Лекция 14

14 ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ

14.1 Ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолданбалы қолдану

Ұшқышсыз ұшу аппараты (ҰҰА), бұл алдын-ала бағдарламаланған ұшу жоспарлары негізінде қашықтан немесе дербес басқарылатын ұшқышсыз ұшақ. ҰҰА көбінесе әскери мақсатта басқарылатын ұшақтар үшін өте қауіпті миссияны орындау үшін қолданылады.

Олар сонымен қатар аэрофототүсірілім және әртүрлі жүктерді тасымалдау сияқты қолданбалы тапсырмаларда қолданылады. Helicopter типті ҰҰА бекітілген қанатты ҰҰА (planner) артықшылығы бар, олар тігінен ұшып, қонып, бекітілген нүктеге көтерілуге мүмкіндік береді.

Сур. 14.1 квадрокоптер моделі (quadcopter) [17] келтірілген, бұл салмаққа, жақсарту мүмкіндігіне, қосымша модульдерді орнатуға, жүктемені көтеруге арналған қуатқа, шығындарға, орнатудың күрделілігіне, жөндеуге, ұшу уақытына байланысты алтын орта.



Сурет 14.1. Ұшу кезіндегі квадрокоптер моделі

Квадрокоптер – бұл бірдей мөлшердегі төрт роторы бар симметриялы ұшақ аппараты, қозғалтқыштардың айналу қозғалтқышының жылдамдығын реттеу арқылы қозғалады. Бірнеше роторды қолдану арқылы үлкен маневр мен жылдамдық және ауада бір орында тұру мүмкіндігі қамтамасыз етіледі. Квадрокоптердегі роторлардың әрқайсысы тарту мен айналу сәтін шығарады. Алдыңғы және артқы қозғалтқыштар сағат тіліне қарсы, ал қалған екеуі сағат тілімен

айналатындығын ескере отырып, айналу сәті нөлге жақын болады. Соңғы уақытқа дейін мултикоптердің дамуы тоқырауда болды.

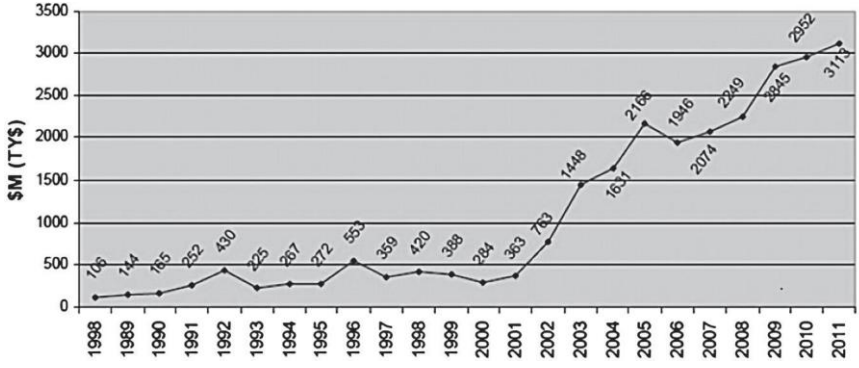
Төрт тәуелсіз роторды басқару өте қиын және қосымша есептеу қуатының көмегінсіз мүмкін емес еді. Соңғы жылдары автономды басқару құрылғыларымен жабдықталған ҰҰА-ның қарқынды дамуы байқалады.

Қазіргі уақытта ҰҰА зерттеулері мен әзірлемелері жоғары қолдауға ие, өйткені ҰҰА-ны құтқару-іздестіру, әскери, киноөндіріс, ауыл шаруашылығы және басқа да салаларда қолдануға болады. Олар «роботты ұшақ аппараты» ретінде танымал болды. ҰҰА оларды күрделі және қауіпті жағдайларда әуе бақылауы, барлау және инспек- циялау үшін пайдаланған кезде елеулі артықшылықтар береді.

