$U_3 = (\Omega_1 - \delta_B) - \Omega_2 + (\Omega_3 + \delta_A) - \Omega_4 \qquad (1.3)$$

мұнд. U_3 - тангаж режимінің белгіленуі.



2.5 сурет – Тангаж режимі

Рыскания режимі алдыңғы және артқы бұрамалардың жылдамдығын ұлғайту (немесе азайту) кезінде немесе OZ биіктігінің осіне қатысты айналмалы сәтті құруға әкеп соғатын сол және оң бұрамалардың жылдамдығын азайту немесе ұлғайту есебінен қамтамасыз етіледі. Демек, квадрокоптер OZ осіне қатысты бұрылады. Рыскания қозғалысы сол және оң бұрамалардың сағат тілі бойынша айналуына, ал алдыңғы және артқы бұрамалардың сағат тіліне қарсы айналуына байланысты жасалады. Сондықтан, жалпы айналу сәті теңгерілмеген кезде, квадрокоптер OZ айналасында бұрылады. 2.6 суретте рыскания режимі көрсетілген.



2.6 сурет – Рыскания режимі

Режимнің математикалық моделі теңдеудің көмегімен ұсынылады:

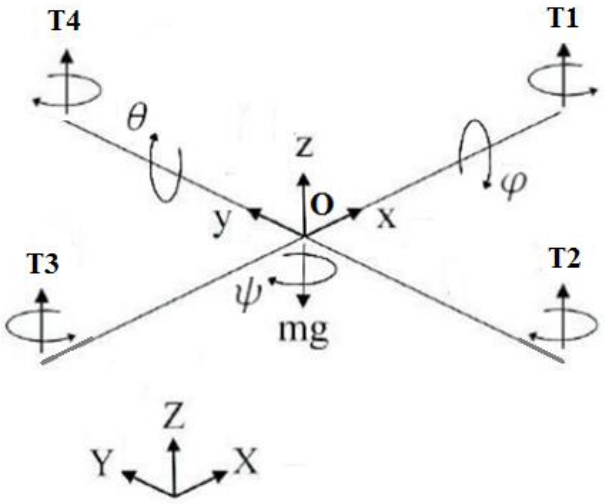
$$U_4 = (\Omega_1 - \delta_B) - (\Omega_2 + \delta_A) + (\Omega_3 - \delta_B) - (\Omega_4 + \delta_A) \qquad (1.4)$$

мұнд. U_4 - рыскания режимінің белгіленуі.

2.3 Координаттар жүйесі және сыртқы күштердің математикалық моделі

Квадрокоптердің қозғалысын екі өзара байланысты координаттар жүйесінде қарастырамыз - олардың бірі жермен байланысқан тұрақты инерциалды (бекітілген) анықтамалық жүйе {X, Y, Z}, ал екіншісі - квадрокоптердің ауырлық центріне бекітілген {x, y, z} координаттар жүйесі.[16]

ҰҰА қозғалысын екі қозғалыстың қосындысы ретінде қарастыруға болады - инерциялық координат жүйесіндегі ҰҰА массасының центрінің қозғалысы және инерциялық координат жүйесіне қатысты байланысқан ҰҰА осьтерінің қозғалысы. Квадрокоптердің координаталық осьтерінің орналасуы 2.7 суретте көрсетілген.



2.7 сурет – Координаталар жүйесі: {X, Y, Z} координаталардың инерциялық жүйесі және {x, y, z} координаталардың байланысқан жүйесі

Инерциалды координаталардың байланысқан жүйесінің бағдары Эйлер бұрыштарының көмегімен анықталады. Крен бұырышна φ OX осінің айналасындағы координаталардың жылжымалы жүйесінің бұрылуы, тангаж бұрышына θ - OY осінің айналасындағы бұрылыс, іздеу бұрышына ψ - OZ осінің айналасындағы бұрылыс сәйкес келеді.

Координаталардың инерциалды жүйесіндегі ҰҰА жағдайы жағдай $r^T = (x, y, z)$ векторымен анықталады. Координаттардың инерциялық жүйесінен байланысына көшу үш бұрылыстың көмегімен жүзеге асырылады: 1) x осінің айналасында φ бұрышына; 2) координаттардың жаңа жүйесінің y осінің айналасында θ бұрышқа; 3) координаттардың жаңа жүйесінің z осінің айналасында ψ бұрышқа.

$$R_X(\phi)=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\phi & \sin\phi\\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi\end{pmatrix}$$

$$R_y(\theta)=\begin{pmatrix}\cos\theta & 0 & -\sin\theta\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\theta & 0 & \cos\theta\end{pmatrix}$$

$$R_z(\psi)=\begin{pmatrix}\cos\psi & \sin\psi & 0\\ -\sin\psi & \cos\psi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

Тиісті ауысу матрицасы мына теңдеудің көмегімен ұсынылады:

$$R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)=R_xR_yR_z$$

$$R_{xyz}(\phi,\theta,\psi)=\begin{pmatrix}\cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\psi & -\sin\theta\\ \sin\phi\sin\theta\cos\psi-\cos\phi\sin\psi & \sin\phi\sin\theta\sin\psi+\cos\phi\cos\psi & \sin\phi\cos\theta\\ \cos\phi\sin\theta\cos\psi+\sin\phi\sin\psi & \cos\phi\sin\theta\sin\psi-\sin\phi\cos\psi & \cos\phi\cos\theta\end{pmatrix}$$

(2.1)

Желдің әсері болмаған кезде квадрокоптерге негізгі күш *G* ауырлық күші және *T* бұрандалар тартымының күші болып табылады:

$$\sum F=G+T \qquad (2.2)$$

Ауырлық квадрокоптердің массасының центріне қолданылады және келесі түрде болады:

$$G=\begin{pmatrix}0\\ 0\\ -mg\end{pmatrix} \qquad (2.3)$$

мұндағы

m – квадракоптер массасы;

$g=9{,}81$ м/с – ауырлық күшінің үдеуі.

Тартымдық күші – ҰҰА-ның барлық айналмалы бұрандаларының жиынтық күші, ол мына формула бойынша есептелуі мүмкін:

$$T = \sum_{n=1}^{4} \tau_n = \sum_{n=1}^{4} b\omega_{pn}{}^2$$

мұндағы

τ_n – n бұрандасының тартымы;

b – тарту күшінің коэффициенті;

ω_{pn} – n бұрандасының бұрылу жылдамдығы.

2.4 ҰҰА массалар орталығы қозғалысының математикалық моделі

Координаттардың инерциялық жүйесіндегі квадрокоптер массасының ортасының қозғалысын сипаттайтын теңдеулер Ньютон екінші заңының негізінде шығарылуы мүмкін:[20]

$$ma = \sum F = G + T \tag{2.5}$$

Өйткені:

$$\mathrm{a} = \frac{dV}{dt}, \tag{2.6}$$

мұндағы V - ҰҰА жылдамдығы.

Өз кезегінде:

$$\mathrm{V} = \frac{dr}{dt} = \mathrm{r} \tag{2.7}$$

мұндағы r - координаттардың инерциялық жүйесіндегі ҰҰА массалары орталығының радиус-векторы.

Координаталардың инерциялық жүйесіндегі ҰҰА массалар орталығының қозғалысы жалпы жағдайда (2.1) негізінде алынған теңдеумен сипатталады:

$$m\ddot{r} = -mg\vec{e}_z + R^T(\psi, \theta, \varphi)\vec{u}_s \tag{2.8}$$

мұндағы

$\ddot{r} = (\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z})$ – ҰҰА массалары ортасының үдеуінің векторы;

$\vec{e}_z$ – Oz осі бойымен бағытталған жеке вектор;

$\vec{u}_s$ – жүйеге әсер ететін консервативті емес күштердің сомасы (алдыңғы кедергінің Күшін және бұрандалар тартымының Күшін қоса алғанда).

