



**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА  
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ТЕРМИЗ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**Қўлёзма ҳуқуқида  
УДК 530,11,6**

**Примқулов Бегали Шералиевич**

**АЭРО ВА ГИДРОЭЛАСТИК МАСАЛАЛАРИНИ  
ЎРГАНИШНИНГ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ МЕТОДЛАРИ  
МЕХАНИКАСИ**

**5A140302—деформацияланувчи қаттиқ жисм механикаси**

**МАГИСТР**

**АКАДЕМИК ДАРАЖАСИНИ ОЛИШ УЧУН ЁЗИЛГАН  
ДИССЕРТАЦИЯ**

**Илмий раҳбар: проф. Саидов Ч.С**

**Термиз – 2015**

## МУНДАРИЖА

<b>КИРИШ</b> .....	<b>4</b>
<b>I-БОБ. ТАЪЛИМ-ТАРБИЯ ТИЗИМИНИ ТУБДАН ИСЛОҲ ҚИЛИШ БОРАСИДА ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ПРЕЗИДЕНТИ ИСЛОМ КАРИМОВНИНГ ФИКР ВА МУЛОҲАЗАЛАРИ</b> .....	<b>7</b>
1.1. ПРЕЗИДЕНТГА МАКТУБ.....	8
1.2. Давлат грантлари ва тўлов-контракт усулидаги қабул деганда нима тушунилади?.....	10
1.3. Ишлаб чиқаришнинг кадрлар тайёрлашга таъсири.....	18
<b>I-БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ХУЛОСАСИ</b> .....	<b>19</b>
<b>II-БОБ. АЭРО ВА ГИДРОЭЛАСТИК МАСАЛАЛАРИНИ ЎРГАНИШНИНГ ЭКСПРИМЕНТАЛ МЕТОДЛАРИ МЕХАНИКАСИ</b> .....	<b>20</b>
2.1. Аэро ва гидроэластиклик масалалари.....	20
2.2. Идеал эластик жисмлар.....	22
2.3. Суюқлик ва газларнинг умумий хоссалари.....	25
2.4. Чегаравий қатлам ва ажралиш ҳодисаси.....	32
2.5. Самолёт қанотининг кўтариш кучи ва унинг харакати.....	39
2.6. Самолёт ҳаракатланаётганда пайдо бўладиган кучлар.....	48
<b>II-БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ХУЛОСАСИ</b> .....	<b>50</b>
<b>III-БОБ. ТУТАШ МУХИТЛАРДА КЕЧАДИГАН МЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР</b> .....	<b>51</b>
3.1. Оқимдаги жисмга таъсир этадиган кучларни ўлчаш.....	51
3.2. Қанотни суюқлик айланиб ўтиши. Циркуляция ва кўтариш кучи.....	54
3.3. Қанотнинг кўтариш кучи билан атака бурчаги орасидаги муносабат. Қанотнинг пешана қаршилиги.....	64

3.4. Сиқиладиган суюқликда (газда) босим ғалаёнларининг тарқалиши ва жисмнинг товушдан тез ҳаракат қилиши .....	69
3.5. Босим кўп ўзгарган ҳолдаги тўлқинлар ва жисмнинг катта тезлик билан қиладиган ҳаракати.....	77
3.6. Трубада оқимнинг товушдан тез ҳаракат қилиши.....	82
<b>III-БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ХУЛОСАСИ.....</b>	<b>85</b>
<b>ХУЛОСАЛАР ВА ТАКЛИФЛАР.....</b>	<b>86</b>
<b>Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.....</b>	<b>89</b>

## Кириш

Аэро ва гидроэластикликнинг муҳим масалаларини ечиш одатда аналитик, статистик, сонли усуллар, чекли айирмалар ва бошқа назарий ёндашишлари орқали амалга оширилади. Мазкур мавзуларга бағишланган ўқув курслари фундаменталь тадқиқотлар, асосан чекли айирмалар, дискрет уюмлар ҳамда манбаларнинг тўғри усулларидан фойдаланиб амалга оширилади. Бундай ҳолларда дифференциал, интеграл, вариация ва сонли методларнинг бир қанча хусусий ҳолларидан фойдаланиш каби математик ёндашувлар ўзининг ижобий самарасини беради.

Аmmo бундай математик моделлардан фойдаланиш деформацияланувчи қаттиқ жисмларда кечадиган аэро ва гидроэластик жараёнларнинг боришини бир қийматли аниқлаб бера олмайди. Айниқса деформация жараёнлари аэро гидроэластикнинг узиб олинган турбулент оқимлар шароитида кузатилса юқорида келтирилган усуллардан ташқари амалий эксперименталь методлардан ҳам фойдаланишнинг самарали йўллари ахтариш заруриятини туғдиради. Одатда бундай шароитларда ярим эмпирик усуллардан фойдаланиш маълум даражада ижобий самаралар беради. Шу сабабли эластиклик, мустаҳкамлик каби қатор деформацион характерда катталикларни суюқлик ва газсимон муҳитларда ўрганиш механик жиҳатдан амалий эксперименталь усулларга таянади.

Мазкур диссертация иши деформацияланувчи қаттиқ жисмлар, суюқликлар ва газсимон муҳитлардаги ўзаро таъсирларни ўрганишга бағишланган. Кейинги даврдаги ва техника ютуқлари аэро ва гидроэластиклик масалаларини янада долзарб соҳага айлантди. Турли хил саноат объектларида, гидро ва аэроэластик жараёнларда кечувчи механик ҳаракатларни ўрганишда, ҳаво ҳамда сув транспортларини лойихалаш, конструкциялаш ишларида материалларнинг мустаҳкамлиги, эластиклик хоссалари, зўриқишларини ўрганиш ҳақидаги масалаларнинг қўйилиши танланган диссертация мавзусининг долзарблигини янада оширади қўйилган масалалар ҳақиқатдан кўп йўналишли мураккаб характерга эга, айниқса бир вақтнинг ўзида иккита

турдаги хусусий хосилали тенгламалар устидаги математик амалларнинг бажарилишини амалга ошириш бунга яққол мисол бўлади.

### **Магистрлик диссертациясининг мақсади.**

Аэро ва гидроэластиклик фанлари доирасида химояга тавсия этилаётган мазкур диссертация ишининг асосий мақсади уларда кечадиган деформацияланувчи жисмлар харакатини, аэро ва гидроэластиклик жараёнларини механик жиҳатдан тахлил этишда эксперименталь усуллардан фойдаланишнинг самарали йўллари ишлаб чиқишдан иборат.

### **Магистрлик диссертациясига қўйилган талаблар ва унинг ишлаб чиқаришдаги амалий аҳамияти, янгилиги, тадқиқот объектлари ва диссертациянинг тўзилиши.**

- Диссертация ишида суюқ ва газсимон мухитларда кечадиган деформация жараёнлари, деформацияланувчи жисмлар харакатини ўрганишнинг механикавий усулларини тахлил қилиш ўз аксини топган:
- Аэро ва гидро эластиклик масалаларини ўрганиш, тахлил этиш, текшириш борасида назарий, экспериментал, фундаментал усуллардан фойдаланиш натижалари хақидаги умумлашма материаллар батафсил баён эилган.
- Газлар ва суюқлик механикаси, уларда кузатилган гидро ва аэро эластик деформацияланишнинг, мухитлар характерига, ички ва ташқи таъсирларга боғлиқлиги масалаларини ўрганиш ўз аксини топган.

### **Диссертация мавзусининг долзарблиги ва янгилиги:**

Аэро ва гидротехник иншоатларда кечадиган механик жараёнларнинг технологик механизмларини ишлаб чиқишда, объектда фойдаланиши йўлга қўйилган деформацияланувчи қурилмаларнинг лойиҳалаш жиҳатдан мукамаллиги, уларнинг мустаҳкамлиги, эластикликни характерловчи катталикларнинг ўрганиш, ташқи ва ички мухит хоссаларига боғлиқлиги каби

катор услубий босқичларни тахлил этишнинг педагогик йўллари ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқот объектлари сифатида аэро ва гидроэластик мухитлардаги аэродинамик қурилмалар танланиб, мазкур объектларда кечадиган физик-механикавий жараёнлар натижасида ҳосил бўладиган деформациялар, эгилиш, ёрилиш ва уларни системанинг кинематик ҳолатларига боғлиқ ҳолда ўзгаришини ўрганишга нисбатан қўйиладиган талаблар ҳамда амалий тадқиқот усуллари танлаб олиш бўйича аналитик босқичларни йўлга қўйиш.**

**Диссертациянинг тўзилиши:** Ушбу диссертация иши 89 бет ёзма матндан иборат бўлиб ,3 та бобдан ташкил топган. Унинг ташкилий тўзилиши: титул варағи, мундарежа, кириш,тадқиқот объектлари, қўйилган масаланинг янгилиги ва долзарблиги тўғрисидаги қисқача маълумотлар. 2 бобдан иборат умумлашма материаллар, диссертация ишидан келиб чиқадиган асосий хулосалар ва таклифлар фойдаланилган адабиётлар рўйхати, матбуот орқали эълон қилинган мақола ҳамда илмий анжуманларда қилинган маъруза матнларининг нусхалари, тадқиқот иншоатлари, расмлари ва 38 та чизма, график жадваллар, кичик фотосуратлардан иборат. Диссертация ишида олиб борилган тадқиқот натижалари, олинган боғланишлар, схемалар, чизмалар, расмлар, графиклар ва жадваллар мазмунига мос ҳолда рақамлар кетма-кетлиги асосида бериб борилган. Бу эса изланиш натижаларини ўзаро таққослаб хулосалар ясаш ишида қулайликлар туғдиради. Ишдан келиб чиқадиган асосий хулосалар ва таклифлар қисмида бажарилган тадқиқотларни ўзида акс эттирувчи чизмалар , графиклар, жадваллар алоҳида рақамлар билан кўрсатиб ўтилган ҳамда мавзу химояси бўйича қилинадиган маъруза учун улар жамлаб кўрсатилган.

I-БОБ.

**Таълим-тарбия  
тизимини тубдан  
ислоҳ қилиш  
борасида Ўзбекистон  
Республикаси  
Президенти  
Ислом Каримовнинг  
фикр ва мулоҳазалари**

*Хронологик тўплам*

## **1.1.ПРЕЗИДЕНТГА МАКТУБ**

**Сизнинг ташаббусингиз билан академик лицейлар ва касб-хунар коллежларини ташкил этилиши биз ёшлардан янада юксак масъулият талаб этади. Бизлар ҳам Сизнинг ушбу ғамхурлигингизга лаббай деб жавоб бермоғимизни чин юракдан ҳис қилмоқдамиз.**

**А.Қодирий номидаги Жиззах Давлат педагогика институти қошидаги “Иқтидорли болалар лицей” ўқувчилари**

**1998 йил 19 март.**

**Олий таълимни ислоҳ**

**қилиш омиллари**

**нималардан иборат?**

Саволга жавоб беришдан аввал собиқ шўролар даврини эслайлик. Унда олий таълим тизимида билимнинг эмас, димломнинг роли ҳаддан ташқари ошириб юборилган, унда жамиятда маълум бир юқори мавқени эгаллаш учун хизмат қиладиган ҳужжат сифатида қаралар эди. Юқори, чуқур билимлар олиш хоҳиши бўлган муносабати юзаки эди. Ўқитувчилар ҳам ўзларининг эмас, билъақс айнан шу дипломни қандай йўллар билан бўлмасин “қўлга киритиш” ёшларнинг ҳам, уларнинг ота оналарини ҳам асосий мақсадига айланиб қолган эди. Шунинг учун ҳам аксарият талабаларнинг ўқув жараёнига фаолиятларини такомиллаштириш масалала рига “қўл учи”да қараб келардилар.