Ұшқыш басқаратын ұшақтармен салыстырғанда, ҰҰА адам өміріне қауіпті жұмыстарды орындау үшін немесе зерттелетін объектілерге қол жеткізу қиын болған кезде қолайлы. Төмен тәуекелдер және оған жүктелген миссияның сәтті орындалуына деген сенім – ҰҰА пайдалануды одан әрі кеңейту үшін екі күшті дәлел.

Сонымен қатар, көптеген басқа технологиялық, экономикалық және саяси факторлар ҰҰА-ның дамуы мен пайдаланылуына ықпал етті. Қазіргі заманғы микропроцессорлар құнының төмендеуі ҰҰА үшін автономды жүйелердің дамуына серпін берді, бұл оларды коммерциялық, зерттеу, әскери және тіпті әуесқойлық мақсаттарда пайдалануға мүмкіндік берді.

Ұшқышсыз ұшақтар әлемнің әртүрлі аймақтарындағы әскери операцияларда сәтті қолданылды. Бұл факторлар қаржыландырудың ұлғаюына және көптеген өндірістік тапсырыстарға әкелді.



Сурет 14.2. АҚШ қорғаныс департаментінің ҰҰА әзірлеу саласындағы зерттеулерді қаржыландыруы

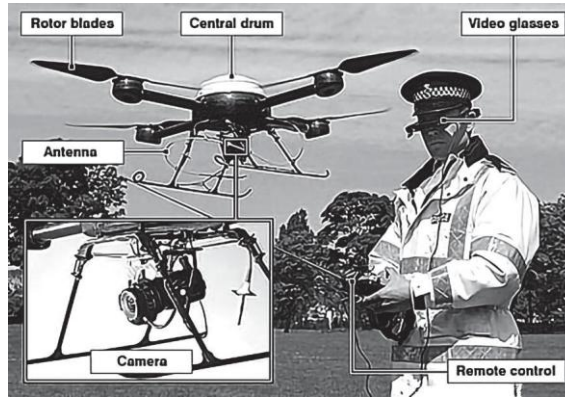
ҰҰА қауіпті және ластанған орталарда жұмыс істей алады, сондай-ақ қарапайым ұшқыш арқылы басқарылатын ұшу аппарат- тары жұмыс істей алмайтын орталарда пайдаланылуы мүмкін. Кейбір нарықтық зерттеулер әлемдік ҰҰА нарығы кеңейеді деп болжайды.

Бұл зерттеулер сонымен қатар келесі онжылдықта ҰҰА шығындары үш есе артып, шамамен 55 миллиард долларды құрайтынын көрсетті. Келесі 5-7 жыл ішінде АҚШ-тағы ҰҰА нарығы $16 млрд-қа жетеді. АҚШ-та 14.2-суретте көрсетілгендей, ҰҰА әзірлеу саласындағы зерттеулерді қаржыландыру 2001 жылдан кейін күрт өсті [18].

Осы саладағы ғылыми зерттеулер күшті серпін алды. Шынды- ғында, нарықтың көп бөлігі ұшқышсыз ұшу аппараттарын жасауға және өндіруге қатысатын ірі әскери мердігерлер болып табылады. Қазіргі уақытта ҰҰА қалалық қызметтер, әзірлеушілер және зерттеу- шілер арасында кең таралған (сурет. 14.3, 14.4) [17].