Жеңілдеу үшін қарсылық күші жоқ деп саналады және тек төрт бұранданың жиынтық күші ретінде әрекет етеді:[14]

$$\vec{u}_s = u_1\vec{e}_z = \sum_{n=1}^{4} b\omega_{pn}{}^2\vec{e}_z \tag{2.9}$$

мұндағы

$$u_1 = \sum_{n=1}^{4} b\omega_{pn}{}^2$$

$\vec{e}_z$ – Oz осі бойымен бағытталған жеке вектор;

b – тарту күшінің коэффициенті;

ω_{pn} – n бұрандасының бұрылу жылдамдығы.

Сонда (2.8) теңдеуді мына түрде жазуға болады:

$$m\ddot{r} = -mg\vec{e}_z + u_1 R^T(\psi,\theta,\varphi)\vec{e}_z \tag{2.10}$$

мұндағы

$$R_{xyz}{}^T(\varphi,\theta,\psi) = \begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\varphi\sin\theta\cos\psi - \cos\varphi\sin\psi & \cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\varphi\sin\theta\sin\psi + \cos\varphi\cos\psi & \cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi \\ -\sin\theta & \sin\varphi\cos\theta & \cos\varphi\cos\theta \end{pmatrix}$$

Екінші қосылыммен (2.8) матрицалық көбейтуді орындай отырып, келесілерді аламыз:

$$\begin{aligned} & u_1\begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\varphi\sin\theta\cos\psi - \cos\varphi\sin\psi & \cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\varphi\sin\theta\sin\psi + \cos\varphi\cos\psi & \cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi \\ -\sin\theta & \sin\varphi\cos\theta & \cos\varphi\cos\theta \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \\ & = u_1\begin{pmatrix} \cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi \\ \cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi \\ \cos\varphi\cos\theta \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{2.11}$$

Сонда ҰҰА массалар орталығының қозғалыс теңдеуі келесі жай дифференциалдық теңдеулер жүйесі түрінде берілуі мүмкін:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = u_1(\cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi), \\ m\ddot{y} = u_1(\cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi), \\ m\ddot{z} = -mg + u_1\cos\varphi\cos\theta. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \ddot{x} = \dfrac{u_1}{m}(\cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi), \\ \ddot{y} = \dfrac{u_1}{m}(\cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi), \\ \ddot{z} = -g + \dfrac{u_1}{m}\cos\varphi\cos\theta. \end{cases} \tag{2.12}$$

2.5 ҰҰА айналмалы қозғалысының математикалық моделі

Квадрокоптер жерге қатысты, аудармалыдан бөлек, өзінің массалық центріне қатысты қозғалыс болып табылатын, айналмалы қозғалыс та жасайды.

Массалар орталығына қатысты ҰҰА қозғалысын зерттеу үшін берілген күш моменттерінің әсерімен ҰҰА айналмалы қозғалысының теңдеуін құру қажет. Айналмалы қозғалыс теңдеулерінде одан әрі оңайлату үшін сыртқы күш моменттерін түсіреміз.

ҰҰА айналмалы қозғалыс теңдеуі векторлық түрде Эйлер теңдеулерімен сипатталады:[18]

$$J\dot{\vec{\omega}}_k = -(\vec{\omega}_k \times J\vec{\omega}_k) + \vec{M} - \vec{M}_G \qquad (2.13)$$

мұндағы

$\vec{\omega}_k = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$ - ҰҰА бұрыштық жылдамдығы;

J – тиісті осьтерге қатысты инерция моменттерімен үшінші ретті диагональды матрицаны білдіретін Инерция матрицасы;

$\vec{M}$ – ҰҰА денесіне қолданылатын тарту күштерінің моменттерінің векторы;

$\vec{M}_G$ – ҰҰА мен айналу қозғалысының өзара әсерінен пайда болатын гироскопиялық моменттің векторы.

Тартым күштерінің моменттерінің векторын келесідей есептеуге болады:

$$\vec{M} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |T_x||r|\sin(T_x, r) \\ |T_y||r|\sin(T_y, r) \\ |T_z| \end{pmatrix} \qquad (2.14)$$

$$\begin{cases} T_x = b({\omega_{p2}}^2 - {\omega_{p4}}^2), \\ T_y = b({\omega_{p1}}^2 - {\omega_{p3}}^2), \\ T_z = d({\omega_{p1}}^2 - {\omega_{p2}}^2 + {\omega_{p3}}^2 - {\omega_{p4}}^2), \end{cases}$$

мұндағы

r – квадрокоптердің иық ұзындығы;

T_x, T_y – пропеллер тарту күші;

$T_z = \sum_{n=1}^{4} d{\omega_{pn}}^2$ – ҰҰА пропеллерлеріне әсер ететін кедергі күші.

(2.14) теңдеуіндегі T_x, T_y, T_z құрауыштардың мынандай түрде бар:

$$\begin{cases} T_x = b({\omega_{p2}}^2 - {\omega_{p4}}^2), \\ T_y = b({\omega_{p1}}^2 - {\omega_{p3}}^2), \\ T_z = d({\omega_{p1}}^2 - {\omega_{p2}}^2 + {\omega_{p3}}^2 - {\omega_{p4}}^2), \end{cases} \qquad (2.15)$$

мұндағы

b – тарту күшінің коэффициенті;

d – қарсы кедергі коэффициенті.

Яғни, квадрокоптерді қандай да бір жаққа еңкейту үшін осы жағында бұрандалардың тартымын әлсірету керек, бірақ содан кейін жалпы тартым азаяды, және бұл қарама-қарсы бұрандалардың тартымын арттыру арқылы компенсациялау керек.

Осылайша, (2.14) және (2.15) теңдеулермен бірге тарту күші моменттерінің векторы $\vec{M}$ есептеледі:

$$\vec{M} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} rb({\omega_{p2}}^2 - {\omega_{p4}}^2), \\ rb({\omega_{p1}}^2 - {\omega_{p3}}^2), \\ d({\omega_{p1}}^2 - {\omega_{p2}}^2 + {\omega_{p3}}^2 - {\omega_{p4}}^2). \end{pmatrix} \tag{2.16}$$

Төрт қозғағыштың айналуынан туындаған (2.13) теңдеудегі гироскопиялық момент келесідей модельденеді:

$$\vec{M}_G = \begin{pmatrix} M_{Gx} \\ M_{Gy} \\ M_{Gz} \end{pmatrix} = \vec{\omega} \times J_P \vec{\Omega} \tag{2.17}$$

мұндағы

J_P – бір пропеллердің инерция моменті;

$\vec{\omega} = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$ – ҰҰА бұрыштық жылдамдығы, ол өз уақытында былай болады:

$$\begin{cases} \omega_x = \dot{\varphi} - \dot{\psi}\sin\theta, \\ \omega_y = \dot{\theta}\cos\varphi + \dot{\psi}\sin\varphi\cos\theta, \\ \omega_z = -\dot{\theta}\sin\varphi + \dot{\psi}\cos\varphi\cos\theta. \end{cases}$$

$\vec{\Omega} = [0,0,\Omega_z]$ – пропеллердің бұрыштық жылдамдығы, ол келесідей өрнектеледі:

$$\Omega_z = \omega_{p1} - \omega_{p2} + \omega_{p3} - \omega_{p4}.$$

(2.17) теңдеуіне сәйкес:

$$\vec{M}_G = \begin{pmatrix} J_P \Omega_z \omega_y \\ J_P \Omega_z \omega_x \\ 0 \end{pmatrix} \tag{2.18}$$

Қозғалыс теңдеуін жеңілдету үшін функциялар арқылы БПЛ денесіне салынған бұрандалардың күші мен күш моменттерінің күшін белгілейміз u_1, u_2, u_3, u_4:

$$\begin{cases} u_1 = T = \sum_{n=1}^{4} b\omega_{pn}{}^2, \\ u_2 = M_x = rb(\omega_{p2}{}^2 - \omega_{p4}{}^2), \\ u_3 = M_y = rb(\omega_{p1}{}^2 - \omega_{p3}{}^2), \\ u_4 = M_z = d(\omega_{p1}{}^2 - \omega_{p2}{}^2 + \omega_{p3}{}^2 - \omega_{p4}{}^2). \end{cases} \tag{2.19}$$

(2.19) теңдеулерден көрініп тұрғандай, u_1 функция бұрандалардың тартым күші теңдеуін (T), ал u_2, u_3, u_4 функция - M_x, M_y, M_z тиісті осьтерге қатысты ҰҰА денеге тіркелген бұрандалардың тартым күші моменттерін сипаттайды.

