Дәріс №10. Тақырыбы: Ракеталық аппараттардың аэродинамикасы. Зымыран формасының аэродинамикалық сипаттамалары.

Дәрістің мақсаты: ракеталық аппараттардың атмосферадағы қозғалысының аэродинамикалық негіздерін түсіндіру және зымыран формасының оның аэродинамикалық сипаттамаларына әсерін көрсету. Студенттерге зымыранға әсер ететін аэродинамикалық күштер мен моменттерді, кедергі түрлерін, аэродинамикалық тұрақтылықты, Мах санын және негізгі аэродинамикалық коэффициенттерді анықтау принциптерін меңгерту.
Дәріс жоспары:

1. Кіріспе. Ракеталық аппараттар аэродинамикасының негізгі ұғымдары.
2. Зымыранға әсер ететін аэродинамикалық күштер.
3. Динамикалық қысым және аэродинамикалық күштердің негізгі теңдеулері.
4. Зымыранның сыртқы формасы және оның аэродинамикалық қасиеттері.
5. Аэродинамикалық кедергі түрлері.
6. Шабуыл бұрышы және оның аэродинамикалық күштерге әсері.
7. Ракеталық аппараттардың аэродинамикалық тұрақтылығы.
8. Мах саны және зымыранның ұшу режимдері.
9. Зымыранның негізгі аэродинамикалық коэффициенттері.
10. Аэродинамикалық сипаттамаларды анықтау әдістері.
11. Ұшу барысында аэродинамикалық сипаттамалардың өзгеруі.
12. Қорытынды.

Кіріспе

Ракеталық аппараттардың аэродинамикасы — зымыранның атмосфера арқылы қозғалысы кезінде оның айналасындағы ауа ағынын және осы ағынның аппаратқа әсерін зерттейтін аэродинамиканың маңызды саласы. Зымыран ұшу барысында әртүрлі жылдамдықпен, биіктікпен және шабуыл бұрышымен қозғалады. Сондықтан оның корпусына әсер ететін аэродинамикалық күштер мен моменттер үздіксіз өзгеріп отырады.
Ракетаның аэродинамикалық сипаттамалары оның ұшу тиімділігіне, тұрақтылығына, басқарылуына және құрылымдық беріктігіне әсер етеді. Әсіресе ұшудың атмосфераның тығыз қабаттарынан өтетін бастапқы кезеңінде аэродинамикалық әсерлер маңызды болады.
Зымыранның аэродинамикасын зерттеудегі негізгі міндеттердің бірі — оның формасын дұрыс таңдау. Зымыран корпусының ұзындығы, диаметрі, мұрын бөлігінің пішіні, құйрық бөлігі, қанатшалары және басқа сыртқы элементтері ауа ағынымен өзара әрекеттесуге тікелей ықпал етеді.

1. Ракеталық аппараттардың аэродинамикасы туралы түсінік

Аэродинамикада дененің ауадағы қозғалысын сипаттау үшін оның жылдамдығы, ауа тығыздығы, қысымы, температурасы және тұтқырлығы сияқты параметрлер қарастырылады.

Зымыран атмосферада қозғалған кезде оның алдыңғы жағындағы ауа сығылады, ал бүйірлері мен артқы жағында қысым таралуы өзгереді. Осы қысымдардың айырмашылығы зымыранға аэродинамикалық күштердің әсер етуіне себеп болады.

Ауа ағынының зымыранға әсерін сипаттайтын негізгі аэродинамикалық күштер:

- **кедергі күші** — қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытталады;
- **көтергіш күш** — ағын бағытына перпендикуляр бағытта әсер етеді;
- **бүйірлік күш** — зымыранның көлденең бағыттағы қозғалысына байланысты пайда болады.

Сонымен қатар зымыранға аэродинамикалық моменттер әсер етеді. Олар аппараттың бойлық, көлденең немесе айналмалы қозғалысын өзгертуі мүмкін.

Аэродинамикалық күштердің шамасы көбінесе динамикалық қысымға тәуелді: $q = \rho V^2/2$, мұндағы ρ — атмосфераның тығыздығы, V — зымыранның ауаға қатысты жылдамдығы.

Аэродинамикалық кедергі жалпы түрде: $D = q C_D S$

формуласы арқылы өрнектеледі.

Мұндағы: D — аэродинамикалық кедергі; q — динамикалық қысым; C_D — кедергі коэффициенті; S — есептік немесе маңдайлық аудан.

Көтергіш күш те ұқсас түрде: $L = q C_L S$ түрінде жазылады.

Мұндағы C_L — көтергіш күш коэффициенті.

Осы коэффициенттер зымыранның аэродинамикалық қасиеттерін сандық тұрғыдан сипаттауға мүмкіндік береді.