Сурет 14.3. Миниквадрокоптер



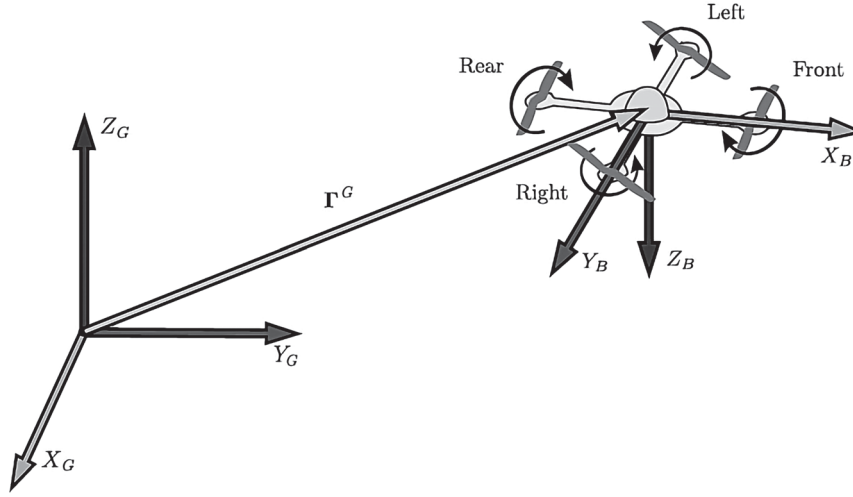
Сурет 14.4. Бақылау ұшқышы бар полиция қызметкері

Алдағы жылдары үлкен өзгерістер болуы мүмкін, өйткені көптеген зерттеушілер ҰҰА қосымшаларын жетілдіру және дамыту бойынша жұмыс істеуде. Автономды ҰҰА үшін мүмкін болатын кең қолдану аясына жетуі мүмкін.

Квадрокоптер моделі

Квадрокоптер құрылымы төрт қозғалтқыш арасындағы қатаң бекітілген байланысын ұсынады. Төрт пышақтың қозғалысы ауа ағынын төмен қарай бағыттайды, осылайша тартылыс күшін кері бағытта тудырады. Квадрокоптер моделін сипаттау үшін әдетте 2 қатынас жүйесі қолданылады: *G*-жүйе (ground) – инерциялық жүйеснің санағы жермен анықталады және *B*-жүйе (дене) – дененің (құрылғының) бекітілген жүйесі (сур. 14.5, 14.6) [17]. *G*-жүйесі (O_G, X_G, Y_G, Z_G) X_G, Y_G, Z_G арқылы солтүстікке, батысқа және жоғарыға қарай анықталады.

B-жүйе (O_B, X_B, Y_B, Z_B) X_B, Y_B, Z_B квадрокоптерден тиісінше алға, оңға және төмен бағытта анықталады. Бұл жүйенің басталуы квадро- коптер массасының орталығы болып табылады.



Сурет 14.5. Квадрокоптер жүйелері және тиісті қатынастары (G-жүйе және B-жүйе)

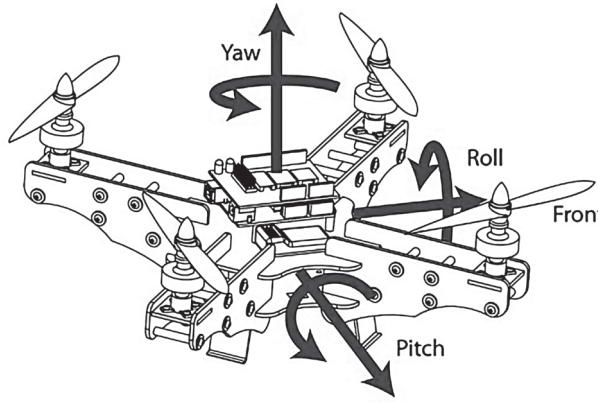
G – координаталар жүйесіндегі квадрокоптердің орналасу жүйесі, атап айтқанда сызықтық позиция мен бұрыштық позициядан тұратын

6 дәрежелі еркіндік векторы болсын: $\xi = (\Gamma^G \Theta^G) = (X, Y, Z, \phi, \theta, \psi)$, мұнда $\Gamma^G = (X, Y, Z)$ $[m]$ кәдімгі декарттық координаттар, және $\Theta^G = (\phi, \theta, \psi)$ $[rad]$ – орам осінің айналуы, тиісінше тангажа, рыскания айнала- сында X^G, Y^G and Z^G.