Қабылданған белгілеулер мен теңдеулерді (2.13 - 2.19) ескере отырып, қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесі түріндегі ҰҰА қозғалыс теңдеулері жүйесі келесі форманы алады:

$$\begin{cases} \dot{\omega}_x = \left(\dfrac{J_y - J_z}{J_x}\right)\omega_y\omega_z + \dfrac{M_x}{J_x} - \dfrac{M_{Gx}}{J_x}, \\ \dot{\omega}_y = \left(\dfrac{J_z - J_x}{J_y}\right)\omega_x\omega_z + \dfrac{M_y}{J_y} - \dfrac{M_{Gy}}{J_y}, \\ \dot{\omega}_z = \left(\dfrac{J_x - J_y}{J_z}\right)\omega_x\omega_y + \dfrac{M_z}{J_z}. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{\omega}_x = \left(\dfrac{J_y - J_z}{J_x}\right)\omega_y\omega_z + \dfrac{1}{J_x}u_2 - \dfrac{J_P}{J_x}\Omega_z\omega_y, \\ \dot{\omega}_y = \left(\dfrac{J_z - J_x}{J_y}\right)\omega_x\omega_z + \dfrac{1}{J_y}u_3 - \dfrac{J_P}{J_y}\Omega_z\omega_x, \\ \dot{\omega}_z = \left(\dfrac{J_x - J_y}{J_z}\right)\omega_x\omega_y + \dfrac{1}{J_z}u_4. \end{cases} \tag{2.20}$$

(2.12) және (2.20) теңдеу квадрокоптердің кеңістіктегі қозғалысын толық сипаттайды, яғни:

$$\begin{cases} \dot{x} = V_x, \\ \dot{y} = V_y, \\ \dot{z} = V_z, \\ \dot{V}_x = \dfrac{u_1}{m}(\cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\varphi\sin\psi), \\ \dot{V}_y = \dfrac{u_1}{m}(\cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi), \\ \dot{V}_z = -g + \dfrac{u_1}{m}\cos\varphi\cos\theta. \end{cases} \tag{2.21}$$

$$
\begin{cases}
\dot{\varphi} = \omega_x + \omega_y \sin\varphi tg\theta + \omega_z \cos\varphi tg\theta, \\
\dot{\theta} = \omega_y \cos\varphi - \omega_z \sin\varphi, \\
\dot{\psi} = \omega_y \dfrac{\sin\varphi}{\cos\theta} + \omega_z \dfrac{\cos\varphi}{\cos\theta}, \\
\dot{\omega}_x = \left(\dfrac{J_y - J_z}{J_x}\right)\omega_y\omega_z + \dfrac{1}{J_x}u_2 - \dfrac{J_P}{J_x}\Omega_z\omega_y, \\
\dot{\omega}_y = \left(\dfrac{J_z - J_x}{J_y}\right)\omega_x\omega_z + \dfrac{1}{J_y}u_3 - \dfrac{J_P}{J_y}\Omega_z\omega_x, \\
\dot{\omega}_z = \left(\dfrac{J_x - J_y}{J_z}\right)\omega_x\omega_y + \dfrac{1}{J_z}u_4.
\end{cases}
\tag{2.22}
$$

2.6 ПД-реттеуіш базасында ҰҰА қозғалысын басқару заңы және ҰҰА-ның қозғалысын басқару жүйесінің схемасы

Қаралып отырған квадрокоптердің төрт ұшу режимі (ұшу/қону режимі, тангаж, крен және іздеу осі бойынша бұрылу) болады, оған өту берілген режимнің тиісті математикалық Заңы бойынша бір немесе бірнеше роторлардың айналу жылдамдығын өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

Алайда, осы ұшу режимдері тангаж және крен осьтерінің бойымен квадрокоптердің талап етілетін жағдайына кепілдік бермейді. Квадрокоптердің қозғалысын басқару жүйесі роторлардың айналу жылдамдығын тангаж, крен, іздеу (квадрокоптердің айналмалы қозғалысы) және биіктік (үдемелі қозғалыс) бойынша қажетті мәндерді қадағалайтындай реттейді. Осыдан тангаж бен крен осьтерінің бойымен үдемелі қозғалыс берілген режим заңының көмегімен реттелмейді. Бір басқару циклінде басқару жүйесі бір мезгілде немесе бөлек тек төрт жағдайды реттейді.

Квадрокоптердің ұшуын оңтайлы басқару үшін барлық күйлерді реттеу қажет. Бұл позициялау тұрақтылығын қамтамасыз етеді және шағын ұшу аппаратының ұшу сенімділігін жақсартады.

Жалпы түрі ПД-реттегіш базасында ҰҰА бұрыштық жағдайын басқару заңын қарастырайық:

$$
\mathrm{U} = \mathrm{K}_{\mathrm{px}}(s_d - s) + K_{dx}(\dot{s}_d - \dot{s}) \tag{2.23}
$$

мұндағы

s – реттелетін айнымалы;

s_d – реттелетін айнымалының талап етілетін мәні;

K_{px}, K_{dx} – басқару заңының кері байланыс коэффициенттері.

Сонда басқару сигналдары әрбір төрт арна үшін ҰҰА-ты басқару түрін қабылдайды:

$$\begin{cases} U_1 = \dfrac{m}{\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}\cdot\left(g-(K_{pz}(z_d-z)+K_{dz}(\dot{z}_d-\dot{z}))\right), \\ U_2 = -I_x\cdot(K_{p\varphi}(\varphi_d-\varphi)+K_{d\varphi}(\dot{\varphi}_d-\dot{\varphi})), \\ U_3 = -I_y\cdot(K_{p\theta}(\theta_d-\theta)+K_{d\theta}(\dot{\theta}_d-\dot{\theta})), \\ U_4 = -I_z\cdot(K_{p\psi}(\psi_d-\psi)+K_{d\psi}(\dot{\psi}_d-\dot{\psi})), \end{cases} \tag{2.24}$$

мұндағы

z_d, φ_d, θ_d, ψ_d - биіктік, крен, тангаж және іздеу бұрыштарының талап етілетін мәндері;

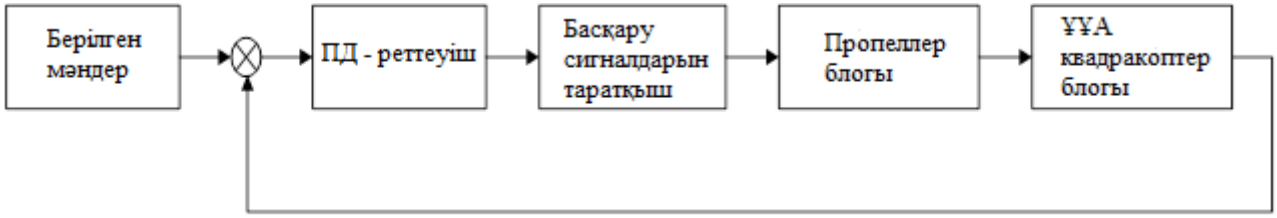
K_{pz}, K_{dz}, $K_{p\varphi}$, $K_{d\varphi}$, $K_{p\theta}$, $K_{d\theta}$, $K_{p\psi}$, $K_{d\psi}$ - басқару заңының кері байланыс коэффициенттері.