Кадрлар тайёрлаш миллий моделида олий таълим махсус ўрин эгал лаиди ҳамда узлуксиз таълим тизимининг мустақил тури ҳисобланади.

Олий таълимнинг мақсади республикамизнинг ижтимоий-иқтисодий ва маданий ривожини таъминлашга, ўзи танлаган мутахасислик бўйича бозор иқтисодиёти шароитида мустақил ишлашга лаёқатли, юқори малакали, рақобатбардош кадрларни тайёрлашдан иборатдир. “Кадрлар тайёрлаш миллий



дастури”да олий таълим олдига қўйилган вазифаларнинг ижроси собиқ шўролар давридан қолган, юқорида таъкидланган муносабатларга чек қўяди, мустақил Ўзбекистон таълим тизимини тамомила янги босқичга кўтаришга имкон яратади.

### **Бундаги асосий вазифалар нималардан иборат?**

Аввало, давлат таълим стандартлари асосида рақобатдош, юқори малакали кадрлар тайёрланади.

Бўлажак кадрларда чуқур ва мустаҳкам билимларни шакллантириш, миллий истиқлол ғояларига садоқатни, Ватанга муҳаббатни, бу йулдаги фидойиликни тарбиялашни давом эттириш ҳам олий таълимнинг асосий вазифаларидандир.

Бундан ташқари фан, техника ва технологияларни ривожлантириш, илмий тадқиқотлар самарадорлигини ошириш, олинган натижалардан таълим жараёнида унумли фойдаланмасдан, ўқитиш амалиётига янги педагогик ва инфор­мацион технологияларни киритмасдан юқорида таъкидланган натижага эришиш мушкул.

Бу асосий принцип­ларга аввало, таълим ва тарбиянинг инсонпарварлиги ва демократиклиги, университет таълимининг устуворлиги, ўрта махсус, касб-хунар таълими, олий ва олий уқув юртидан кейинги таълим нинг узлуксизлиги ва ворисийлиги, таълим тизимининг дунёвий ҳарактер га эга эканлиги, давлат таълим стандартлари доирасида олий таълимнинг ҳамма учун очиклиги, талант ва иқтидорликни рағбатлантириш, олий таълим тизимида давлат ва жамият бошқарқвининг уйғунлашуви, олий таълим, фан ва ишлаб чиқаришнинг интеграцияси ва бошқалар киради.

## **1.2. Давлат грантлари ва тўлов-контракт усулидаги қабул деганда нима тушинилади?**

Юқорида таъкидлаб ўтганимиздек, давлат таълим стандартлари доирасида олий маълумот олиш мамлакатимизнинг ҳар бир фуқороси учун очикдир. Бундай имконият икки йўл билан амалга оширилади.

Бирламчиси- бу давлат грантлари. Яъни талабаларнинг ўқиш учун зарур бўлган харажатларини давлат ўз зиммасига олади. Грантлар ҳудуд ларнинг ижтимоий-иқтисодий ривожланишида олий малакали кадрларга бўлган эҳтиёждан келиб чиқиб белгиланади. Таъкидлаш жоизки, Президент фармонида асосан халқаро ва республика фан олимпиадалари халқаро мусобақалар ғолиблари олий ўқув юртларига тест синовларисиз кириш ҳуқуқига эгадирлар.

Ёшларимиз, ўз навбатида тўлов-контракт шаклида ҳам олий ўқув юртларида ўқишлари мумкин. Бу нима дегани? Олий маълумот олиш истагида бўлган ёшлар тегишли ўқув юртлари маъмуриятлари билан шартнома тузадилар. Шартномада ҳар иккала томоннинг вазифалари белгилаб олинади. Талабалик сафига тест синовлари натижалари ёки грантлардан сўнг баллар кетма-кетлиги (рейтинг) асосида қабул қилинган абитуриентлар белгиланган миқдордаги маблағни олий ўқув юрти ҳисобига ўтказадилар. Тегишли маблағни талаба учун муассасалар, корхоналар, фирмалар ва бошқа ташкилотлар ҳам ўтказишлари мумкин. Тўлов-контракт шаклида ўқиш қоидалари ва шартлари давлат томонидан мавжуд қонунчиликка асосланган ҳолда белгиланади.

Контрактдан тушган маблағлар олий ўқув юртининг моддий-техника негизини мустаҳкамлаш, педагог ҳодимларни рағбатлантириш, талабалар ни ижтимоий қўллаб-қувватлаш ва бошқа мақсадларда фойдаланилади.

## **Бакалаврият нима? Магистратурачи?**

Бу саволларга жавоб беришдан аввал “Кадрлар тайёрлаш миллий дастури” дан кичик иқтибос: **“Олий таълим ўрта махсус касб-хунар таълими негизига асосланади ҳамда икки (бакалаврият ва магистратура) босқичига эга”**

Демак олий таълимга академик лиций ва касб-хунар коллежини тугатган шахсларгина қабул қилинади. Яъни, юқорида айтилганидек, ўрта махсус, касб-хунар таълим йўналишларидан бирини тугатган мамлака тимиз фуқоролари олий уқув юртларига киришда бир хил ҳуқуққа эгадирлар. Энди сарлавхадаги саволга келсак.

**Бакалаврият-мутахассисликлар йўналиши бўйича фундаментал ва амалий билим берадиган, таълим олиш муддати камида тўрт йил давом этадиган таянч олий таълимидир.**

Бакалаврлик дастури тугалланганидан сўнг битирувчиларга давлат аттестацияси якунларига биноан касб йўналиши бўйича “бакалавр” даражаси берилади ва ҳукумат томонидан тасдиқланган намунадаги диплом топширилади.

**Хўш, бундай дипломли мутахассис қандай ҳуқуқларга эга? Авволо, у қай даражада мутахассис, унинг ишлаб чиқаришдаги ўрни қандай?**

Бакалавр даражасига эга бўлган шахс олий таълим тизими йўналишида ги ўзи танлаган соҳа бўйича олий маълумотли мутахассис ҳисобланади ва давлат Классификаторида белгиланган лавозимда ишлаш ҳуқуқига эга бўлади. Энди, у қай даражада мутахассис эканлигига давлат стандарти жавоб беради, яъни маълум мутахассисликнинг давлат стандартларида касб-хунар дастурлари салмоғининг қай даражадалигига боғлиқ.

**Магистратура** – аниқ мутахассислик бўйича фундаментал ва амалий билим берадиган, бакалаврият негизига таълим муддати камида икки йил давом этадиган олий таълимдир. Ундаги таҳсил якуний квалификацион давлат

аттестацияси ва магистрлик диссертациясини ҳимоя қилиш билан ниҳоясига етказилади. Магистрларга давлат томонидан тасдиқланган наму-надаги, касб хунар фаолияти билан шуғилланиш ҳуқуқини берадиган диплом топширилади.

**Бунда ҳам юқоридаги саволлар такрорланади.** Магистр бакалавр даражасидан фарқли равишда маълум ихтисослик бўйича юқори малакали мутахассис ҳисобланиб, у илм фан соҳасида, ишлаб чиқаришнинг масъулиятли лавозимларида фаолият кўрсатади. У аспирантурага кириш ҳуқуқига эга бўлади.

### **Ўзбекистон Республикасида қандай даражадаги олий таълим муассасалари бор, биласизми?**

Улар қуйидагилар:

**Университет** – кадрлар тайёрлаш ва билимларнинг кенг соҳалари бўйича олий ва олий ўқув юртидан кейинги таълим дастурларини амалга оширишга имкон беради;

Академия–кадрлартайёрлаш ва билимларнинг кенг соҳалари бўйича олий ва олий ўқув юртидан кейинги таълим дастурларини амалга оширади;

Институт - билимларнинг бита соҳаси доирасида аниқ йўналишлар бўйича олий ва қоидага кўра олий ўқув юртидан кейинги таълим дастурларини амалга оширади.

Олий таълим муассасаларида факультетлар, бўлимлар, кафедралар ва талабаларнинг академик гуруҳлари шаклланади.

Идоравий буйсуниш ва мулкчилик шаклидан қатъий назар барча олий таълим муассасалари ҳамда уларнинг профессор ўқитувчилар таркиби республика ҳукумати белгилаган тартибда аттестациядан ўтадилар.

Давлат тасарруфида бўлмаган олий таълим муассасалари таълим фаолияти ҳуқуқини фақатгина давлат аккредитациясидан ўтгандан бошлаб қўлга киритадилар. Шу билан бирга олий таълим муассалари аттестация

натижаларига кўра давлат аккредитациясидан маҳрум этилишлари ҳам мумкин.

Ислом Каримов Ўзбекистон Республикаси Олий Мажлисининг IX сессиясида олий таълимни ташкил қилиш тўғрисида қуйидаги фикрни билдирган эдилар:

**“Олий ўқув юртини ислоҳ қилаётганда, уларни бошқа давлатлардаги олий ўқув юртлари билан алоқасини мустаҳкамлаш зарур. Ўз домлаларимиз билан чекланиб қолмай, четдан ҳам домлалар чақиришни йўлга қўйишимиз керак.**

**... Етук савияли домлаларни тайёрлаш бўйича махсус бир фонд ташкил этиш керак. Биз шу фонд орқали домлаларни, Ўзбекистон профессорларини чет мамлакатларга юбориб, малакасини ошириб келишига имконият яратишимиз керак.**

**Улар чет элларда малакасини оширсин, донғи чиққан университетларда ўзлари лексиялар ўқисин, тажриба ортирсин, мана шундан кейин Ўзбекистоннинг обрўйи–номи оламга овоза бўлади, иншооллоҳ”**

Қисқа муддатларда мазкур йўналишда белгиланган вазифаларни амалга оширишга киришилди. “Устоз” жамғармасининг ташкил этилганлиги, кейинги бир йил ичида юзлаб профессор ўқитувчиларнинг ривожланган демократик чет мамлакатларнинг нуфузли Университетларига юборилиши бунинг яққол далилидир.

Дарвоқе, устозларнинг, мутахассисларнинг ривожланган хорижий давлатларда малакаларини оширишлари ҳам бир пайтлар Ўзбекистон президентининг орзуси эди. Дарҳақиқат, мустақиллик орзулар рўёби, “Кадрлар тайёрлаш миллий дастури” эса орзуга эришмоқ йўлидир.

### **Олий ўқув юртидан кейинги таълим тўғрисида қандай маълумотларга эгасиз?**

Мазкур таълим турининг вазифаси “Кадрлар тайёрлаш миллий дастури”да қуйидагича аниқ белгиланган: **“Олий ўқув юртидан кейинги таълим олий малакали илмий ва илмий педагогик кадрларга бўлган эҳтиёжларни**

**қондиришга, шахснинг ижодий таълим касб-ҳунар манфаатларини қаноатлантиришга ва узлуксиз таълим тизимини таъминлашга қаратилган”**

*Хўш , узлуксиз таълимнинг бу турига нималар киради, нима учун унга алоҳида эътибор берилаётми?*

Олий ўқув юртидан кейинги таълим икки даражада амалга оширилади.