Екі жүйе де бір-біріне қатысты қозғалмайтын координат- тар жүйесінде болғандықтан, Γ^G трансформациясын және Эйлер бұрыштарының айналуын (Z-Y-X) формуласы бойынша анықтауға болады (14.1) [17].

$$R_\Theta = R(\psi)R(\theta)R(\phi) = \begin{bmatrix} c_\psi & -s_\psi & 0 \\ s_\psi & c_\psi & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_\theta & 0 & s_\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\theta & 0 & c_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s_\theta \\ 0 & c_\phi & c_\theta s_\phi \\ 0 & -s_\phi & c_\theta c_\theta \end{bmatrix}$$

$$R_\Theta = \begin{bmatrix} c_\phi c_\psi - c_\theta s_\phi s_\psi & -c_\psi s_\phi - c_\phi c_\theta s_\psi & s_\theta s_\psi \\ c_\theta c_\psi s_\phi + c_\phi s_\psi & c_\phi c_\theta c_\psi - s_\phi s_\psi & -c_\psi s_\theta \\ s_\phi s_\theta & c_\phi s_\theta & c_\theta \end{bmatrix}$$



Сурет 14.6. Квадрокоптердің айналу бағыты векторының моделі

Инерциялық координаттар жүйесінде квадкоптердің үдеуі тарты- лыс, ауырлық және сызықтық үйкеліс салдарынан болады. Квадрокоп- тер жақтауынан инерциялық санақ жүйесіне тарту векторын көрсету үшін R матрицасын қолдана отырып, инерциялық координаталар жүйесінде тартылыс векторын алуға болады. Осылайша, сызықтық

қозғалысты формула бойынша алуға болады (14.2)

$$m\vec{x} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} + RT_B + F_D \qquad (14.2)$$

мұнда $\vec{x}$ бұл позиция квадрокоптер, g ауырлық үдеуі болып табылады, F_D бұл қарсылықтың күші, T_B квадрокоптер рамасындағы тартылыс векторы болып табылады.

Айналу теңдеуін білдіру үшін квадрокоптер массасының сапа ортасын санақ инерция жүйесінің орталығы ретінде пайдалануға болады. Айналу теңдеуін (14.14) формула бойынша векторлық формада көрсетілген қатты денелер динамикасы үшін Эйлер теңдеуінен алуға болады)

$$I\dot{\omega} + \omega \times (I\omega) = \tau \qquad (14.14)$$

мұнда ω бұрыштық жылдамдық векторы, I бұл инерция матрицасы, τ сыртқы күштер моменттерінің векторы болып табылады. (7.14) түрінде қайта жазуға болады (14.4)

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = I^{-1}\left(\tau - \omega \times (I\omega)\right). \qquad (14.4)$$

Квадрокоптерді координаталардың басында әрқайсының соңғы нүктелі массамен (қозғалтқыштармен) қиылысатын екі жұқа біртекті өзек ретінде модельдеуге болады. Осыны ескере отырып, симметрия түрдің диагональды Инерция матрицасына (14.5) әкелетінін байқауға болады

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}$$

Осылайша, соңғы нәтижені (14.6) алуға болады

$$\dot{\omega} = \begin{bmatrix} \tau_{\phi} I_{xx}^{-1} \\ \tau_{\theta} I_{yy}^{-1} \\ \tau_{\psi} I_{zz}^{-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} \omega_y \omega_z \\ \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} \omega_x \omega_z \\ \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} \omega_x \omega_y \end{bmatrix}$$

14.2 Ұшқышсыз ұшу аппаратының құрылымы

Кез-келген ҰҰА жүйесі минималды жабдықтар мен компоненттердің болуын болжайды, атап айтқанда: ұшу контроллері, радио жабдықтары, электр қондырғысы, қуат көзі және корпус (сурет 14.7, 14.8, 14.9) [17]. Атап айтқанда, бұл ҰҰА прототипін құру үшін минималды талаптар, бірақ ұшу сипаттамаларын жақсарту және құрылғының функционалдығын кеңейту үшін кейбір компоненттерді қосуға болады.