Квадрокоптер жағдайында оның қозғалуын бақылау үшін төрт пропеллер пайдаланылады, сондықтан пропеллер арасында бақылау сигналдарының таралуы өте қиын емес. Тартылыс күші U_1формада болуы керек және тартылыс күштерінің моменттері, тиісінше, U_2, U_3, U_4 формада болуы керек. (2.24) және (2.19) теңдеулерінде біз қозғалғыштардың қажетті бұрыштық жылдамдықтарын анықтауға арналған теңдеулердің негізгі жүйесін аламыз (2.25), оларда ҰҰА басқару қажетті режиміне қол жеткізіледі:

$$\begin{cases} b\cdot({\omega_{p1}}^2-{\omega_{p2}}^2+{\omega_{p3}}^2-{\omega_{p4}}^2) = \dfrac{mg}{\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}-\dfrac{mU_1}{\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}, \\ r\cdot b\cdot({\omega_{p2}}^2-{\omega_{p4}}^2) = -I_x\cdot U_2, \\ r\cdot b\cdot({\omega_{p1}}^2-{\omega_{p3}}^2) = -I_y\cdot U_3, \\ d\cdot({\omega_{p1}}^2-{\omega_{p2}}^2+{\omega_{p3}}^2-{\omega_{p4}}^2) = -I_z\cdot U_4. \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \omega_{p1} = \dfrac{mg}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}-\dfrac{2\cdot d\cdot U3\cdot Iy+b\cdot r\cdot U4\cdot Iz}{4\cdot d\cdot r\cdot b}-\dfrac{m\cdot U1}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}, \\ \omega_{p2} = \dfrac{mg}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}+\dfrac{b\cdot r\cdot U4\cdot Iz-2\cdot d\cdot U2\cdot Ix}{4\cdot d\cdot r\cdot b}-\dfrac{m\cdot U1}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}, \\ \omega_{p3} = \dfrac{mg}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}-\dfrac{-2\cdot d\cdot U3\cdot Iy+b\cdot r\cdot U4\cdot Iz}{4\cdot d\cdot r\cdot b}-\dfrac{m\cdot U1}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}, \\ \omega_{p4} = \dfrac{mg}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}+\dfrac{b\cdot r\cdot U4\cdot Iz+2\cdot d\cdot U2\cdot Ix}{4\cdot d\cdot r\cdot b}-\dfrac{m\cdot U1}{4\cdot b\cdot\cos(\varphi)\cdot\cos(\theta)}, \end{cases} \tag{2.25}$$

Басқару модулі (ПД-реттеуіш) мен пропеллер блогы кіретін квадрокоптерді басқару жүйесінің жалпы сұлбасы 2.6.1 суретте көрсетілген.



2.6.1 сурет – ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің сұлбасы

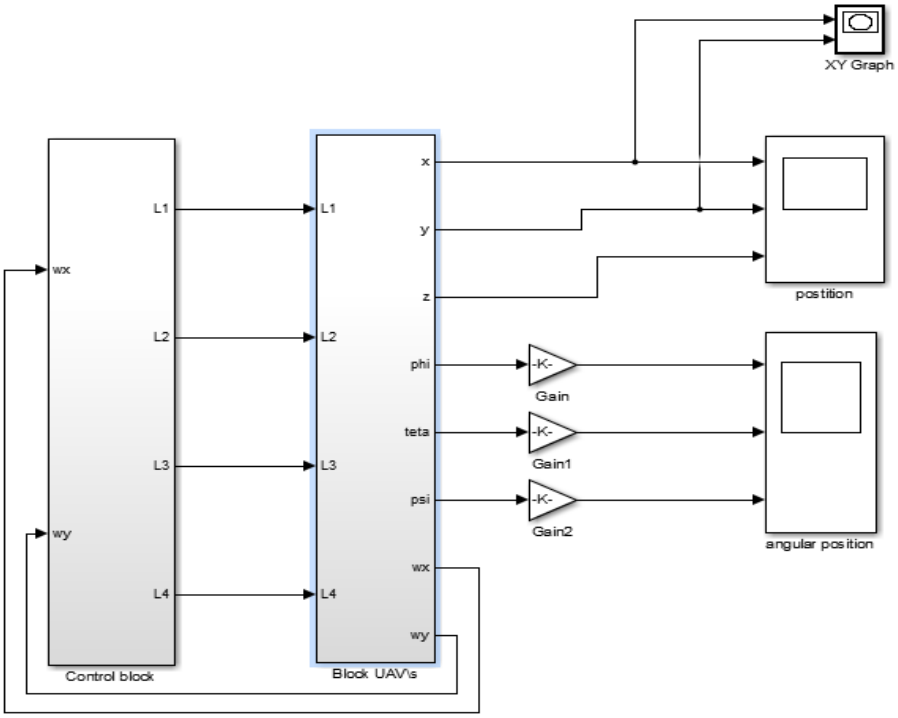
ПД-реттеуіш блогында (2.24) түріндегі бұрыштық жағдайы мен биіктігі бойынша басқару сигналын есептеу жүргізіледі, ол кіріс сигналы ретінде пропеллерлердің бұрыштық жылдамдығының талап етілетін мәндері модельделетін басқару сигналдарын тарату блогына беріледі.

Пропеллерлер блогында пропеллерлер тартымының барлық жиынтық күші және пропеллерлер жасайтын моменттер есептеледі.

ҰҰА (квадрокоптер) блогында оның динамикасын модельдеу жүргізіледі.

3. ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің имитациялық моделін әзірлеу

Динамиканың және ҰҰА (квадрокоптер) қозғалысын басқарудың математикалық моделі негізінде оның басқарылатын қозғалысының имитациялық моделі жасалған, оның жалпы түрі 3.1 суретте көрсетілген.



3.1 сурет – ҰҰА (квадрокоптер) кеңістіктік қозғалыс моделі

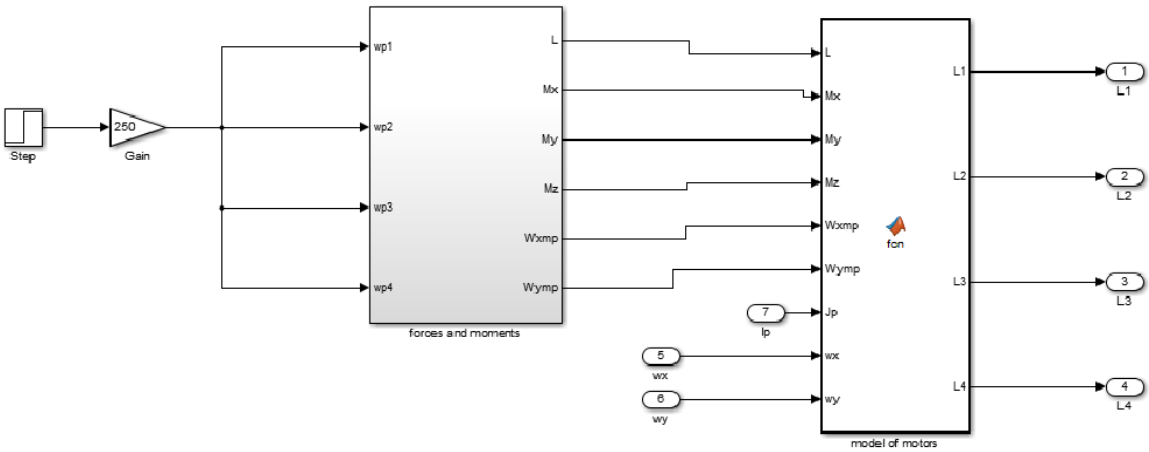
Имитациялық модель келесі блоктардан тұрады:

- басқару блогы, ол ПД-реттеуіш базасында басқару сигналдарын есептеу блогын, сигналдарды тарату блогын және пропеллер блогын қамтиды;
- ҰҰА (квадрокоптер) блогы, ол ҰҰА массаларының орталығының қозғалыс блогын және ҰҰА айналмалы қозғалыс блогын қамтиды.