Биринчи даража аспирантура бўлиб, магистрлик негизида 3 йил (4-йил сиртки) давом этади.

Иккинчи даража докторантура ҳам 3 йил давом этади, аммо фан номзоди илмий даражаси негизида.

Иккала даражанинг ҳам мақсади- муайян мутахассисликлар бўйича олий тоифали илмий ва илмий педагогик кадрларни шакллантиришдан иборатдир. Диссертацияни муваффақиятли ҳимоя қилганларга биринчи даража яқунлари бўйича “фан номзоди”, иккинчи даража яқунлари бўйича эса “фан доктори” илмий даражаси берилади.

Бундай таълим турлари фақат бизнинг миллий моделга хосдир ва шу жихатдан дунё миқёсида бетакрордир.

Узлуксиз таълим тизимининг турларидан яна бири кадрлар малакасини ошириш ва уларни қайта тайёрлашдир.

**Мутахассисларни қайта тайёрлаш тизимининг ислохатларни амлга оширишдаги роли нималардан иборат?**

Илмий-техникавий тараққиёт шу қадар жадал суръатлар билан ривожланмоқдаки, мутахассисларнинг касбий билимлари ҳар йили маълум даражада қадрсизланмоқда ҳамда уларни тез-тез янгилаш эҳтиёжи сезилмоқда. Бозор иқтисодиёти, рақобат шароитида, техника ва технологиялар жадал ўзгараётган шароитда кадрларнинг малакасини ошириш ва уларни қайта тайёрлаш катта аҳамият касб этади.

Миллий дастур талабларига асосан кадрлар малакасини ошириш ва уларни

қайта тайёрлаш мутахассисларнинг касб билимлари ва кўникмала-рини янгилаш ҳамда чуқурлаштиришга, уларни замон талабларига жавоб бера оладиган даражага етказишга қаратилган.

Демак, таълим тизимининг “консервативлиги” ҳаммага аён, шунинг учун ҳам замонавий талабларга тезроқ жавоб беришда мутахассисларни **қайта тайёрлаш тизимининг моҳияти, мақсад ва вазифалари муҳимдир.**

### **Янги шароитда мазкур тизим қандай принципларга тасосланади?**

Аввало, малака ошириш ва қайта тайёрлаш тизими ихчам бўлиб ҳар бир ходимнинг индивидуал хусусиятларини ҳисобга олади, яъни шахсийлаштирилади.

Бундан ташқари ходимларнинг малакасини ошириш ва қайта тайёрлашга бўлган эҳтиёжларини ўрганиш ва уларни оқилона қондириш, малака ошириш ва қайта тайёрлаш жараёнини табақалаштириш, қайта тайёрлаш ва малака ошириш натижалари асосида ходимларни маънавий ва моддий жиҳатдан рағбатлантириб бориш, мазкур жараёнларни ташкил этишнинг давлат, жамият ва нодавлат шакллари бирга қўшиб олиб бориш кабилар қайта тайёрлаш таълим турининг асосий вазифалари ҳисобланади.

### **Қайта тайёрлаш қаерда амалга оширилади?**

Мутахассисларнинг малакасини ошириш ва уларни қайта тайёрлаш университетларда, малака ошириш институтларида ва профессионал қайтатайёрлаш ҳуқуқига эга бўлган ўқув марказларида амалга оширилади. Мазкур жараён ишлаб чиқаришдан ажралган ҳолда ва қисман ажралмаган ҳолда бўлиши мумкин. Унинг шакли малака ошириш таълим муассасаси томонидан таълим дастурининг мураккаблиги эътиборга олинган ҳолда ва буюртмачининг у билан тузилган шартномаси асосидаги эҳтиёжларига мувофиқ равишда белгиланади.

Қайта тайёрлаш ва малака ошириш таълим муассасаси ўқув жараёнини

мақсадли ташкил этиш, таълимнинг шакли, услублари ва технологиясини танлаш йўли билан тингловчиларга таълим дастурларини ўзлаштиришлари учун зарур шароитлар яратилади. Мазкур дастурлар малака ошириш таълим муассасалари томонидан буюртмачи эҳтиёжларини ва шунингдек қўшимча касб таълими дастурлари мазмуни олдига қўйилган давлат талабларини эътиборга олган ҳолда ишлаб чиқилади, тасдиқланади ва амалга оширилади.

Мутахассисларни профессионал қайта тайёрлаш жараёни якуний давлат аттестацияси билан тугалланади. Аттестацияни ўтказиш тартиби таълимни бошқариш бўйича тегишли давлат органлари томонидан белгиланади.

Ўқув режасининг барча талабларини бажарган, якуний давлат аттестациясидан муваффақиятли ўтган тингловчилар қайта тайёргарлик ва малака оширишдан ўтганлиги ҳақида белгиланган намунадаги диплом ёки сертификат оладилар.

Мутахассисларни профессионал қайта тайёрлаш, уларни замонавий талаблар доирасидан чиқиб қолмаслигини, жамиятда ўз ўринларини эгаллаш имкониятига эга бўлишини ва кенг маънода инсон ҳуқуқларини ҳимоялашни таъминлайди.

### **Боланинг бўш вақти...**

Мамлакатимизда жорий этилаётган ўзлуксиз таълим тизимида мактабдан ташқари таълимнинг ўзига хос ўрни бор. Бу бежиз эмас, албатта. Зеро, болалар ва ўспринларнинг таълимга бўлган, яқка тартибдаги, ортиб борув-чи талаб-эҳтиёжларини қондириш, уларнинг бўш вақтини ва дам олишини ташкил этиш, жамиятдаги барқарорликни, маънавий баркамолликни таъминлашда жуда муҳимдир.

Бундай шароитда ҳудудлардаги мактабдан ташқари муассасалар имкони ятларидан унумли фойдаланиш кўзда тутилган. Ёшларимизга таълим бериш ва уларни камол топтиришга йўналтирилган хизматлар кўрсатувчи муассасалар тармоғини кенгайтириш ва бундай хизматлар турларини, масалан, халқ хунармандчилиги билан шуғулланадиган “Устоз-шогирд” гуруҳларини



кўпайтириш таълаб этилади. Қолаверса, ўқувчиларнинг бўш вақтини ташкил этишни, шу жумладан оммавий спорт ва жисмоний тарбия-соғломлаштириш тадбирларининг, болалар трузимининг, спортнинг бошқа миллий турлари ва шакллари тикланади ҳамда амалиётга жорий этилади. Айниқса миллий спорт ўйинлари ҳақида маълумотлар йиғиш, уларни бойитиш ва шулар асосида ёшларимиз ўртасида кенг ташвиқот қилиш кун тартибидаги долзарб масалалардан биридир. Шунингдек, мактабдан ташқари таълим йўналишида миллий педогогик кадриятларга асосланган ва жаҳондаги илғор тажрибаларни инобатга олувчи дастурлар ва услубий материалларни ишлаб чиқиш, жорий этиш ҳам муҳим маънога эга.

### **Фаннинг кадрлар тайёрлашдаги ўрни нималардан иборат?**

Юртбошимиз “мулоқот” журнали саҳифаларида чоп этилган “Тарихий хотирасиз келажак йўқ” асарида шундай деган эдилар:

**“Умуман, мен фанни илғор тараққиёт, прогресс деган сўзлар билан ёнма-ён қабул қиламан. Фаннинг вазифаси келажакимизнинг шаклу шамоилини яратиб бериш, эртанги кунимизнинг йўналиш-ларини, табиий қонуниятларини, унинг қандай бўлишини кўрсатиб беришдан иборат, деб тушинаман. Одамларга мустақилликнинг афзаллигини, мустақил бўлмаган миллатнинг келажаги йўқлигини, бу табиий қонуният эканини исботлаб, тушунтириб бериш керак. Фан жамият тараққиётининг олға силжитувчи кучи, воситаси бўлмоғи лозим”.**

Иқтисоди ривожланган, демократик жамият қуришнинг янги стратегияси фаннинг ҳам мазкур тизимда тутган ўрни ва ролини тубдан қайта қуришни, унинг вазифаларини аниқ белгилаб бериш заруратини илгари суради.

Биз бу ерда умуман илм-фан ҳақида эмас, балки илм-фаннинг бевосита кадрлар тайёрлашдаги ўрни ҳақида фикр юритамиз.

## **Хўш, илм-фаннинг Миллий моделдаги ўрни нимлардан иборат?**

Авваламбор, таълим тизимида етук илмий ва илмий-педагогик ходимлар тайёрлаб беради.

Фан–таълим мазмунини тубдан янгилашда: таълим стандартлари, таълим дастурлари, ўқув дарсликлари ва қўлланмалар тайёрлашда, илмий-методик таъминотни амалга оширишда бевосита ва билвосита иштирок этади.

Қолаверса, фан кадрлар тайёрлашда буюртмачи сифатида илмий изланишларни бевосита ўқув жараёни билан мутоносиблантиришга эришади.

Шу боис, мавжуд илмий, илмий педагогик салоҳият ва моддий-техник базадан кадрлар тайёрлашда самарали фойдаланиш асосий вазифаларга киради.

Мазкур вазифалар “Кадрлар тайёрлаш миллий дастури”да белгиланган бўлиб, кадрлар тайёрлаш миллий тизимида табиат ва жамият тараққиёти қонуниятлари тўғрисидаги янги фундаментал ва маънавий билимлардан фойдаланишни, юқори малакали илмий ва илмий-педагог кадрлар таркибини шакллантиришни, улардан таълим тизимида унумли фойдаланишни, шунингдек кадрлар тайёрлаш жараёнининг илмий тадқиқотлар инфраструктурасини яратиш, таълимнинг ахборот тармоқларида фойдаланиш учун билимнинг турли соҳалари бўйича ахборот баъзасини шакллантиришни ҳамда илмий тадқиқотлар даражасига янгича қарашлар замирида ёш олимларнинг, илмий-педагогик ходимларнинг ижтимоий мавқеи ва обрўсини оширишни ва шу кабиларни қамраб олади.

### **1.3. Ишлаб чиқаришнинг кадрлар тайёрлашга таъсири**

Миллий моделда ишлаб чиқариш кадрлар тайёрлаш тизимининг тенг ҳуқуқли компонентларидан бири сифатида майдонга чиқади. Чунки, ишлаб чиқариш билан кадрлар тайёрлаш тизими ўртасида бевосита тўғридан-тўғри ва қайта алоқалар мавжуд.

Ишлаб чиқариш кадрлар тайёрлаш тизимида буюртмачи ва истемолчи

функцияларини бажариб,тегишли соҳалар учун юқори малакали кадрлар тайёрлаш, қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини ошириш жараёнида фаол иштирок этади.

Ишлаб чиқариш кадрлар тайёрлаш тизимида тенг шерик сифатида иштирок этади ва ўзига ҳос бўлган аниқ вазифаларни бажаришга қаратилади. Яъни,кадрлар тайёрлашга бўлган ижтимоий буюртмани шакллантиришда алоҳида ўринга эга.