2. Зымыранның аэродинамикалық формасы

Зымыранның сыртқы пішіні оның аэродинамикалық сипаттамаларын анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Әдетте зымыран ұзынша цилиндрлік корпуспен, мұрын бөлігінен және артқы бөліктен тұрады.

Зымыран формасына қойылатын негізгі аэродинамикалық талаптар:

- ауа кедергісін азайту;
- соққы толқындарының әсерін төмендету;
- аппараттың тұрақтылығын қамтамасыз ету;
- қажетті басқарылу қасиеттерін сақтау;
- құрылымдық беріктікті қамтамасыз ету.

Зымыранның мұрын бөлігінің пішіні ерекше маңызды. Атмосферада жоғары жылдамдықпен қозғалған кезде аппараттың алдыңғы бөлігі ауа ағынын қатты бұрады. Соның нәтижесінде қысым жоғарылап, кей жағдайда соққы толқыны пайда болады.

Сондықтан мұрын бөлігінің геометриясы аэродинамикалық кедергіге және жылулық жүктемелерге әсер етеді.

Зымыран корпусының ұзындығы мен диаметрінің арақатынасы да маңызды сипаттама болып табылады. Ұзын әрі жіңішке корпус белгілі жағдайларда маңдайлық кедергіні азайтуға мүмкіндік береді, бірақ шамадан тыс ұзындық

құрылымдық мәселелер мен тұрақтылыққа байланысты шектеулер туғызуы мүмкін.

3. Аэродинамикалық кедергі

Зымыран қозғалысы кезінде пайда болатын негізгі аэродинамикалық күштердің бірі — кедергі күші.

Кедергі бірнеше құрамдас бөліктен тұрады. Оларға қысымдық кедергі, үйкелістік кедергі және толқындық кедергі жатады.

Қысымдық кедергі

Қысымдық кедергі дененің алдыңғы және артқы бөліктеріндегі қысымдардың айырмашылығынан пайда болады. Зымыранның геометриялық пішіні ауа ағынының қысым таралуына әсер етеді.

Дененің алдыңғы бөлігі ағынға қатты кедергі келтірсе, қысымдық кедергі жоғары болады. Артқы бөліктің дұрыс таңдалмаған геометриясы да ағынның ажырауына және қысымдық кедергінің артуына әкелуі мүмкін.

Үйкелістік кедергі

Ауа мен зымыранның сыртқы бетінің арасында тұтқырлыққа байланысты үйкеліс пайда болады. Зымыран бетінде шекаралық қабат қалыптасады.

Беттің кедір-бұдырлығы жоғары болған сайын үйкелістік кедергі де артуы мүмкін. Сондықтан аэродинамикалық беттердің сапасы маңызды.

Толқындық кедергі

Жоғары жылдамдықтарда, әсіресе дыбыстан жоғары қозғалыс кезінде, зымыран айналасында соққы толқындары пайда болуы мүмкін. Бұл толқындар қосымша аэродинамикалық кедергі туғызады.

Сондықтан дыбыстан жоғары жылдамдыққа арналған аппараттардың пішінін таңдағанда толқындық процестер міндетті түрде ескеріледі.

4. Шабуыл бұрышы және аэродинамикалық күштер

Зымыранның бойлық осі мен оның қозғалыс бағыты арасында бұрыш пайда болуы мүмкін. Бұл бұрыш **шабуыл бұрышы** деп аталады.

Шабуыл бұрышы нөлге тең болған жағдайда симметриялы зымыранға әсер ететін көтергіш немесе бүйірлік күштер әдетте минималды болады.

Шабуыл бұрышы артқан кезде зымыранның бетіне түсетін қысым таралуы өзгереді. Соның нәтижесінде көтергіш және бүйірлік күштер пайда болады.

Кіші шабуыл бұрыштары үшін көтергіш күш коэффициентін жуық түрде:

$$C^L \approx C^L_\alpha \, \alpha$$

деп көрсетуге болады.

Мұндағы C^L_α — көтергіш күш коэффициентінің шабуыл бұрышына тәуелділігін сипаттайтын туынды, ал α — шабуыл бұрышы.

Шабуыл бұрышының шамадан тыс өсуі ағынның бөлінуіне, тұрақтылықтың нашарлауына және аэродинамикалық жүктеменің күрт артуына әкелуі мүмкін.

5. Зымыранның аэродинамикалық тұрақтылығы

Ракеталық аппарат үшін аэродинамикалық тұрақтылық өте маңызды. Тұрақты аппарат сыртқы әсерден кейін өзінің бастапқы қозғалыс бағытына қайта оралуға ұмтылады.

Зымыранның тұрақтылығын бағалауда **ауырлық центрі** және **қысым центрі** ұғымдары маңызды.

Ауырлық центрі (CG) — зымыран массасының шартты түрде жинақталған нүктесі.