- **Қуатты қондырғы** – квадрокоптердің қуат қондырғысы төрт қозғалтқыштан және пышақтардан және әр қозғалтқыштың жылдамдығын басқаратын төрт жылдамдық реттегішінен тұрады.
- **Радио аппаратура** – бұл ҰҰА қашықтан басқаруға мүмкіндік беретін бірқатар құрылғылар. Атап айтқанда, квадрокоптерді басқару үшін белгілі бір жиілікте төрт арналы пульт болуы керек.
- **Ұшу контроллері:** квадрокоптердің жұмысын қамтамасыз ететін негізгі басқару тақтасы. Микроконтроллер басқару тақтасының «миы» ретінде қолданылады, көбінесе төмен қуатты Atmega1428 немесе қазіргі заманғы Atmega2560 немесе ARM контроллері. Басқару тақтасы келесі функцияларды орындауға мүмкіндік береді:
  - Аппаратты ауада тұрақтандыру.
  - Биіктікті (барометр көмегімен) және позицияны (GPS көмегімен) ұстау.
  - Алдын ала берілген нүктелер бойынша автоматты ұшу (опциялық).

- Модем немесе Bluetooth арқылы ағымдағы ұшу параметрлерін жерге жіберу (опциялық).
- Ұшу қауіпсіздігін қамтамасыз ету (сигнал жоғалған кезде ұшу нүктесіне оралу, автосадка).
- Қосымша перифериняны қосу: OSD, жарық диодты индикатор және т.б.

Функциялардың саны квадрокоптердің бортында тиісті перифериняның болуына байланысты. Арзан контроллерлерде бірқатар мүмкіндіктер болмауы мүмкін

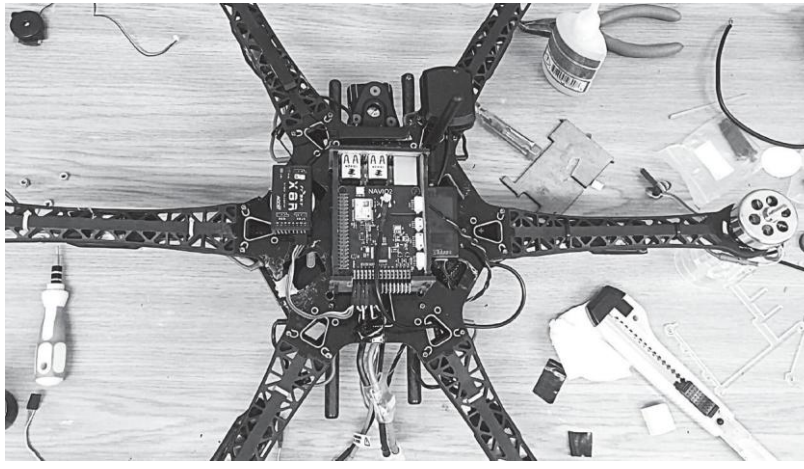
- **Қуат көзі** – бұл құрылғыны белгілі бір уақытқа ауада ұстау үшін жеткілікті қуатты және мықты батарея. Атап айтқанда, химиялық элементті және батареяның түрін таңдау дрондарды құрудағы басты мәселе болып табылады, өйткені бірнеше факторларды ескеру қажет, барлығы түпкі мақсатқа байланысты. Сондай-ақ, дрон қандай мәселелерді шешуге арналған.
- **Корпус** – бүкіл жүйе орналасқан жақтау. Әр тапсырма үшін дронның дұрыс өлшемдері мен пішіндерін таңдау өте маңызды.



Сурет 14.7. Квадрокоптерді басқару жүйесінің құрылымы мен схемасы



Сурет 14.8. Квадрокоптер компоненттері



Сурет 14.9. Гексакоптер компоненттері

Қуатты қондырғы

Кез-келген дронның қуат қондырғысы қозғалтқыштардан, электронды басқару реттегішінен және пропеллерлерден тұрады. Қозғалтқыштарды таңдағанда, жалпы ереже – барлық қозғалтқыштар ұшақтың салмағынан екі есе көп тартуды қамтамасыз етуі керек. Егер қозғалтқыштармен қамтамасыз етілген тарту тым аз болса, дрон сигналдарға жақсы жауап бермейді.