Касб-ҳунарга тайёрлашнинг мақсади, вазифаси ва мазмунини аниқлашда бевосита иштирок этиб ўз фикр мулоҳазалари, малакавий талаблари билан таълим тизимини шакллантиришда фаол иштирок этади, таълим, фан ва ишлаб чиқаришнинг мажмуа тарзидаги интеграцияси учун тегишли шароитлар яратади.

Кадрларнинг ўқиши, малакасини ошириш ва қайта тайёрлаш эҳтиёжлари учун ўзининг ихтиёридаги моддий-техника, молиявий, кадрлар ва бошқа ресурсларни тақдим этади.

Ишлаб чиқариш муассис, ҳомий ва бошқа сифатларда алоҳида мутахассисларни тайёрлашни, гуруҳларни ва ўқув юртларини молиялаш жараёнида иштирокэтиб, мутахассисларнинг касбий ривожланиши ва шахсий фаоллигини рағбатлантиради, уларни моддий ва маънавий жихатдан қўллаб-қувватлашда бевосита иштирок этади.

## **I-БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ХУЛОСАСИ**

Президентимиз И.Каримовнинг “ Баркамол авлод орзўси ” номли асарини ўрганиш жараёнида бугунги кунда таълим тизимидаги ўтказилаётган ислохвларнинг маъно-мазмуни, улардан келиб чиқадиган вазифалар бўйича етарли даражада билим ва савия шакллантирилди.

## II БОБ. АЭРО ВА ГИДРОЭЛАСТИК МАСАЛАЛАРИНИ ЎРГАНИШНИНГ ЭКСПРИМЕНТАЛ МЕТОДЛАРИ МЕХАНИКАСИ

### 2.1. Аэро ва гидроэластиклик масалалари.

Гидроэластиклик фани бир томондан эластик жисмлар харакатини иккинчи томондан улар билан ўзаро таъсирдаги қаттиқ жисмларда кечадиган механик жараёнларни ўрганиш ва аэро-гидроэластик иншоатлар, қурилмалар кучланганлиги деформацион харакатини таҳлил этиш мақсадига хизмат қилиши назарда тутилади. Туташ мухитлар механикасининг икки асосий классик бўлимлари бўлган гидромеханика ва эластиклик назарияси фанларига асосланади ва уларнинг долзарб масалаларини ечишга механик жиҳатдан самарали имкониятлар яратади.

Мазкур масалалар Н.Е.Жуковский, Стокс-Нейман, Сан-Венанлар томонидан ўрганилган, XX-аср бошларида учувчи аппаратларнинг яратилиши, ўзгарувчан массали жисмлар динамикасининг асосий қонунлари, ҳаракат тенгламаларининг яратилиши сув транспортлари технологияларини такомиллаштириш ҳамда аэро ва ракетасозлик саноатида мазкур фаннинг ахамиятини янада оширди. Умумий механикадаги классик моделлар бўлган туташ мухитлар механикаси ва деформацияланувчи қаттиқ жисмларга оид мавзуларни математик физик тенгламаларни еча билиш аэро ва гидроэластиклик масалаларини ечишда маълум қулайликлар яратади, шу билан бирга бакалаврият бўйича етарлича билимга эга бўлган талабаларга мўлжалланган хусусий хосилали дифференцион ва интеграл тенгламалар назариясини ва эластик тебранма харакатларнинг қўйилиши ҳақидаги масалаларини билишни талаб этилади.

Фаннинг ишлаб чиқишдаги ўрни, гидроэластиклик иншоатларнинг динамик кучларга бардош бера олишлиги масалалари, уларнинг мустаҳкамлиги, зилзила бардошлигини ўрганиш бу фаннинг долзарб вазифаларидан биридир. Бу фанни ўқитишда замонавий технологиялардан фойдаланиш кенг йўлга қўйилган. Гидроэластиклик масалаларининг қўйилиши, назарий ва амалий

муаммолари техник лойиҳалаш ишларида ўз тадбиғини топади. Бу масалаларни ўрганиш асосан чегаравий ва бошланғич шартларга эга бўлган одатдаги хусусий ҳосиласи дифференциал ва интеграл тенгламаларни ечиш орқали амалга оширилади. Бу моделда тенгламаларнинг структураси ва чегаравий шартларнинг ифодаланишига қараб чизиқсиз масалаларни ҳам ечишга тўғри келади. Гидроэластиклик масалаларни ечишнинг барча босқичларида турли аналитик усуллар ва махсус функциялардан фойдаланиш техник лойиҳалашда яхши самара беради. Олинган натижаларни таҳлил қилиш ва тушунтириш муҳим аҳамиятга эга бу эса конструкциялаш, иншоатларни эксплуатация қилиш ҳамда лойиҳалаш ишларида қўл келади. Баъзи ҳолларда масалаларни ечишнинг аналитик усуллари маълум чекланишларга эга бўлади. Агар учувчи қурилмалар ҳақида гап кетса, бу конструкциялардаги эластикликнинг мураккаблиги улардаги қобиқли пластинкаларнинг турли хил шаклларга эга бўлиши, масса тақсимотининг нобиржинслиги орқали таққосланади. Бошқа қонуниятларга бўйсунувчи гидро ва аэродинамик масалаларни ечишда оқимларнинг пайдо бўлиши, муҳитнинг турбулентлиги, трансвоз кўчиш катталиклари, суюқликларнинг қовушқоқлиги каби кўплаб параметрларни ҳисобга олишга тўғри келади. Бу шуни билдирадики, математик физиканинг тўғри усуллари гидро ва аэроэластик масалаларни ечишда кенг қўлланилади ва улар ёрдамида алгебраик тенгламаларнинг чизиқли ва чизиқсиз ечимлари олинади. Бунга биринчидан вариацион усуллар киради. Бу Гитц усули дейилади. Тўғри усулларга эса Бубнов-Галеркин усули киради. Бу усуллар жуда ҳам кенг тарқалган. Улар энергетик нуқтаи назардан қўлланилса, ҳар иккаласи ҳам битта ечимга эга бўлади. Кейинги пайтларда, мазкур масалаларни ечишда, сонли усуллардан фойдаланиш кенг йўлга қўйилмоқда, яъни электрон ҳисоблаш машиналари ёрдамида моделлаштириш ва бошқа электрон тизимларни бунга мисол келтириш мумкин. Бу фаннинг назарий талқини асосан сонли методлар орқали берилади. Математик методлар уларнинг классификациясини сонли методларга ўтиш билан тадқиқот натижаларидаги фарқлар орқали қараб

чиқамиз. Бу усул асосан аэроэластик масалаларини ечишда қўлланилади, улар аниқ ва ноаниқ тизимларга эга бўлади. Унинг мураккаблиги чегаравий шартларнинг қўйилишига боғлиқ.

Нобиржинсли масалаларнинг қўйилиши, яъни самолёт қанотининг чеккалари ва таянчлари мисолларида янада мураккаблашади, бунга бурчакли ва контакт зоналари ҳақидаги масалалар ҳам мисол бўлади. Шунинг учун бундай масалаларга маълум чекланишлар қўйилади ва шунга кўра бу методни чекли айрималар методи ҳам деб ҳисоблаш мумкин. Вариацион айрималар усуллари улар учун дискрет ечимларга эга бўлиб, яна алгебраик тенгламаларга келади. Бунинг қулайлиги шундаки, тенгламалар матрицаси ўзаро симметрик кўринишда бўлади.

## 2.2. Идеал эластик жисмлар

1. Хамма реал жисмлар деформацияланади. Қўйилган кучлар таъсирида улар ўз шаклини ва ҳажмини ўзгартиради. Бундай ўзгаришлар *деформациялар* деб аталади. Каттик жисмлар деформацияланганда икки чегаравий ҳолни кузатиш мумкин: *эластик деформация* ва *пластик деформация* қўйилган кучларнинг таъсири тўхтагандан сўнг йўқоладиган деформация *эластик деформация* деб аталади. Ташқаридан қўйилган кучларнинг таъсири тўхтагандан сўнг ҳам жисмда сақланадиган, ҳеч бўлмаганда қисман сақланадиган деформациялар *пластик ёки қолдик деформациялар* деб аталади. *Металларни совуқ ҳолда ишлаш* — штамповка, болғалаш ва бошқалар пластик деформацияларга асосланган. Деформациянинг эластик ёки пластик бўлиши фақатгина жисмнинг материалигагина эмас, балки *қўйилган кучларнинг катталигига* ҳам боғлиқ. Агар куч (аниқроғи, юз бирлигига тўғри келувчи куч, яъни кучланиш) *эластиклик чегараси* деб аталувчи маълум катталиқдан ортмаса, вужудга келадиган деформация эластик деформация бўлади. Агар куч ўша чегарадан катта бўлса, вужудга келадиган деформация пластик деформация бўлади. Эластиклик чегарасининг қийматлари турли материаллар учун турличадир. У батамом аниқ белгиланган катталиқ эмас. Жисмларни эластик ва пластик

жисмларга ажратиш ҳам маълум даражада шартлидир. Умуман айтганда, ҳамма деформациялар ҳам, ташки кучларнинг таъсири тўхтагач, бутунлай йўқолиб кетмайди, шу сабабли пластик деформация бўлади. Лекин, агар қолдиқ деформациялар нихоятда кичик бўлса, уларни кўп ҳолларда эътиборга олмаслик мумкин. Бундай қилиш мумкин бўлиши учун қолдиқ деформациянинг катталиги қандай бўлиши конкрет шарт-шароитга боғлиқдир. Баъзи ҳолларда, масалан, қолдиқ деформациялар кўйилган кучлар таъсирида ҳосил бўлган максимал қийматларнинг 0,1% микдоридан ошмаса, уларни ҳисобга олмаслик мумкин. Бошқа ҳолларда бу чегара 0,01% гача пасайтирилиши керак ва ҳоказо.

2. Бу бобда биз фақат эластик деформацияларни текшириш билан чекланамиз. Шунинг билан бирга биз ҳодисаларни фақат механикасига тўхталиб, уларнинг физикаси билан шуғулланмаймиз. Механика жисмларнинг эластик хусусиятларини турли жисмлар учун турлича бўлган физик ҳолатига (масалан, температурасига) боғлиқ бўлган ва эмпирик равишда киритиладиган эластик доимийлар орқали тавсифлайди. Масалага бундан чуқурроқ ёндашиш учун деформация ҳодисасини атомистик нуқтаи назардан қараш керак. Бу билан *каттиқ жисм назарияси* шуғулланади. Бу назария, умуман деформацияланувчи жисмлар механикасининг асосий тенгламаларини атомистик нуқтаи назардан келтириб чиқаришга имконият берибгина қолмай, модданинг эластик доимийлари билан унинг бошқа физик хусусиятлари орасидаги боғланишни аниқлашга ҳам имкон беради.