Қысым центрі (CP) — аэродинамикалық күштердің тең әсерлі күшін шартты түрде түсіруге болатын нүкте.

Классикалық пассивті тұрақтандырылған зымыранда қысым центрінің орналасуы ауырлық центріне қатысты тұрақтандырушы момент беретіндей таңдалады.

Зымыранның аэродинамикалық тұрақтылығы оның пішініне, қанатшаларына, мұрын бөлігіне және массаның таралуына байланысты.

6. Құйрық қанатшаларының рөлі

Көптеген ракеталық аппараттардың артқы бөлігінде тұрақтандырғыш қанатшалар орналасады. Олардың негізгі қызметтерінің бірі — зымыранның атмосферадағы бағыттық және бойлық тұрақтылығын қамтамасыз ету.

Қанатшалар ауа ағынымен әрекеттесіп, зымыранның бұрылуына қарсы немесе оны қажетті бағытта ұстайтын аэродинамикалық моменттер туғызуы мүмкін.

Қанатшалардың өлшемі, орналасуы және геометриясы аппараттың аэродинамикалық сипаттамаларына әсер етеді.

Алайда қанатшалардың ауданы шамадан тыс үлкен болған жағдайда аэродинамикалық кедергі мен жүктеме артуы мүмкін. Сондықтан олардың параметрлері нақты ұшу режиміне және аппараттың міндетіне сәйкес таңдалады.

7. Мах саны және ұшу режимдері

Зымыран аэродинамикасын сипаттауда маңызды өлшемдердің бірі — **Мах саны**:

M = V/a, мұндағы **V** — аппараттың жылдамдығы, **a** — сол ортадағы дыбыс жылдамдығы.

Мах санына байланысты ұшу режимдері шартты түрде:

- төмен дыбыстық;
- дыбыс маңындағы;
- дыбыстан жоғары;
- гипердыбыстық режимдерге бөлінеді.

Дыбыс маңындағы және дыбыстан жоғары жылдамдықтарда ауа сығылғыштығының әсері күшейеді. Соққы толқындары пайда болып, аэродинамикалық кедергі мен жылулық жүктемелердің өзгеруіне әкеледі.

Ал гипердыбыстық жылдамдықтарда аэродинамикалық процестермен қатар газдың жоғары температурадағы физикалық қасиеттерін де ескеру қажет.

8. Аэродинамикалық коэффициенттер

Зымыранның аэродинамикалық қасиеттерін салыстыру үшін өлшемсіз коэффициенттер қолданылады.

Негізгі коэффициенттердің бірі — кедергі коэффициенті:

$C_D = D/(qS)$.

Көтергіш күш коэффициенті:

$C^L = L/(qS)$.

Бүйірлік күш үшін:

$C_Y = Y/(qS)$.

Мұндағы **Y** — бүйірлік аэродинамикалық күш.

Аэродинамикалық моменттер де өлшемсіз коэффициенттер арқылы сипатталады. Мысалы, тангаж моментінің коэффициенті зымыранның бойлық осіне қатысты айналуға бейімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Коэффициенттердің мәндері жылдамдыққа, Мах санына, шабуыл бұрышына, бүйірлік сырғу бұрышына және зымыранның геометриясына байланысты өзгереді.

9. Зымыран формасының аэродинамикалық сипаттамаларын анықтау

Зымыранның аэродинамикалық сипаттамаларын теориялық есептеулер, эксперименттік зерттеулер және компьютерлік модельдеу арқылы анықтауға болады.

Эксперименттік әдістердің бірі — аэродинамикалық құбырда модельді сынау. Мұндай сынақ кезінде модельге әсер ететін күштер мен моменттер өлшеніп, әртүрлі ұшу жағдайларындағы аэродинамикалық коэффициенттер анықталады.

Қазіргі уақытта компьютерлік сұйықтық динамикасы, яғни **CFD (Computational Fluid Dynamics)** әдістері де кеңінен қолданылады. CFD көмегімен зымыранның айналасындағы ауа ағынын модельдеп, қысымның таралуын, жылдамдық өрісін және аэродинамикалық күштерді бағалауға болады.

Алайда нақты есептерде теориялық модельдер мен компьютерлік нәтижелерді эксперименттік мәліметтермен салыстыру маңызды. Себебі күрделі турбуленттік ағындарды және соққы толқындарын модельдеу белгілі бір жуықтауларды қажет етеді.

10. Аэродинамикалық сипаттамалардың ұшу барысындағы өзгеруі

Ракеталық аппараттың ұшуы кезінде оның аэродинамикалық сипаттамалары тұрақты болып қалмайды. Олар биіктікке, жылдамдыққа және атмосфера параметрлеріне байланысты өзгереді.