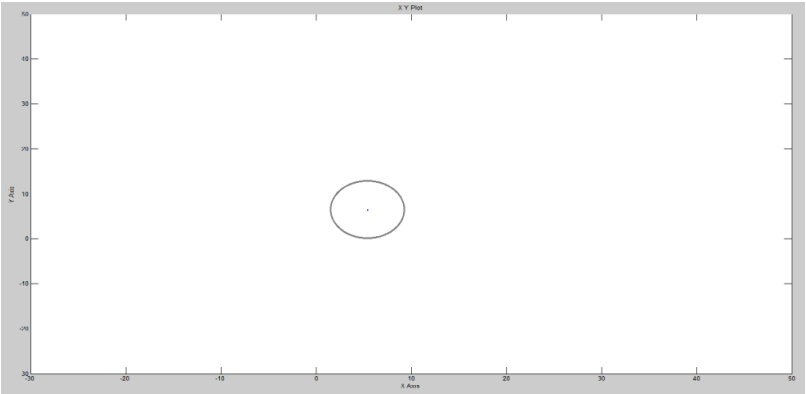
Имитациялық модельді пысықтау үшін бірінші кезекте ұшудың төрт негізгі режиміндегі пропеллерлердің тұрақты бұрыштық жылдамдығының белгілі бір арақатынасында ҰҰА динамикасын модельдеу үшін сандық эксперименттер жүргізілді.

3.1 ҰҰА биіктігін өзгерту режимінің моделі

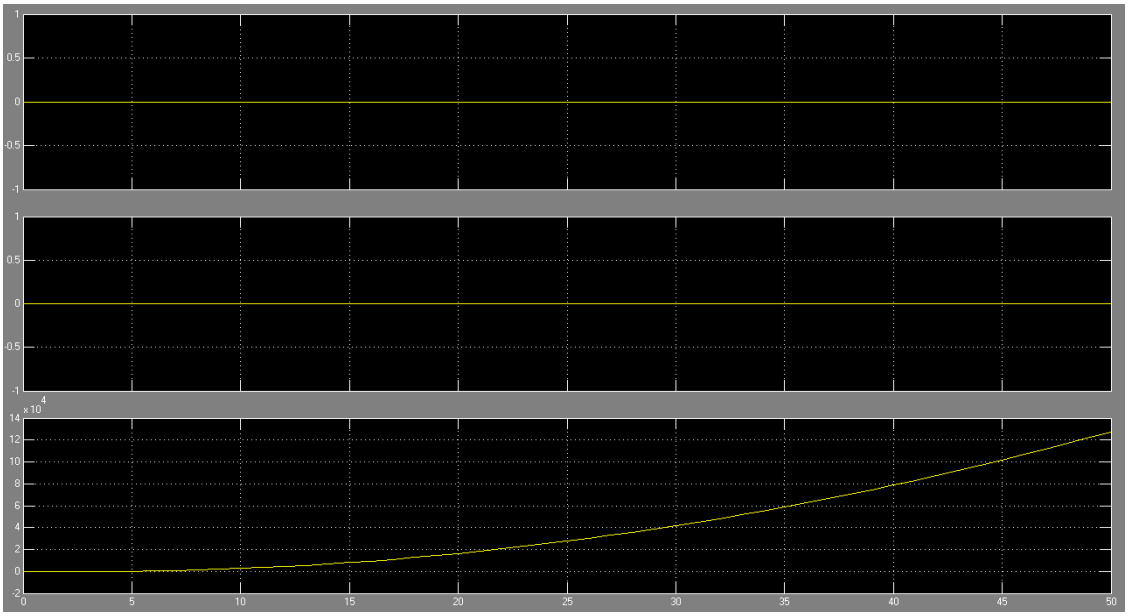
ҰҰА Бірінші режимі (u_1) ретінде біз барлық бұрандалар бірдей жылдамдықпен ω_p айналған кезде ұшу және қону режимінің OZ осі бойымен қозғалысты қарастырамыз (3.2 сурет). 3.3, 3.4 суретте ҰҰА позициясы мен бағытының өзгеру графигі көрсетілген.



3.2 сурет – ҰҰА биіктігін өзгерту режимінің моделі



3.3 сурет – XY жазықтығындағы ҰҰА орналасуын өзгерту кестесі

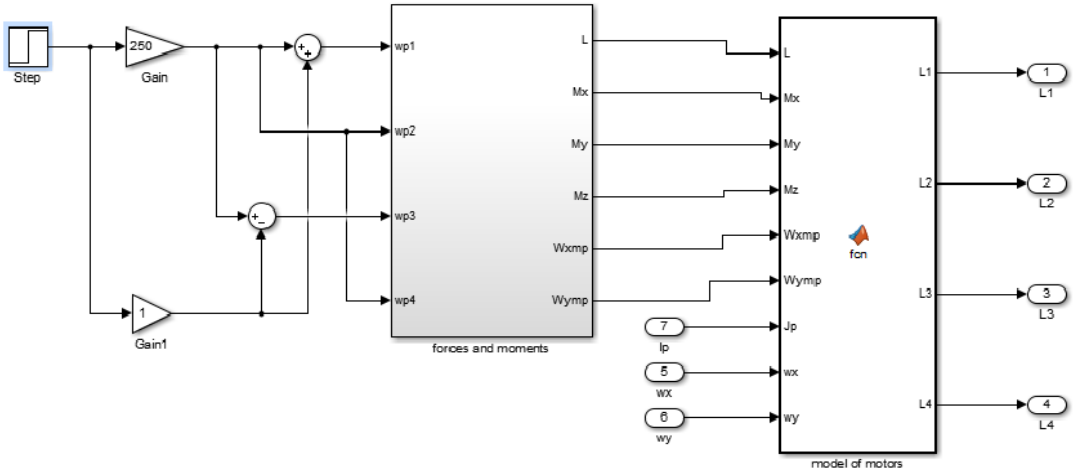


3.4 сурет – ҰҰА координаттарын өзгерту графигі

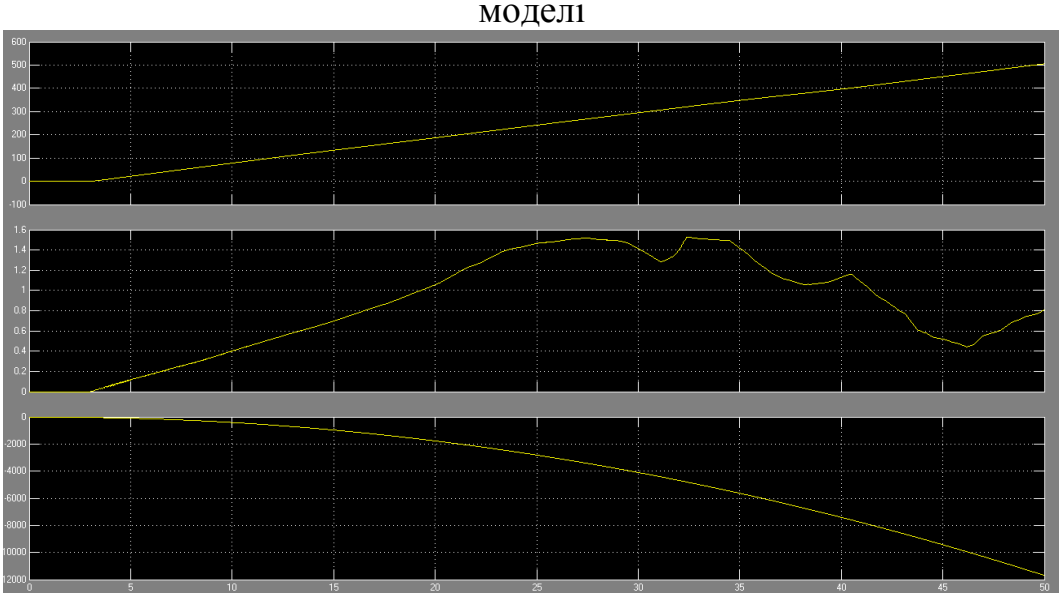
Бұл ретте алынған қозғалыс (3.4 сурет) Z БПЛА координатының өзгеруімен сипатталады.