Жисмларни биз идеал эластик деб ҳисоблаймиз. Фақат эластик, лекин пластикмас, деформацияларга бой булиши мумкин булган идеаллаштирилган жисмлар ана шундай деб аталади. Реал жисмларга кўйилган кучлар эластиклик чегарасидан ошмаганда бундай идеаллаштиришдан фойдаланиш мумкин. *Идеал эластик жисмлар учун таъсир қилаётган кучлар билан улар вужудга келтирадиган деформациялар орасида бир қийматли муносабат бор.* Пластик деформация ҳолида бундай бир қийматли муносабат мавжуд эмас. Бу шундан

хам кўриниб турибдики, пластик деформациядан олдин ва ундан кейин, гарчи бу икки ҳолда жисмга ҳеч қандай ташқи куч таъсир қилмасда, жисм турлича шаклга эга бўлади. Биз фақат *кичик деформацияларни* текшириш билан чекланамиз. *Кичик деформациялар* деб Гук қонунига бўйсунадиган эластик деформацияларга айтилади. Гук қонуни шундай тақрибий қонунки, унга мувофиқ *деформациялар уларни вужудга келтирадиган кучларга пропорционалдир.*

3. Қаттиқ жисмлар *изотроп* ва *анизотроп* жисмларга бўлинади. Барча йўналишлари бўйича бирдай хоссаларга эга бўлган жисмлар *изотроп жисмлар* деб аталади. Турли йўналишлари бўйича турлича хоссаларга эга булган жисмлар *анизотроп жисмлар* деб аталади. Анизотроп жисмларнинг типик вакили *кристаллардир.* Келтирилган таърифларда маълум ноаниқлик бор, чунки уларда қайси физик хосса ҳақида сўз бораётгани очиқ кўрсатилмаган. Гап шундаки, *жисмлар бирор хоссага нисбатан узини изотроп жисм каби тутиши, бошқаларига нисбатан эса анизотроп жисм каби тутиши мумкин.* Чунончи, *кубик системадаги* ҳамма кристаллар улардан ёруғлик ўтишида ўзини изотроп жисм каби тутди. Аммо, агар уларнинг эластиклик хоссаларига қизиқсангиз, улар анизотроп бўлади. Бу бобда бизни жисмларнинг эластиклик хоссаларига нисбатан уларнинг изотропияси ва анизотропияси қизиқтиради. Лекин биз энг содда ҳол билан, яъни изотроп жисмлар билан чекланамиз. Металлар одатда *поликристаллик структурага* эга буладиган, яъни тартибсиз равишда ориентацияланган жуда майда кристаллчалардан иборатдир. Бу кристаллчаларнинг ҳар биттаси анизотроп жисм булади. Лекин жуда кўп сонли кристаллчалардан иборат бўлган бир бўлак металл, агар ундаги кристаллчаларнинг турли-туман ориентацияланиши бир хил эҳтимол билан учраса, ўзини изотроп жисмдек тутди. Кристаллчаларнинг ориентацияланиши даги тартибсизлик пластик деформация натижасида бузилиши мумкин. У ҳолда пластик деформациядан кейин металл анизотроп бўлиб қолади. Бундай ходиса, масалан, симларни чўзишда ва бурашда кузатилади.



### 2.3. Суюқлик ва газларнинг умумий хоссалари

1. Каттиқ жисмлардан фарқли равишда, суюқлик ва газлар мувозанат ҳолатда шакл эластикликлигига эга эмас\*. Улар фақат хажмий эластикликка эга бўлади. Мувозанат ҳолатда турган суюқлик ва газдаги кучланиш ҳамма вақт ўзи таъсир қилаётган юзачага перпендикуляр бўлади. Тангенциал (уринма) кучланишлар жисмдаги элементар хажмларнинг фақат шаклинигина ўзгартиради (силжишлар), лекин умумий хажмнинг катталигини ўзгартрмайди. Суюқликларда ва газларда бундай деформациялар учун зўриқиш талаб қилинмайди, шу сабабли бундай муҳитларда мувозанат ҳолатда тангенциал кучланишлар вужудга келмайди. Механика нуқтаи назаридан суюқликлар ва газларни мувозанат ҳолатда тангенциал кучланишлар мавжуд бўлолмайдиган муҳитлар сифатида таърифлаш мумкин.

Бу таърифдан мувозанат ҳолатида суюқлик ва газдаги нормал кучланишнинг катталиги ўзи таъсир қилаётган юзачанинг ориентациясига боғлиқ бўлмаслиги келиб чиқади. Буни исбот қилиш учун ихтиёрий вазиятдаги юзачани олиб, унинг ташқи нормалини бирлик вектор,  $\eta$  билан характерлаймиз. Кучланиш юзачага перпендикуляр бўлгани учун уни  $\sigma_\eta = -P_\eta$  кўринишда ифодалаш мумкин. Координата ўқларига перпендикуляр юзачалардаги кучланишлар  $\sigma_x = -P_x i$ ,  $\sigma_y = -P_y j$ ,  $\sigma_z = -P_z k$  шаклда ёзилади; бу ерда  $i$ ,  $j$ ,  $k$  — координата ортлари. Бу қийматлардан, қуйидаги натижани оламиз:

$$Pn = P_x n_x i + P_y n_y j + P_z n_z k..$$

Бу муносабатни кетма-кет  $i$ ,  $j$ ,  $k$  га скаляр купайтириб, қуйидагини топамиз:

$$P = P_x = P_y = P_z \quad (2.3.1)$$

Бундан мувозанат ҳолатда нормал кучланиш (босим  $P$ ) ўзи таъсир қилаётган юзачанинг ориентациясига боғлиқ эмас, деган хулоса чиқарамиз. Бу — Паскаль (1623—1662) қонунидир.

2. Газларда нормал кучланиш ҳамиша газнинг ичига қараб йўналган бўлади, яъни босим характериға эға бўлади. Суюқликларда эса баъзан шундай ҳолларни ҳам амалға ошириш мумкинки, уларда нормал кучланиш *тарангликдан* иборат бўлади (манфий босим): суюқлик ўзилишға қаршилиқ курсатади. Бу қаршилиқ, умуман айтганда, анчагина катта ва бир жинсли суюқликларда бир квадрат миллиметрга бир неча ун ньютон туғри келади. Аммо одатдаги суюқликлар бир жинсли эмас. Уларда ниҳоятда майда газ пуфакчалари бўлиб, улар худди таранг тортилган арқондаги тилинган жойлар каби роль уйнайди ва суюқликнинг узилишға мустаҳдамлигини жуда бушаштириб юборади. Шунинг учун кўпчилик ҳолларда суюқликлардаги кучланишлар ҳам босим характериға эға бўлади. Мана шу сабабдан биз нормал кучланишни ифодалаш учун —  $P_n$  символдан (босим) фойдаланамиз,  $+T_n$  символдан (таранглик) фойдаланмай миз. Агар босим тарангликка ўтса, яъни манфий бўлиб қолса, бу ҳол, одатда, суюқлик туташ муҳитлигининг бузилишиға олиб келади.. Юқорида қайд қилинган хоссалар билан яна шу нарса ҳам алоқадорки, газлар чексиз кенгайиш қобилиятиға эға: газ ўзи солинган идиш хажмини ҳамма вақт бутунлай тулдириб туради. Аксинча, ҳар бир суюқлик аниқ, бир уз хажмиға эға булиб, ташки босим узгариши билан у озгина узгаради. Суюқликларнинг эркин сирти бўлади ва улар томчиларға йиғила олади. Бу ҳолни таъкидлаш мақсадида суюқ муҳитларни *томчили суюқ* муҳитлар деб ҳам аталади. Механикада томчили суюқликларнинг ва газларнинг ҳаракатини текширишда газларни одатда суюқликнинг хусусий холи деб қаралади. Шундай қилиб, умумлаштирилган маънода суюқлик деганда ё томчили суюқлик, ё газ тушунилади. *Механиканинг суюқликлар ҳаракатини ва мувозанатини ўрганиши билан шуғулланадиган бўлими гидродинамика* деб аталади.

3. Суюқликда мавжуд бўлган босим унинг сиқилганлигидан келиб чиқади. Тангенциал кучланишлар вужудға келмагани учун суюқликларнинг кичик деформацияларға нисбатан эластик хусусиятлари фақат битта эластик доимий билан: *сиқилувчанлик коэффициентини*.

$$\gamma = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP} \quad (2.3.2)$$

билан ёки бунга тескари катталиқ — *ҳар томонлама сиқилиш модули*.

$$K = -V \frac{dP}{dV} \quad (2.3.3)$$

билан характерланади. Сиқилиш вақтида суюқликнинг температураси ўзгармайди, деб фараз қилинади. Температура ўзгариши билан бирга содир бўладиган деформацияларни текширишда (2.2) ва (2.3) ўрнига:

$$\gamma_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dP} \right)_{T=const} \quad (2.3.2a)$$

$$K_T = -V \left( \frac{dP}{dV} \right)_{T=const} \quad (2.3.3a)$$

деб ёзиш ва  $\gamma_T$  билан  $K_T$  ни *ҳар томонлама сиқилишнинг изотермик коэффиценти ва модули* деб аташ афзалроқдир. Амалда иссиқлик алмашилишсиз содир бўладиган тез жараёнларда *адиабатик коэффицентлар ва эластиклик модуллари* муҳим аҳамиятга эга.

Қаттиқ жисмларнинг деформацияларини текширишда ҳар томонлама сиқилиш модулини биз формула билан аниқлаган эдик. Ўша формула (2.3) формуладан шу билан фаркланадики,  $\partial P$  катталиқ урнида унда  $P$  туради. Бундай аниқлаш шунинг учун мумкин булган эдики, ташқи босим  $P$  нолга тенг бўлганда қаттиқ жисм аниқ бир ҳажмга эга бўлади ва бу ҳажм, ҳатто  $P$  чекли миқдорга ўзгарганда ҳам, жуда кам ўзгаради. Агар  $\partial P = P - P_0$  деб олиб,  $P_0 = 0$  деб ҳисобласак, (2.3.3) формула (2.3.1) формулага ўтади. Томчили суюқликлар учун ҳам шундай йул тутиш мумкин эди. Аммо газлар учун (2.3.1) формула ярамайди. Умумийроқ (2.3.3) формуладан фойдаланиш керак бўлади, чунки

ташқи босим булмаса, газнинг ҳажми чексиз катта бўлиб кетади. товушнинг газлардаги тезлиги ҳақидаги масалани кўрганимизда худди шундай йул тутган эдик.

Жисмнинг  $P_0$  босимли (ва  $T$  температурали) бирор ҳолатини биз *нормал ҳолат* учун қабул қилиб, жисм ҳажмининг ўзгаришларини шу нормал ҳолатга нисбатан олиб қараймиз, деб айтиш ҳам мумкин. Қаттиқ ва томчили суюқ жисмларда эластиклик модули (2.3.3) анча кенг диапазонда  $P_0$  нинг катталигига боғлиқ бўлмайди. Шу сабабли ҳам  $P_0 = 0$  деб ҳисоблаш мумкин. Газлар учун эса  $P_0$  нинг кийматини конкретлаштириш муҳим. Бу ҳолда  $P_0$  ни нолга тенглаштириб бўлмайди. Масалан, агар Бойль—Мариоттнинг  $P \sim 1/V$  ( $T = \text{const}$  бўлганда) қонунидан фойдалансак, (2.3.3) дан  $K = P$  тенгликни олиш осон. Бундан кўринадики, газнинг босими (берилган температурадаги) кўрсатилгандагина унинг эластиклик модули ҳақида гапириш мумкин.