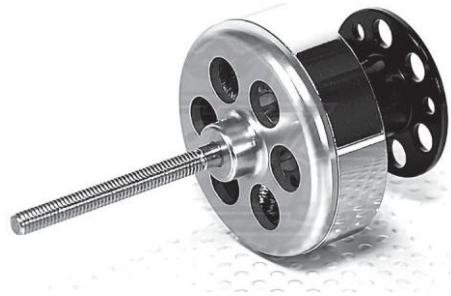
Сондай-ақ, егер тарту тым үлкен болса, дрон тым тез және тұрақты болмауы мүмкін, оны басқару қиын, сонымен қатар энергияны тез жұмсайды. Әдетте қозғалтқышпен бірге келетін сипаттаманы сатушы немесе өндіруші ұсынады. Қуат, тарту, минутына айналу және т.б. туралы ақпаратты табу қажет. Қозғалтқышты таңдау үшін алдымен дронда қанша салмақ көтеру жоспарланғанын білу керек, содан кейін дронды көтеру үшін қажетті тартқышты жасау керек.

14.10 және 14.11 суреттерінде DT750 hexTronik 750KV үш фазалы кол- лекторсыз қозғалтқыш көрсетілген [17].

Kv(rpm/v)	750
Weight (g)	78
Max Current(A)	18
Resistance(mh)	0
Max Voltage(V)	11
Power(W)	0
Shaft A (mm)	4
Length B (mm)	37
Diameter C (mm)	40
Can Length (mm)	10
Total Length E (mm)	77

Spec.
Required Voltage: 11.1v
Suggested Battery Capacity: 1300mAh +
Suggested Prop: 11x3.8 or 11x4.7
Max current draw: 18A (with 11x4.7 prop)
Max thrust: 1000g+
No Load Current: 1.4A
Shaft: 4M (perfectly suited to Towerpor/GWS SF Slow Fly props)
Weight: 78g
Diameter: 41mm
Overall length: 77mm
Kv: 750rpm/v
Comes with mount as shown in Image

Сурет 14.10. Қозғалтқыштың техникалық сипаттамасы



Сурет 14.11. DT 750 қозғалтқышы

Қозғалтқыш кернеуі 14.8 вольтқа тең батареяны қосқан кезде 1120 грамм максималды қуат бере алады, яғни 6 қозғалтқыш жалпы 6720 грамм немесе 6.7 кг жүктеме бере алады. Егер толық гексакоптердің салмағы 2980 грамм болса, онда бұл қосымша жабдық пен ұшу уақыты үшін тағы 14740 грамм береді. Гексакоптер 6 пропеллерді қолданады: сағат тілімен 14 және сағат тіліне қарсы 14 [17].



Сурет 14.12. Пропеллерлер

Жүрістің электрондық реттеуіші (ағыл. ESC, Electronic Speed Controller) – электр қуатты қондырғысы бар радио басқарылатын модельдерде қолданылатын электр қозғалтқышының айналымын басқаруға арналған құрылғы. Электрондық реттегіш қадамы электр қозғалтқышына берілетін электр қуатын біртіндеп өзгертуге мүмкін- дік береді. Қарапайым резистивті қуат реттегіш қадамдарынан айыр- машылығы, электронды қуат реттегіші батареяның қуатын пайдасыз жылытуға жұмсамайды, айтарлықтай жоғары тиімділікке ие.



Сурет 14.114. Жүрістің электрондық реттегіші

Электрондық қадам реттегіштері (сурет. 14.114) [17] бірінші кезекте олар басқаруға арналған электр қозғалтқышының түріне қарай жіктеледі:

- Коллекторлық электр қозғалтқыштары үшін.
- Коллектрсіз, датчиксіз, электр қозғалтқышы үшін.
- Холл датчиктері бар коллекторсыз электр қозғалтқыштары үшін.