Биіктік артқан сайын атмосфера тығыздығы төмендейді. Соның нәтижесінде динамикалық қысым да өзгеріп отырады.

Сонымен қатар зымыранның жылдамдығы артқан кезде Мах саны өзгереді. Бұл әсіресе дыбыс маңындағы және дыбыстан жоғары аймақта аэродинамикалық күштердің күрт өзгеруіне себеп болуы мүмкін.

Ұшу кезінде аппараттың массасы да қозғалтқыш жұмысына байланысты өзгереді. Отын жұмсалған сайын ауырлық центрінің орны өзгеруі мүмкін. Бұл жағдай аппараттың тұрақтылығы мен басқарылуына әсер етеді.
Сондықтан ракета аэродинамикасын зерттеу тек оның бастапқы геометриялық пішінін қарастырумен шектелмейді. Ұшудың барлық негізгі кезеңдеріндегі аэродинамикалық жағдайларды талдау қажет.

Қорытынды

Ракеталық аппараттардың аэродинамикасы зымыранның атмосферадағы қозғалысын, оған әсер ететін күштер мен моменттерді және аппараттың сыртқы пішінінің осы процестерге ықпалын зерттейді.
Зымыранның аэродинамикалық сипаттамаларына оның мұрын бөлігінің пішіні, корпустың өлшемдері, құйрық бөлігі, тұрақтандырғыштары, бетінің сапасы және басқа да геометриялық параметрлері әсер етеді.
Негізгі аэродинамикалық күштерге кедергі, көтергіш және бүйірлік күштер жатады. Олардың шамасы динамикалық қысымға және сәйкес аэродинамикалық коэффициенттерге байланысты.
Зымыранның аэродинамикалық тұрақтылығын қамтамасыз етуде ауырлық центрі мен қысым центрінің өзара орналасуы маңызды рөл атқарады. Ал жоғары жылдамдықтарда Мах саны, соққы толқындары және ауа сығылғыштығы ерекше маңызға ие болады.
Осылайша зымыран формасын аэродинамикалық тұрғыдан дұрыс таңдау оның атмосфера арқылы ұшу кезіндегі кедергісін, тұрақтылығын, басқарылуын және жалпы ұшу сипаттамаларын анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Ракеталық аппараттарды жобалау кезінде теориялық есептеулерді, компьютерлік модельдеуді және эксперименттік сынақтарды кешенді түрде пайдалану олардың аэродинамикалық қасиеттерін жан-жақты бағалауға мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Ракеталық аппараттардың аэродинамикасы нені зерттейді?
2. Зымыранға әсер ететін негізгі аэродинамикалық күштерді атаңыз.
3. Аэродинамикалық кедергі дегеніміз не?
4. Динамикалық қысым дегеніміз не және ол қандай формуламен анықталады?
5. Кедергі коэффициенті нені сипаттайды?
6. Зымыранның мұрын бөлігінің пішіні оның аэродинамикалық сипаттамаларына қалай әсер етеді?
7. Қысымдық кедергі қалай пайда болады?
8. Үйкелістік кедергінің пайда болу себебі неде?
9. Толқындық кедергі дегеніміз не?
10. Шабуыл бұрышы дегеніміз не?

11. Шабуыл бұрышының өсуі зымыранға әсер ететін аэродинамикалық күштерді қалай өзгертеді?
12. Зымыранның аэродинамикалық тұрақтылығы дегеніміз не?
13. Ауырлық центрі мен қысым центрінің айырмашылығы қандай?
14. Ауырлық центрі мен қысым центрінің орналасуы зымыранның тұрақтылығына қалай әсер етеді?
15. Зымыранның құйрық қанатшалары қандай қызмет атқарады?
16. Мах саны дегеніміз не және ол қалай анықталады?
17. Дыбыстан жоғары ұшу кезінде зымыран айналасында қандай аэродинамикалық құбылыстар пайда болады?
18. Аэродинамикалық кедергі коэффициенті қандай формуламен анықталады?
19. Көтергіш күш коэффициенті нені сипаттайды?
20. Зымыранның аэродинамикалық моменттері дегеніміз не?
21. Зымыранның аэродинамикалық сипаттамалары қандай факторларға тәуелді?
22. Биіктіктің өсуі атмосфера тығыздығына және аэродинамикалық күштерге қалай әсер етеді?
23. Зымыранның жылдамдығы өзгерген кезде оның аэродинамикалық сипаттамалары қалай өзгереді?
24. Аэродинамикалық құбырдың көмегімен қандай параметрлерді анықтауға болады?
25. CFD әдісі дегеніміз не және ол зымыран аэродинамикасын зерттеуде қалай қолданылады?
26. Неліктен зымыранның аэродинамикалық сипаттамаларын анықтауда теориялық және эксперименттік әдістерді бірге қолдану қажет?