4. Томчили суюқликларнинг сиқилувчанлиги жуда кичик, бўлишини қуйидаги ажойиб тажриба ёрдамида намоиш қилиш мумкин. Пластмассадан ясалган идиш ярмигача сувга тулдирилади. Агар кичик калибрли милтиқдан, сув сиртидан юқорироқдан ўтадиган қилиб уқ отилса, фақат идиш деворларида тешиқларгина колдиради, идишнинг ўзи эса бутун қолади. Агар уқ идишга сув сиртидан бир неча сантиметр пастроққа тегса, идиш парча-парча бўлиб кетади. Гап шундаки, уқ сувга кириши учун ё уни уз ҳажмига тенг ҳажмга сиқиши, ё уни юқорига сиқиб чиқариши керак. Сиқиб чиқариш учун вақт етишмайди. Сиқилиш содир булади ва суюқлик ичида катта босим ривожланиб, идиш деворларини ёриб ташлайди. Бу тажрибани ўтказиш учун сув тўлдирилган ёғоч яшиқлар ёки қоғоз қутичалар ҳам яроқлидир. Қоғоз қутича олинган ҳолда пневматик милтиқ билан тажриба муваффақиятли чиқади. Сув ости кемаларига қарши ишлатиладиган чуқурлик бомбалари портлаганда ҳам худди шунга ўхшаш ҳодисалар содир бўлади. Сувнинг сиқилувчанлиги кичик бўлгани сабабли портлаш натижасида сувда ғоят катта босим вужудга келади ва сув ости кемасини парчалаб ташлайди.

Сууюкликлар сиқилувчанлигининг кичиклиги кўпгина холларда улар хажмининг ўзгаришларини мутлако ҳисобга олмаслик имконини беради. У холда *абсолют сиқилмас* сууюклик тушунчаси киритилади.

Бу — идеаллаштириш бўлиб, ундан ҳамма вақт фойдаланилади. Албатта, сиқилмас сууюкликда ҳам босим унинг сиқилиш даражаси билан аниқланади. Аммо хатто жуда катта босимларда ҳам, «сиқилмас сууюкликлар» хажмининг ўзгаришлари шунчалик арзимаски, уларга эътибор бермаслик мумкин. Айтиш мумкинки, сиқилмас сууюклик — бу сиқилувчан сууюкликнинг лимит ҳоли бўлиб, унда чексиз катта босимларни ҳосил қилиш учун чексиз кичик сиқилишларнинг узи етарлидир. Сиқилмас сууюклик ҳам худди қаттиқ жисм каби абстракциядир. Қаттиқ жисмларнинг деформациялари ички кучланишларнинг вужудга келиш механизмини ойдинлаштириш учун муҳим. Лекин деформациялар кичик бўлганда, бир қатор холларда, реал жисмни идеаллаштирилган қаттиқ жисм билан алмаштириш мумкин. Қаттиқ жисм — бу реал жисмнинг лимит ҳоли бўлиб унда чексиз катта кучланишларни ҳосил қилиш учун чексиз кичик деформациялар етарлидир.

Реал сууюликни идеал сууюлик билан алмаштириш мумкинми йўқми, эканлиги сууюликнинг сиқилувчанлиги қанчалик кичиклигидан ҳам қура, жавоби изланаётган саволларнинг мазмунига кўпроқ боғлиқдир. Масалан, товуш тулқинлари қаралаётганда, сууюликларнинг сиқилувчанлигига эътибор бермаслик, умуман, принцип жиҳатидан мумкин эмас. Ҳаво оқимлари текшириляётганда, агар босим ўзгаришлари унчалик катта бўлмаса, ҳавони қупинча сиқилмас сууюлик деб қараш мумкин.

5. Мувозанат ҳолатида сууюликнинг (ёки газнинг) босими  $P$  унинг зичлиги  $\rho$  ва температураси  $T$  ўзгариши билан ўзгаради. Босим бу параметрларнинг қиймати билан бир қийматли аниқланади. Босим, зичлик ва температура орасидаги мувозанат ҳолат учун ёзилган

$$P = f(\rho, T) \quad (2.3.4)$$

муносабат *холат тенгламаси* деб аталади. Бу тенглама ҳар хил моддалар учун ҳар хил кўринишга эга ва сийраклашган газлар учун айниқса соддалик билан ажралиб туради. Ҳолат тенгламаси билан алоқадор масалалар курсимизнинг иккинчи томида мукамал текширилади. Бу ерда биз шуни кайд килиш билан чекланамизки ҳолат тенгламаси маълум булса, изотермик эластиклик модули  $K_T$  оддий дифференциаллаш билан хисобланиши мумкин. Умумий ҳолда у зичлик ва температуранинг ёки босим ва температуранинг функцияси бўлади.

6. *Агар суюқлик ҳаракатда бўлса, унда нормал кучланишлар билан бир қаторда тангенциал кучлар ҳам вужудга келиши мумкин.* Аммо тангенциал кучлар суюқликнинг деформациялари (силжишлари) билан эмас, уларнинг *тезликлари* билан, яъни деформацияларнинг вақт бўйича ҳосилалари билан аниқланади. Шунинг учун уларни *ишқаланиш кучлари* ёки *ковушқоқлик кучлари* қаторига қўшиш лозимдир. Улар *ички ишқаланишнинг тангенциал кучлари* ёки *силжиш кучлари* деб аталади. Тангенциал кучлар билан бир қаторда ички ишқаланишнинг *нормал* ёки *ҳажмий* кучлари ҳам мавжуд бўлиши мумкин. Одатдаги босимнинг  $P$  кучларидан бу кучлар шу билан фаркланадики, улар ҳам суюқликнинг сиқилиш даражаси билан эмас, *сиқилишнинг вақт ўтишидаги ўзгариш тезлиги* билан аниқланади. Бу кучлар тез ўтадиган жараёнларда, масалан, нихоятда қисқа ультратовуш тўлқинларининг тарқалишида муҳим аҳамиятга эгадир (бундай тўлқинларнинг узунлиги молекулаларнинг ўлчамларига ва молекулалараро масофаларга яқинлашади). Суюқликдаги деформацияларнинг ўзгариш тезликлари нолга интилган лимит ҳолда, суюқликда ички ишқаланишнинг ҳамма кучлари, силжишга тегишлилари ҳам, сиқилишдан келиб чиқадиганлари ҳам йўқолади. Ҳар қандай ҳаракат вақтида ҳам ички ишқаланиш кучлари (тангенциаллари ҳам, нормаллари ҳам) вужудга келмайдиган суюқлик *идеал* суюқликлар деб аталади. Бошқача айтганда, шундай суюқлик идеал дейиладик, унда суюқликларнинг сиқилиш даражаси ва температураси билан бир кийматли аниқланадиган нормал  $P$  босим кучларигина мавжуд бўлиши мумкин. Бундай кучлар фақат мувозанат

холатидагина эмас, суюқлик ихтиёрий равишда ҳаракат қилаётган холда ҳам суюқликнинг ҳолат тенгламаси (2.3.4) ёрдамида ҳисобланиши мумкин. Албатта, абсолют идеал суюқликлар бўлмайди. Бу — абстракция бўлиб, ундан суюқликдаги деформацияларнинг ўзгариш тезлиги унча катта бўлмаганда фойдаланиш мумкин.

7. Агар суюқликка тангенциал кучланишлар билан таъсир қилинса, ҳаракат вужудга келади. Пировардида бу ҳаракат тўхтайтиди ва мувозанат ҳолати ҳосил бўлиб, бу ҳолатда тангенциал кучланишлар булмайди. Суюқлик деформациясининг ўзгариш тезлиги кенг диапазонда ўзгара олади. Сув ёки спирт каби суюқликлар учун бу ўзгаришлар жуда тез амалга ошади; асал ёки қиём каби жуда қовушоқ суюқликлар учун эса жуда секин амалга ошади. Ниҳоят, шундай моддалар борки, уларга жуда тез таъсир қилинганда, узини худди қаттиқ жисмдек тутаяди, секинлик билан таъсир қилинганда эса ўзини жуда қовушоқ суюқлик каби тутаяди. Аморф қаттиқ жисмлар деб аталувчи жисмлар шундай жисмлардандир. Масалан, бир бўлак этик мўми ёки асфальт болта билан урилса, майда булакларга парчаланиб кетади. Асфальт устида туриш ва унинг устидан юриш мумкин. Лекин асфальт ҳафтала ёки ойлар давомида бочкадан оқиб чиқади. Оқиб чиқиш тезлиги температура кутарилган сари жуда орта боради. Икки учи билан таянчлар устига кўйилган шиша таёқча етарлича узоқ вақтдан кейин (ойлар ёки йиллар ўтгач) эгилади, шунинг билан бирга, агар оғирлик кучининг таъсири йўқотилса, таёқчанинг эгилганлиги йўқолмайди. Бу мисоллар шуни курсатадики, суюқликлар билан аморф қаттиқ жисмлар орасига қатъий чегара қуйиб булмайди. Ҳақиқий қаттиқ жисмлар фақат *кристаллардир*. Лекин, суюқлик деганда, биз ҳамма вақт ҳаддан ташқари катта қовушоқликка эга бўлмаган ва аморф қаттиқ жисмлардан тамомила аниқ фарқ қиладиган суюқликларни кўзда тутамиз.

## **2.4. Чегаравий қатлам ва ажралиш ҳодисаси**

1. Рейнольдс сони катта бўлганда суюқлик айланиб оқаётган жисм сиртидан узоқда қовушоқлик кучлари муқим роль уйнамайди. Бу жойларда улар, босим фарқидан келиб чиқадиган кучларга қараганда, ниҳоятда кичик бўлади. Уларни эътиборга олмай, суюқликни идеал деб ҳисоблаш мумкин. Бироқ суюқлик айланиб оқаётган жисм сиртининг яқинида бутунлай бошқа ҳол кузатилади. Қовушоқлик ишқаланиш кучлари таъсирида *суюқликнинг жисм сиртига ётишиб қолиши* вужудга келади, яъни суюқлик оқими йўналишида босим градинтининг мавжуд булишига қарамай, суюқлик зарраларини тинч ҳолатда ушлаб қолади. Бундан келиб чиқадики, жисм сиртининг яқинида қовушоқлик ишқаланиш кучлари билан босим фарқи кучлари *бир хил тартибда* бўлади, бундай бўлиши учун жисм сиртидан узоқлашиш билан суюқлик тезлиги жуда ҳам тез усиши керак. Бу тез усиш сирт яқинидаги суюқликнинг юпқагина қатламида содир булиб, бу қатлам *чегаравий қатлам* деб аталади. Чегаравий қатлам назарияси асосан Л. Прандтль томонидан яратилгандир. Бу назариянинг баъзи хулосаларини сифат жиҳатдан талқин қилиб ўтамыз.