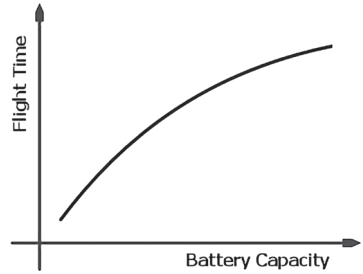
Сондай-ақ, модельдер түріне байланысты:

- Ұшақ модельдері мен мотопланерлер үшін.
- Автомодельдер үшін.
- Кеме модельдеріне арналған.
- Тікұшақ модельдері үшін.

Барлық реттегіштер максималды жұмыс тогына, батарея кернеуіне және әртүрлі типтегі аккумуляторлармен жұмыс істеуге байланысты әр түрлі болады. Коллекторсыз электр қозғалтқыштары үшін реттегіш барысында коллекторлық қозғалтқыштар үшін реттегіштер барысын түбегейлі ерекшеленеді: электр қозғалтқышына жеткізілетін қуатты басқарудан басқа, олар электр қозғалтқышының жұмыс істеуі үшін қажет үш қуат кернеуінің фазаларын дәл анықтау үшін әр уақытта ротордың орнын анықтауы керек. Бұл реттегіштер, әдетте, бірдей электр қуатындағы коллекторлық қозғалтқыштар үшін реттегіштер барысына қарағанда қымбат

Батарея

Дрон үшін дұрыс батареяны қалай таңдауға болады? Үлкен батареялар ұшу уақытын арттырады. Алайда, ұшу уақытының ұлғаюы бата- рея көлемінің ұлғаюына пропорционалды емес.



Сурет 14.14. Батарея сыйымдылығынан ұшу уақытының кестесі

14.14-суретте батарея ұлғайған сайын ұшу уақытының ұлғаюы тиімсіз болатындығы көрсетілген [17]. Ақыр соңында, ол үлкен батаре-

ямен көбірек ұша алмайтын нүктеге жетеді. Бұл негізінен батареяның салмағына байланысты. Батареяның тиісті салмағын және оның мәнін таңдауға болатын әдістер бар (сур.14.15) [17].

	A	B	C	D	E
1	Turnigy Nano 3S Battery (25C - 50C)				
2	Capacity (mah)	Weight (g)	Cap VS Weight	Price ($)	Cap VS Price
3	1600	181	8.84	15.39	103.96
4	1800	207	8.70	17.25	104.35
5	2200	239	9.21	21.13	104.12
6	2650	275	9.64	30.25	87.60
7	3000	299	10.03	37.36	80.30
8	3300	337	9.79	40.97	80.55
9	4000	433	9.24	38.31	104.41
10	4500	467	9.64	46.27	97.26
11	5000	523	9.56	56.33	88.76
12	6000	623	9.63	68.78	87.23

Сурет 14.15. Батареялардың бірнеше түрі

Осы модельді қолдана отырып, кез-келген батареяның ұшу уақытын есептеуге болады. Әрине, бұл шамамен есептелген есептеу, бірақ ол қай батареялардың қайсысы жақсы екендігі туралы жалпы түсінік береді.

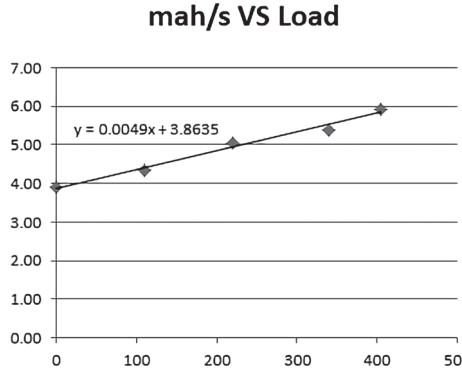
Ең алдымен, деректерді жинау керек. Негізгі мәліметтер, бұл әртүрлі жүктемелер кезінде ұшу уақыты. Сондай-ақ, дрондардың мак- сималды жүктемесі қандай екенін анықтау үшін басқа да мәліметтерді жинауға болады, мысалы, дроссель дрондардың дің әртүрлі нүкте- леріндегі кернеулер (қозғалтқыш жылдамдығы), ток және т.б.