3.2 Крен бұрышын өзгерту режимінің моделі

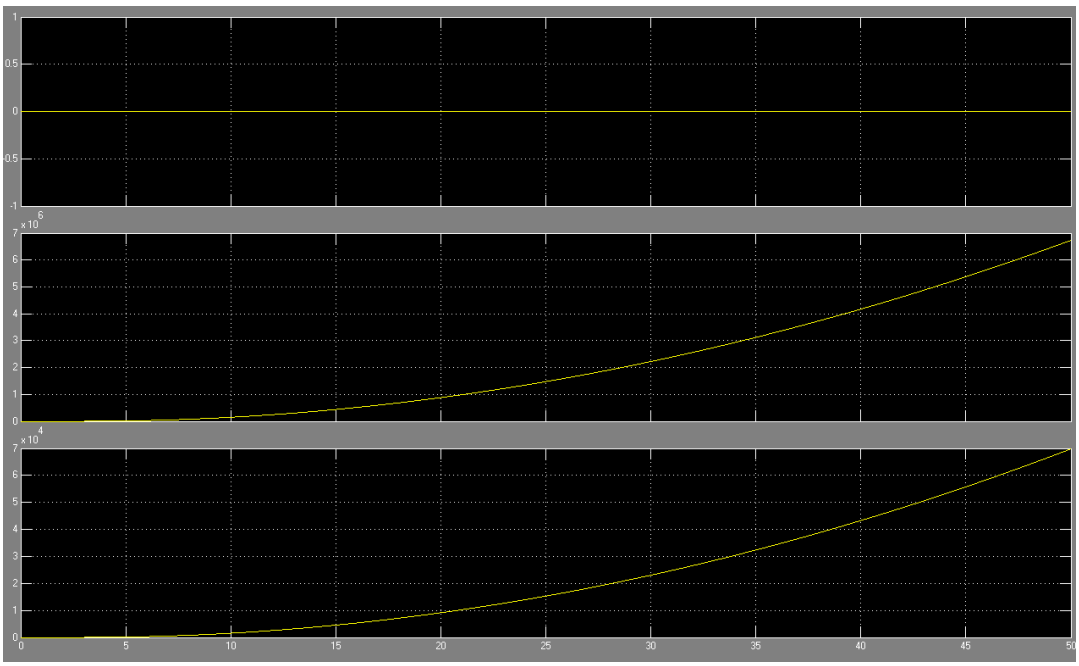
ҰҰА қозғалысының екінші режимі (u_2) ретінде OX осінің айналасында бұрылысты қарастырайық. Бұл қозғалысқа алдыңғы бұранданың бұрыштық жылдамдығы (ω_1) мәнін белгілі бір шамаға ұлғайту/азайту және артқы бұранданың бұрыштық жылдамдығы (ω_3) белгілі бір шамаға азайту/ұлғайту жолымен қол жеткізіледі (3.5 сурет). Бұл ретте алынған қозғалыс 3.6, 3.7 суретте крен бұрышының φ өзгеруімен сипатталады.



3.5 сурет – Simulink/Matlab ортасында крен бұрышын өзгерту режимінің моделі



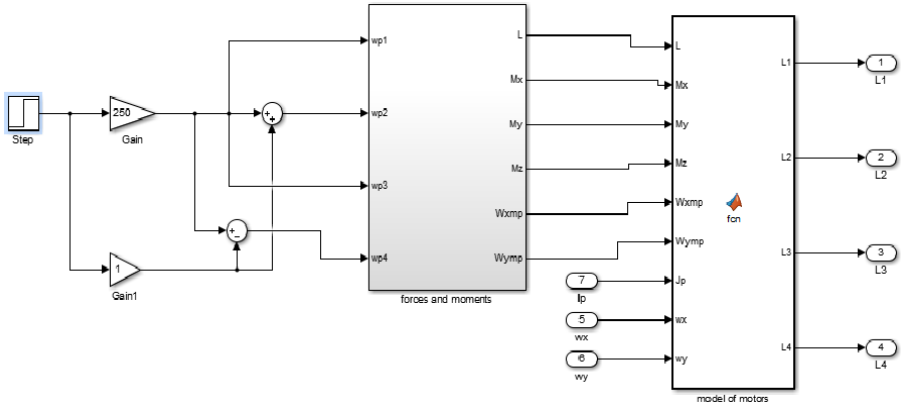
3.6 сурет – ҰҰА координаттарын өзгерту графигі



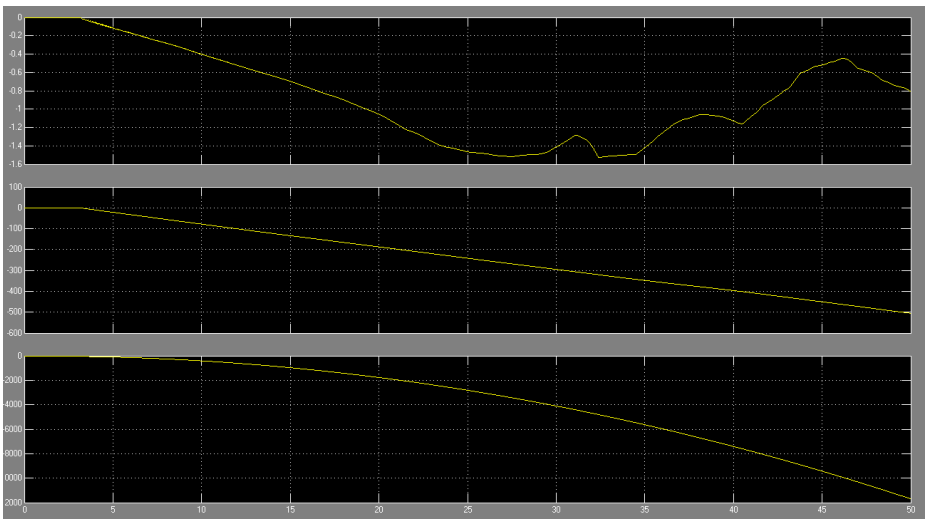
3.7 сурет – (θ, ψ) бұрыштар өзгерген кезде крен режимін (φ) өзгерту графигі

3.3 Тангаж бұрышын өзгерту режимінің моделі

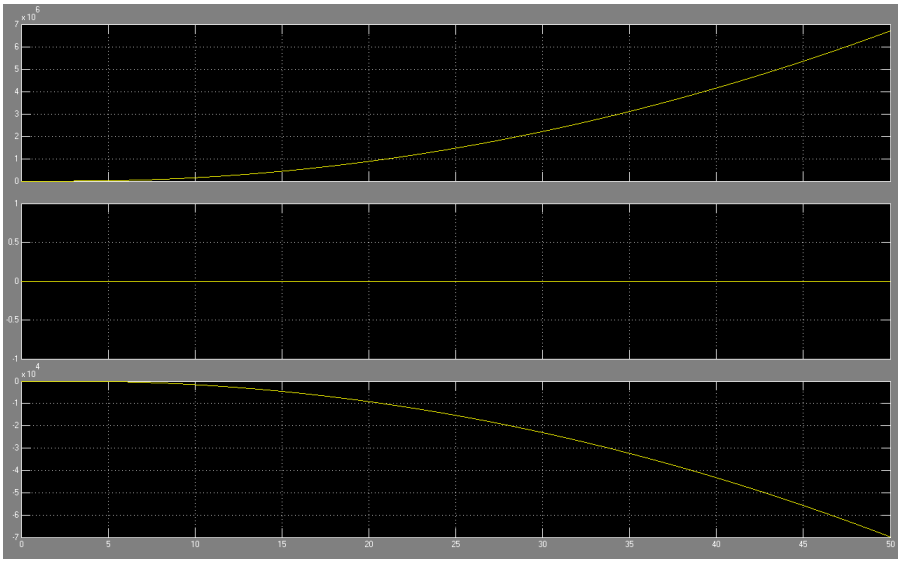
u_2 режиміне ұқсас , үшінші қозғалыс режимі (u_3) ретінде OY осінің айналасында ҰҰА бұрылысын алу қажет. Бұл қозғалысқа сол бұранданың ω_2 бұрыштық жылдамдығын азайту/ұлғайту және оң бұранданың (ω_4) бұрыштық жылдамдығын ұлғайту/азайту жолымен қол жеткізіледі (3.8 сурет). Бұл ретте алынған қозғалыс 3.9, 3.10 суретте θ тангаж бұрышының өзгеруімен сипатталады.