2. Чегаравий қатламнинг қалинлиги  $\delta$  тўла ва қатъий аниқланмаган тушунчалар қаторига киради, чунки қатламнинг суюқлик томондаги чегараси кескин ажралган эмас. Қатламнинг қалинлиги фақат суюқликнинг хусусиятларигагина боғлиқ бўлмай, балки айланиб оқиладган жисм сиртининг шаклига ҳам боғлиқдир. У жисм сиртида узгармас булиб қолмай жисмнинг олдинги қисмидан кейинги қисмига қараб оқим йўналишида ўсиб боради. Шу сабабли  $\delta$  учун аниқ ифода бўлиши мумкин эмас. Сўз фақат баҳолаш ҳақида бориши мумкин. Чегаравий қатламда қовушоқлик кучлари билан босим фарқидан келиб чиқадиган кучлар бир хил тартибда бўлишини эътиборга олсак, қатламнинг қалинлигини баҳолаш осон. Дастлаб чегаравий қатламдаги суюқликнинг ҳажм бирлигига таъсир қилувчи  $f_{\text{ишк}}$  қовушоқлик ишқаланиш кучини баҳолаймыз. Чегаравий қатламда тезликнинг оқимга кўндаланг йўналишдаги градиненти  $v/\delta$  тартибдаги катталиқдир. Чегаравий қатламнинг S



юзига таъсир килаётган ковушоклик кучи  $\sim \eta S v / \delta$  булади; ҳажм бирлигига таъсир қилувчи куч эса

$$f_{\text{ишк}} \sim \frac{\eta S v / \delta}{S \delta} = \eta \frac{v}{\delta^2}$$

Энди босимлар фарқи кучи  $f_{\text{бос}}$  ни, унинг ҳам суюқликнинг кажм бирлигига нисбатини бақолаймиз. У  $f_{\text{бос}} = -\text{grad } P$  бўлади. Чегаравий қатламнинг кўндаланг йўналиши бўйича босим ниҳоятда кам ўзгаради ва умуман, биз кураётган масалада унинг ахамияти йук, бизни фақат босимнинг *оқим йўналишидаги* градиентигина кизиктиради. Уни суюқликнинг ташқи оқимини, яъни чегаравий қатламдан ташқаридаги оқимни текшириш билан бақолаш мумкин. Бу оқимга  $P = P_0 - \frac{1}{2} \rho v^2$  Бернулли тенгламасини татбиқ қилиш мумкин бўлиб, ундан  $\text{grad } P = -(\rho/2) \text{grad } v^2$  келиб чиқади. Демак,  $f_{\text{бос}}$  куч уз тартиби бўйича  $f_{\text{бос}} \sim \rho v^2 / l$  бўлади; бунда  $l$  — суюқлик айланиб оқаётган жисмнинг характерли чизикли ўлчовидир. Бу икки  $f_{\text{ишк}}$  ва  $f_{\text{бос}}$  кучларни тенглаб, элементлар арифметик амалларни бақаргач, куйидаги натижани оламиз:

$$\delta \sim \sqrt{\frac{\eta l}{\rho v}}, \quad (2.4.1)$$

ёки 
$$\delta \sim \frac{l}{\sqrt{\text{Re}}} \quad (2.4.2)$$

Масалан,  $v = 30$  м/с тезлик билан ҳаракатланаётган ҳаво оқимида  $D = 10$  см диаметрли шар учун Рейнольдс сони  $\text{Re} = vD / \nu = 2 \cdot 10^5$  булади (ҳавонинг  $20^\circ\text{C}$  даги кинематик ковушоклиги  $\nu = 0,15$  см<sup>2</sup>/с). Чегаравий қатламнинг калинлиги эса  $\delta \approx D / \sqrt{\text{Re}} \approx 0,2$  мм.

3. Рейнольдс сони кичик бўлганда, яъни унинг тартиби бирга яқин ёки ундан ҳам кичик бўлганда (2.4.2) формулани чиқариш учун асос бўлган

мулоказаларни татбиқ қилиб бўлмайди. Шунга қарамай, бу ҳолларда ҳам (2.4.2) формула сифат жиҳатидан тўғри бўлган шундай хулосага олиб келади ки, унга кўра чегаравий қатламнинг қалинлиги жисмнинг ўлчовлари тартибида бўлади. Бундай шароитда чегаравий қатлам ҳақида гапиришнинг маъноси колмайди. Суюқликнинг труба бўйича стационар ламинар оқишига ҳам чегаравий қатлам ҳақидаги тушунчани татбиқ қилиб бўлмайди. Бунинг сабаби шундаки, бундай ҳаракат вақтида қовушоқлик кучлари фақат труба деворлари яқинидагина эмас, балки суюқликнинг бутун ҳажмида босим градиенти билан мувозанатлашади. Ҳақиқатан ҳам, думалоқ трубадаги суюқликнинг тезлиги куйидаги ифода билан аниқланади:

$$v = v_0 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right).$$

Тезлик тақсимотининг профили суюқликнинг қовушоқлигига мутлақо боғлиқ эмас, демак, Рейнольдс сонига ҳам боғлиқ эмас. Агар чегаравий қатлам ҳақидаги тушунчадан фойдалансак, Рейнольдс сони қандай бўлса ҳам, чегаравий қатлам бутун трубани тўлдиради, деб айтишимиз керак. Аммо бундай шароитда чегаравий қатлам тушунчаси ўз маъносини йўқотади. Шунинг учун бундан кейин бундай ҳолларга тўхталмаймиз, сўз жисмни айланиб оқаётган суюқлик оқими ҳақида боради, шунинг билан бирга Рейнольдс сони катта деб фараз қилинади.

4. Чегаравий қатламда тезлик қатламга перпендикуляр йуналишда ўзгаргани сабабли, суюқликнинг чегаравий қатламдаги ҳаракати уюрмали бўлади. Ҳар қандай уюрмали ҳаракатда эса айланиш бор булади, ҳаракат микдорининг моменти шу айланишга боғлиқдир.

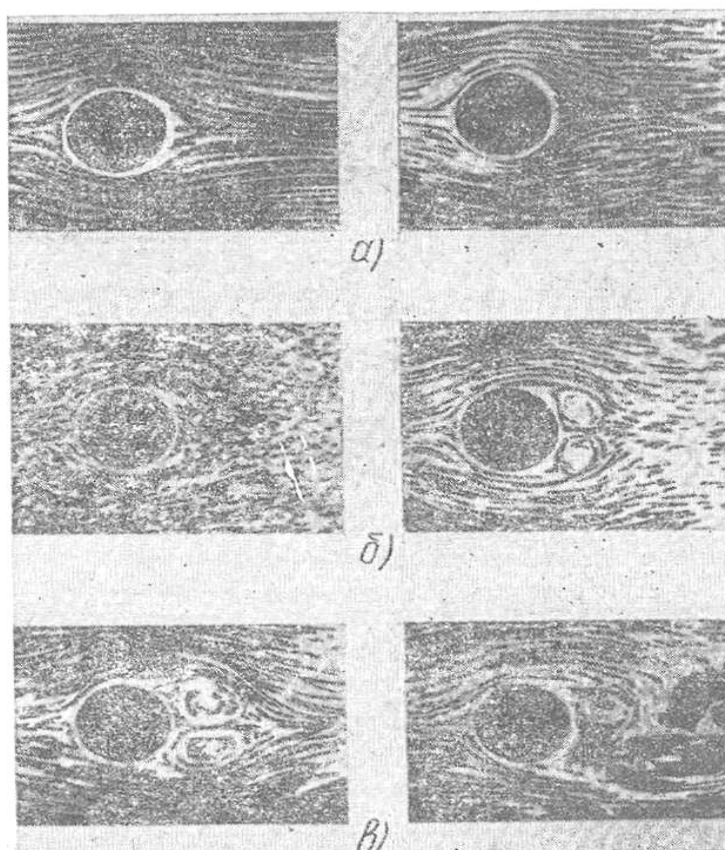
Агар қовушоқлик кучлари таъсирида вужудга келадиган чегаравий қатлам жисмдан ажралмаса эди, суюқлик ҳаракатини текширишни, уни идеал деб фараз қилиш билан амалга ошириш мумкин бўлар эди. Чегаравий қатламнинг таъсири ҳам жисмнинг эффе́ктив ўлчовларининг бироз катталашишидангина иборат бўлар эди. Жисмнинг оқимга қараган олд қисмида чегаравий қатлам

Ўзини худди мана шундай тутади. Аммо жисмнинг орқа қисмида чегаравий қатлам кўпчилик ҳолларда жисмнинг сиртидан вақти-вақти билан *ажралиб туради*. Бундай ҳолларда қовушоклик кучларини бутунлай йуқ деб фараз қилиш ҳақиқатга ҳеч тўғри келмайдиган хулосаларга олиб келади. Чегаравий қатламнинг ажралиши суюқликнинг жисми айланиб оқиш манзарасини бутунлай ўзгартириб юборади.

Нима сабабдан чегаравий қатламнинг ажралиши юз беради ва бу қандай оқибатларга олиб келади? Қовушоклик кучлари туфайли суюқлик зарралари чегаравий қатламда ташқи оқимга нисбатан сустроқ ҳаракатланади. Ташқи оқимда оқимнинг тезланишини ёки секинлашишини вужудга келтирувчи босим фарқи бор. Чегаравий қатламда ҳам худди шундай босим фарқи мавжуд бўлиши керак, чунки қатламнинг чегаралари орасидаги босимлар фарқи ҳисобга олмаслик мумкин бўлган даражада кичик (акс ҳолда чегаравий қатламдаги суюқлик зарралари жисм сиртига перпендикуляр йўналишда тезланишга эга бўлар эди). Жисмнинг олд қисмини айланиб оқаётган ташқи оқимда суюқлик ҳаракат қилаётган йўналишда босим пасайиб боради. Бинобарин, чегаравий қатламда ҳам худди шундай булади. Босим фарқи кучи оқим бўйича йўналган бўлади. Шунинг учун фақат ташқи оқимдагина эмас, балки чегаравий қатламда ҳам суюқлик зарраларининг тезлиги орта боради. Бу ҳол уларга, ишқаланиш кучларининг таъсирига қарамай, жисм сирти бўйлаб ҳаракат қилишар давом этиш имконини беради. Жисмнинг орқа қисмини айланиб оқаётган оқимда узгача ҳол бўлади. Бу ерларда босим оқим йўналишида орта боради. Ҳаракат ташқи оқимда ҳам, чегаравий қатламда ҳам секинлашади. Чегаравий қатламда зарралар ташқи оқимга нисбатан сустроқ ҳаракатлангани учун етарлича секинлашиш натижасида улар тўхтаб қолиши ва ҳатто тескари томонга ҳаракат бошлаши ҳам мумкин. Бунинг натижасида, гарчи ташқи оқим илгаригича олдинга ҳаракатланишни давом эттирса ҳам, жисм сирти яқинида суюқликнинг *қайтма ҳаракати* вужудга келади. Қайтма оқим вужудга келган жойларда оқиб келаётган янги суюқлик массалари ҳам

дастлаб тухтайди сўнгра орқага томон ҳаракат қила бошлайди. (Ташқи оқимнинг секинлашиши етарли даражада кучли булмаганда чегаравий қатламнинг кайтма оқими вужудга келмаслиги ҳам мумкин.) Жисм сирти билан ташқи оқим орасида тормозланган суюқлик миқдори тез ортиб кетади, кайтма оқим тобора кенг ёйилади ва нихоят ташқи оқимни жисм сиртидан бутунлай итариб юборади. Оқимнинг ўзи айланиб оқаётган жисмдан ажралиши вужудга келади. Хосил бўладиган узилиш сирти барқарор эмас ва тезда уюрмага ўралиб кетади. Шунинг билан бирга тормозланган суюқликнинг бир қисми уюрма соҳасига тортилиб кетади, уюрманинг ўзини эса оқим ўзи билан олиб кетади.