Мысал келтірейік – эталон ретінде 2200mAh 14S Lipo батареясы қолданылды және әртүрлі жүктеме салмағы кезінде ұшу уақыты сыналды (0 г 110 г, 220 г, 1440 г, 405 г, 515 г). 6 сынақ ұшуынан жиналған деректер 14.16-суретте келтірілген [17].

2	Standard Setup with all equipments and same 2200mah Battery						
3	Total Initial weight: 1193 + 239						
4	Round	Load (g)	Time	Time (s)	Actual Capacity Used (mah)	Hover Throttle	mah / second
5	1	0	08:14	494	1922	63	3.89
6	2	110	07:18	438	1900	68	4.34
7	3	220	06:13	373	1878	70	5.03
8	4	340	05:55	355	1908	73	5.37
9	5	405	05:20	320	1900	79	5.94
10	6	515	N/A	N/A	N/A	85+	N/A

Сурет 14.16. Ағымдағы тұтыну

14.17-суретте ағымдағы тұтынудың граммдағы жүктемеге секундпен тәуелділігінің графигі келтірілген [17].



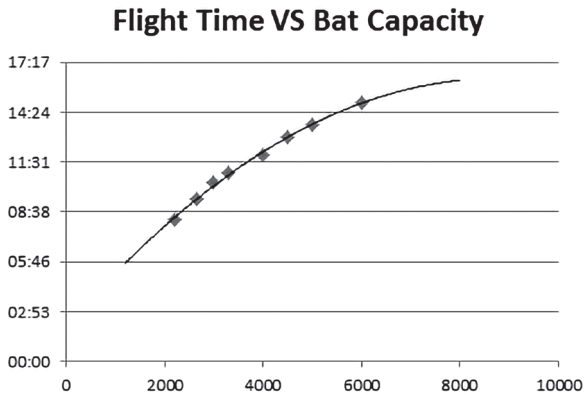
Сурет 14.17. Ағымдағы тұтынудың жүктемеге секундпен грамммен тәуелділік графигі

Бұл функция сызықтық болмауы керек екені түсінікті, бірақ батареяның күші осы диапазонда төмендейді, сондықтан сіз жалпы көрініс алу үшін қатені елемеуге болады

Capacity	Cap at 3.5V (86%)	Bat Weight	Extra Load	mah/s	Est. Flight Time	in Minute
2200	1892	239	0	3.86	489.71	08:10
2650	2279	275	36	4.04	564.12	09:24
3000	2580	299	60	4.16	620.57	10:21
3300	2838	337	98	4.34	653.36	10:53
4000	3440	433	194	4.81	714.57	11:55
4500	3870	467	228	4.98	777.00	12:57
5000	4300	523	284	5.26	818.25	13:38
6000	5160	623	384	5.75	898.16	14:58

Сурет 14.18. Салмағы бойынша әртүрлі қуаттар үшін шамамен ұшу уақыты

Ұшудың есептік уақыты шамамен тең тиімді (барлық көлемнің 86%) батарея көлемі mAh/c бөлінген. Мысалы, 6000 mAh батарея үшін, тиімді сыйымдылығы 5160 mAh, және электр тұтыну жылдамдығы 5.75 mAh/c, сондықтан ұшу уақыты 898.16 секунд, шамамен 15 минут болады (сурет.14.18) [17]. 14.19-суретте эксперимент кезінде алынған батареяның көлеміне ұшу уақытының тәуелділігі көрсетілген [17].



Сур. 14.19. Ұшу уақытының батарея көлеміне тәуелділік графигі