3.8 сурет – Simulink/Matlab ортасында тангаж бұрышын өзгерту режимінің моделі



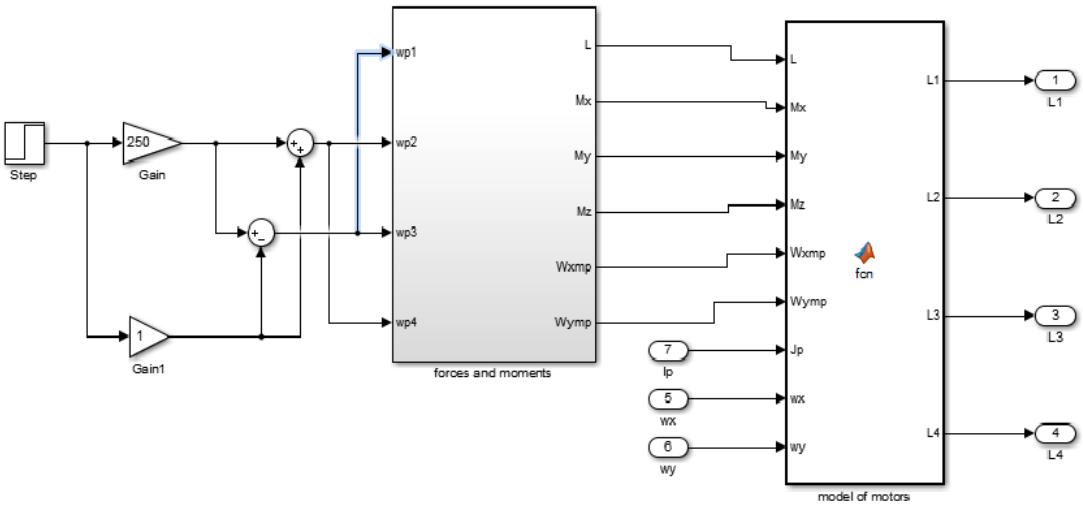
3.9 сурет – ҰҰА координаттарын өзгерту графигі



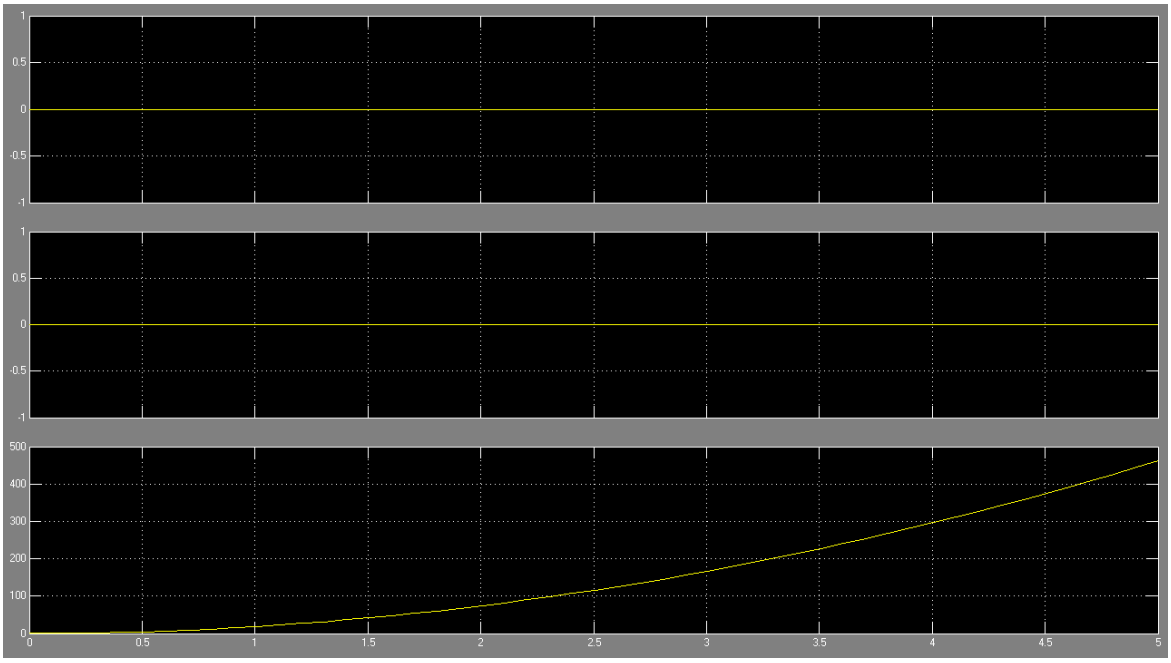
3.10 сурет – (φ, ψ) бұрыштар өзгерген кезде тангаж режимін (θ) өзгерту графигі

3.4 Рыскания бұрышын өзгерту режимінің моделі

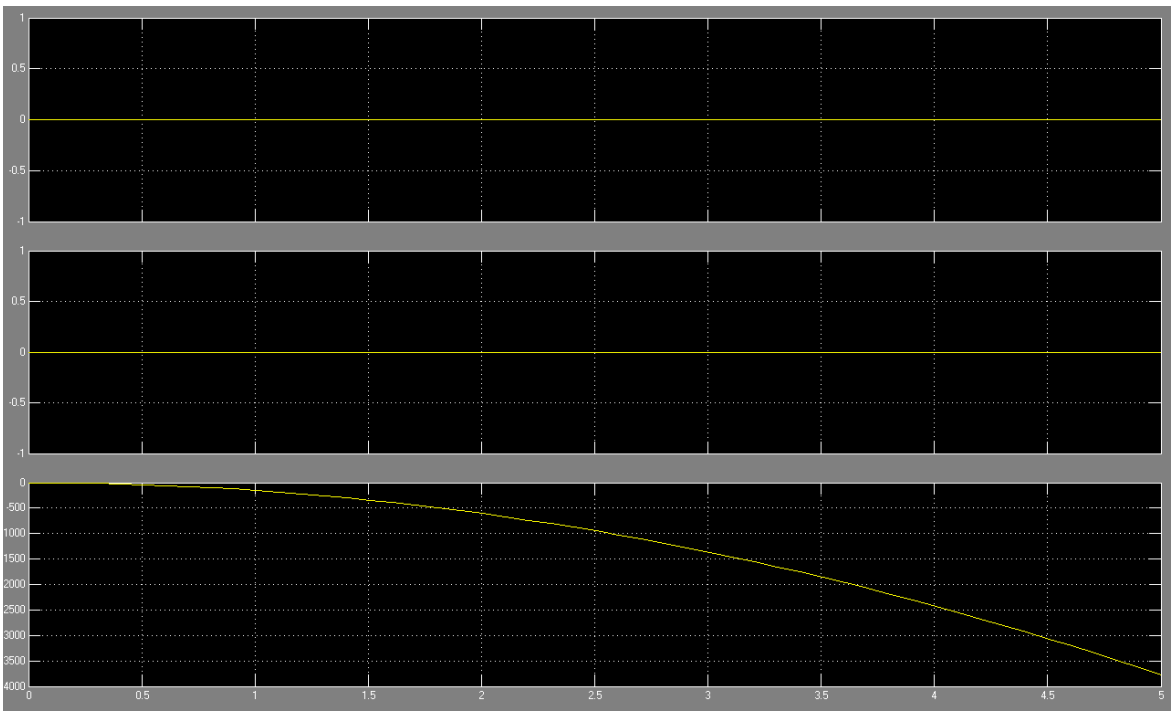
Соңғы, төртінші қозғалыс режимі ретінде КЖ тиесілі OZ осінің айналасында ҰҰА бұрылысын қарастырайық. Бұл қозғалысқа сол және оң бұрамалардың (ω_2, ω_4) бұрыштық жылдамдығын бір мезгілде ұлғайту/азайту, сондай-ақ фронталды (ω_1) және артқы (ω_3) бұрамалардың бұрыштық жылдамдығын бір мезгілде азайту/ұлғайту жолымен қол жеткізіледі (3.11 сурет). Пропеллерлердің қиғаш қарама - қарсы бағыттардағы айналуының арқасында алынған қозғалыс 3.12, 3.13 суретте ψ рыскания бұрышының өзгеруімен сипатталады.



3.11 сурет – Simulink/Matlab ортасында рыскания бұрышын өзгерту режимінің моделі



3.12 сурет – ҰҰА координаттарын өзгерту графигі



3.13 сурет – (φ, θ) бұрыштар өзгерген кезде рыскания бұрышын (ψ) өзгерту графигі

3.5 ҰҰА (квадрокоптер) қозғалысының теңдеулерін линеаризациялау

Басқару жүйесінің нақты құрылғылары әдетте сызықсыз. Бірақ белгілі бір жағдайларда оларды желілік модельдермен ауыстыруға болады, бұл басқару жүйесін зерттеуді едәуір жеңілдетеді. Сызықтық емес теңдеулерді сызықтық теңдеулермен ауыстыру операциясы линеаризация деп аталады. Динамика теңдеулерінің линеаризациясының әртүрлі тәсілдері бар. Ең көп тараған әдіс Тейлор қатарына сызықты емес функциялардың ыдырауына негізделген.

Кеңістіктегі квадрокоптердің қозғалыс теңдеулерінің линеаризациясы мына түрде жазылады:

$$
\begin{cases}
\Delta\dot{x} = \Delta V_x, \\
\Delta\dot{y} = \Delta V_y, \\
\Delta\dot{z} = \Delta V_z. \\
\Delta\dot{V}_x = \dfrac{U_1}{m} \cdot \Delta\theta + \dfrac{1}{m} \cdot \Delta U_1, \\
\Delta\dot{V}_y = \dfrac{U_1}{m} \cdot \Delta\varphi - \dfrac{\Delta U_1}{m}, \\
\Delta\dot{V}_z = -g + \dfrac{\Delta U_1}{m}. \\
\Delta\dot{\varphi} = \Delta\omega_x, \\
\Delta\dot{\theta} = \Delta\omega_y, \\
\Delta\dot{\psi} = \Delta\omega_z. \\
\Delta\dot{\omega}_x = \dfrac{1}{J_x} \cdot \Delta U_2, \\
\Delta\dot{\omega}_y = \dfrac{1}{J_y} \cdot \Delta U_3, \\
\Delta\dot{\omega}_z = \dfrac{1}{J_z} \cdot \Delta U_4.
\end{cases}
\tag{3.1}
$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Димломдық жұмыстың бірінші бөлімінде көп моторлы үлгідегі ҰҰА-на шолу беріледі, ұшқышсыз ұшу аппараттары деректерінің артықшылықтары мен кемшіліктеріне талдау, сондай-ақ оларды қызметтің түрлі салаларында қолдану мысалдары келтіріледі. Көп моторлы ҰҰА қозғалысын басқарудың жұмыс принциптері мен сондай-ақ көп моторлы ҰҰА негізгі компоненттерінің құрылымы талданды.

Екінші бөлімде ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің математикалық моделі әзірленген, оған сыртқы күштердің математикалық модельдері, масса орталығының қозғалыс моделі және ҰҰА айналмалы қозғалыс моделі кіреді, сонымен қатар ПД-реттеуіш базасында ҰҰА қозғалысын басқару схемалық түрде көрсетілген.

Үшінші бөлімде ҰҰА қозғалысын басқару жүйесінің имитациялық моделі әзірленді. 4 басқару арнасы (биіктік, крен, тангаж және рыскания) бойынша ұшуды жүзеге асыру үшін кеңістіктік қозғалыс теңдеулерінің сызықтық емес жүйесін линеаризациялау жүзеге асырылды. Модельдеу Matlab/Simulink ортасында жүргізілді. Нәтижелер координаталардың (биіктігі бойынша) және бұрыштардың (крен, тангаж және рыскания) уақытпен өзгеру графигі түрінде алынды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития. «Права человека». Москва, 2005 г. -611 стр.;
2. Красильщиков М. Н., Себрякова Г. Г. Управление и наведение БЛА на основе современных информационных технологий. – М.: Физматлит, 2003. – 280 с.
3. Беспилотные летательные аппараты. Состояние и тенденции развития – М.: Варяг 2004. – 175 с.
4. Сухачев А. Б. Беспилотные летательные аппараты. Состояние и перспективы развития. М.: МНИТИ, 2007, 60 с.
5. 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.
6. http://www.ngat.ru/
7. Yogianandh Naidoo, Riaan Stopforth and Glen Bright, “Quad-Rotor Unmanned Aerial Vehicle Helicopter Modeling & Control”, Regular Paper, 2011.
8. Моисеев В.С., Матвеев И.В. Структура и функции перспективной интеллектуальной системы навигации и управления БЛА // «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Материалы XII Международной научно-технической конференции. Т.2. – Воронеж, 2011. С. 622-631.
9. Лоскутников А. А. Системы автоматического управления БПЛА [Текст] / А. А. Лоскутников, Н. С. Сенюшкин, В. В. Парамонов // Молодой ученый. — 2011. — №9. — 56-58 стр.
10. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов; Под ред. В.С. Фетисова. Уфа: ФОТОН, 2014. – 217 с.
11. Кусаинов А.А. Разработка системы управления беспилотным летательным аппаратом по заданной траектории. Новосибирск, 2013г. – 60 стр.
12. Куршев Н.В., Кожевников Ю.В. Оптимальные задачи динамики полета. 2-е изд. доп. и перераб. Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 2010. 326 с.
13. P. Poundsetal., “Towards dynamically-favourable quad-rotor aerial robots,” in Proc. Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA’04), (Canberra, Australia), Dec. 2004.
14. В. К. Тытюк. Электромеханические и энергосберегающие системы/ Управление движением мультикоптера по критерию эффективности преобразования ресурсов, 2013, № 4 (24).
15. A. Noth, S. Bouabdallah and R. Siegwart. Dynamic Modeling of Fixed-Wing Unmanned Aerial, 2006, №2.

16. Bouabdallah, S. (2007), "Design and control of quadrotors with application to autonomous flying", École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland.
17. Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером. Инженерный Вестник. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, №8.
18. Rahul Goel, Sapan M. Shah, Nitin K. Gupta, N. Ananthkrishnan. Modeling, Simulation and Flight Testing of an Autonomous Quadrotor. Department of Aeronautics and Astronautics, MIT, USA, Whirlybird Electronics Pvt. Ltd., Mumbai.
19. Anders Friis Sørensen. Autonomous Control of a Miniature. Quadrotor Following Fast Trajectories. 2010, 98 p.
20. Yiting Wu. Development and Implementation of a Control System for a quadrotor UAV. March 2009, 89 p.