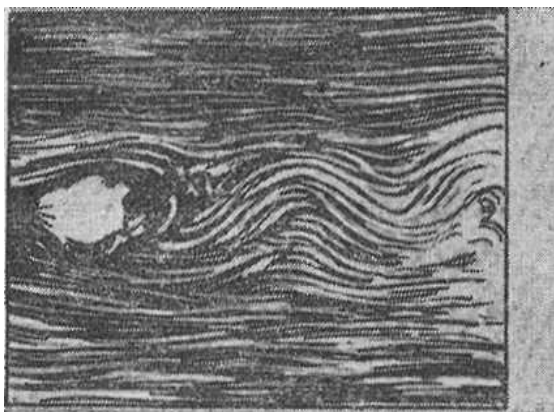
б. Уюрманинг вужудга келишидаги бу стадияларнинг (босқичларнинг) ҳаммаси 1-а, б, в расмлардан жуда яхши кўринади. Бу расмларда кўзғалмас цилиндрни айланиб оқаётган сув оқимининг олтига кетма-кет фотосуратлари келтирилган\*. Оқим чизиқларини



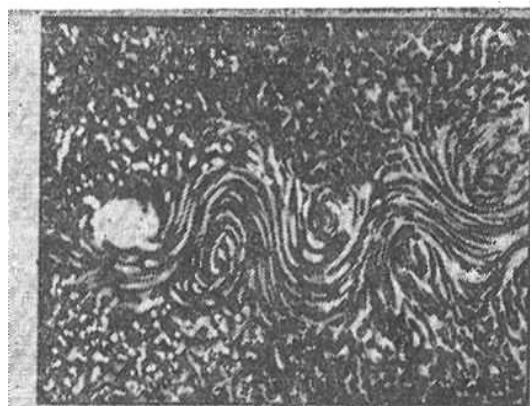
1-расм

кўринадиган қилиш учун оқаётган сувнинг сиртига алюминий порошоги

сепилган. Дастлабки вақтда цилиндрнинг атрофида потенциал оқим вужудга келган, унинг оқим чизиқлари цилиндрнинг олд қисмида икки томонга бўлиниб, цилиндрнинг орқа томонида яна бирлашади. Ундан кейинги фотосуратлар суюқлик оқимининг кейинги узгаришларини кўрсатади. Охириги учта фотосуратдан кўринадики, цилиндрнинг орқа томонида иккита уюрма ҳосил бўлади. Аввал уларнинг биттаси, сунгра иккинчиси ҳам цилиндрдан ажралади ва суюқлик оқим уларни олиб кетади. Оқим олиб кетган уюрмалар ўрнига янгилари пайдо бўлади, улар жисмдан юқорида ва пастда ажралаётган иккала оқимларнинг ҳар бирида галма-галдан пайдо бўлиб туради. Бу уюрмаларнинг ҳаммаси жисмдан бир хил тезлик билан олиб кетилади.



2- расм

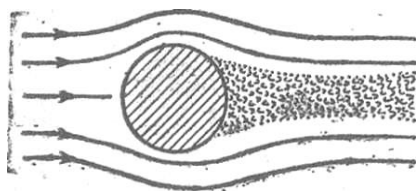


3- расм

Уюрмаларнинг бундай системаси уни назарий жиҳатдан текширган олимнинг номи билан *Карманнинг* (1881—1963) *уюрма чизиқлари* деб аталади. У 2-расм ва 3-расмларда кўрсатилган. Биринчи расмда оқимнинг цилиндр кузгалмас бўлган санок системасидаги манзараси кўрсатилган бўлиб, бу ҳолда суюқлик чапдан ўнгга оқади, иккинчи расмда эса ғалаёнланмаган суюқлик кўзгалмас бўлган санок, системасидаги манзара кўрсатилган бўлиб, бунда цилиндр ўнгдан чапга ҳаракатланади. Уюрмалар оқим тезлигидан кичикроқ тезлик билан олиб кетилади, чунки уюрмаларга йиғилган суюқлик зарралари жисмни айланиб оқиш вақтида тормозланган бўлади. Шу сабабли ўз ичида уюрмаларни олиб

борувчи суюқлик оқими олиб кетаётган импульс жисмга тўқнашаётган оқим олиб келаётган импульсдан кичик бўлади. Суюқлик оқими импульсининг бу камайиши жисмга оқим йўналишида таъсир қилувчи пешона қаршилиқ кучининг вужудга келишида намоён бўлади.

7. Юкорида баён қилинганлардан кўринадики, чегаравий қатлам тушунчасидан фақат жисмнинг олд қисмидагина фойдаланиш мумкин. Бу қисм оқимнинг жисм сиртидан ажраладиган жойигача боради (бу жой *ажралиш чизиғи* деб аталади). Шу жойдан бошлаб, жисмнинг орқа томонида оқимнинг шундай бир соҳаси пайдо бўладики, унинг узунлиги одатда жисмнинг характерли ўлчовларидан кўп марта катта булади (4-расм).



4-расм

Бу соҳага чегаравий қатламдаги зарралар келиб қўшилади. Шу сабабли ундаги уртача оқим тезлиги жисмга келиб урилаётган оқим тезлигидан кичик, оқимнинг узи эса уюрмали ва купинча турбулент бўлади. Бу соҳа из деб аталади. Пешона қаршилиқнинг бир қисми, яъни жисмнинг олдинги ва орқа қисмларидаги босимлар фарқидан келиб чиқадиган қисми худди мана шу изнинг мавжудлиги билан тушунтирилиши мумкин. Ажралиш соҳаси қанча кенг бўлса, яъни из қанча кенг бўлса, бошка факторлар бир хил булганда, пешона қаршилиқ ҳам шунча катта бўлади. Кейинги параграфда курамизки, кўтариш кучининг вужудга келишини ҳам изнинг мавжудлиги билан тушунтириш мумкин.

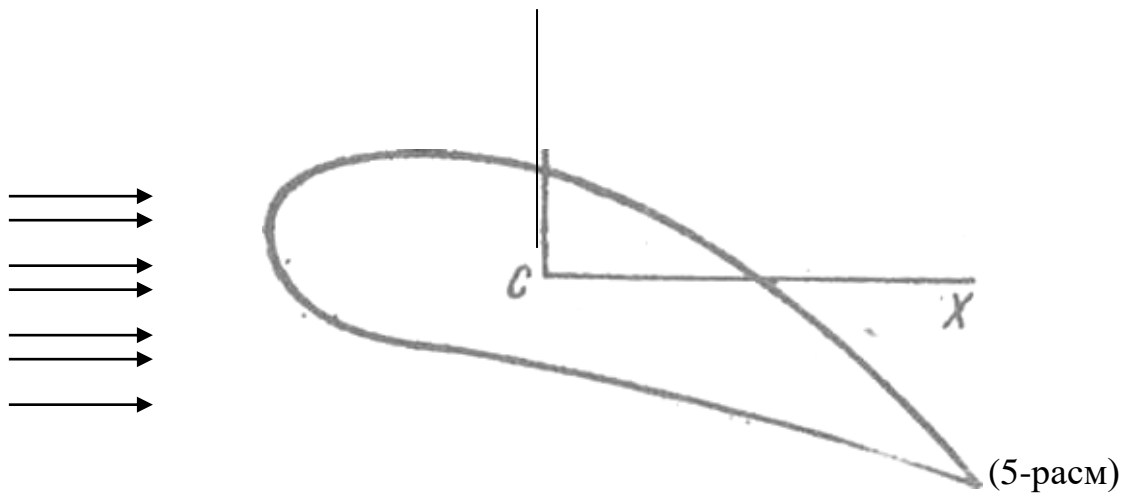
8. Рейнольдс сони унча катта бўлмаганда чегаравий қатламдаги ҳаракат ламинар оқим бўлади. Рейнольдс сони катталашганда ламинар оқим беқарор бўлиб қолади ва чегаравий қатламда турбулизация бошланади. Турбулизация чегаравий қатламнинг ажралиш чизиғига яқин орқа қисмидан бошланади ва

аста-секин қатламнинг олд қисмига ёйилади. Шундай қилиб, чегаравий қатламнинг олд қисми ламинар бўлиб, кейинчалик турбулентликка ўтади, ажралиш чизиғидан орқа томонда эса из ҳосил бўлади. Шар учун чегаравий қатламнинг турбулизацияси Рейнольдс сонининг  $\sim 3 \cdot 10^5$  қийматларидан бошланади. Чегаравий қатламнинг турбулизацияси натижасида ажралиш чизиғи жисмнинг орқа қисмига томон силжийди ва бу билан боғлиқ равишда из тораяди. Бунинг натижасида пешона қаршилиқ коэффициенти  $C_x$  ва ҳатто пешона қаршилиқнинг узи  $F_x$  ҳам камаяди. Бу ҳодиса *қаршилиқ кризиси* деб аталади! Агар оқим тезлиги купайиши билан ажралиш чизиғи силжимаса, қаршилиқ кризиси бошланмаслиги ҳам мумкин. У ҳолда қаршилиқ коэффициенти  $C_x$  Рейнольдс сонига боғлиқ бўлмай қолади. Масалан, ўткир қиррали пластинка оқимга перпендикуляр қўйилганда ана шундай бўлади. Бу ҳолда ажралиш чизиғи соф геометрик мулоҳазалар билан аниқланади ва пластинканинг қирралари билан устма-уст тушади.

## 2.5. Самолёт қанотининг кўтариш кучи ва унинг ҳаракати

1. Кўтариш кучининг вужудга келиши ҳам ажралиш ҳодисаси билан боғлиқ. Гарчи ҳар қандай бошқа шакллардаги жисмларга таъсир қилувчи кўтариш кучи нинг вужудга келиш механизми бир хиллигича қолсада, бизни асосан самолёт қанотига таъсир қилувчи кўтариш кучи қизиқтиради. Самолёт ўзгармас тезлик билан учаётганда унинг фазодаги ориентацияси ўзгармас сақланади. Бу шуни кўрсатадики, бундай учиб вақтида самолётга таъсир қилаётган ҳамма ташқи кучларнинг моментлари мувозанатлашади, унинг ҳаракат миқдори моменти эса ўзгармас бўлади. Масалани соддалаштириш учун ҳавода текис ҳаракатланаётган ва расм текислигига перпендикуляр равишда ўрнатилган айрим бир қанотни олиб қараймиз (5-расм)

2



Қанотни чексиз узун деб фараз қиламиз. Бундай қанот *чексиз узун кулочли қанот* деб аталади. Қанот билан боғланган санок системасига ўтиш қулай, бунинг учун координаталар бошини қанотнинг бирор нуқтасида, масалан, унинг массалар маркази  $C$  нуқтада жойлаштирамиз. Равшанки, бу санок системаси инерциал система бўлади.

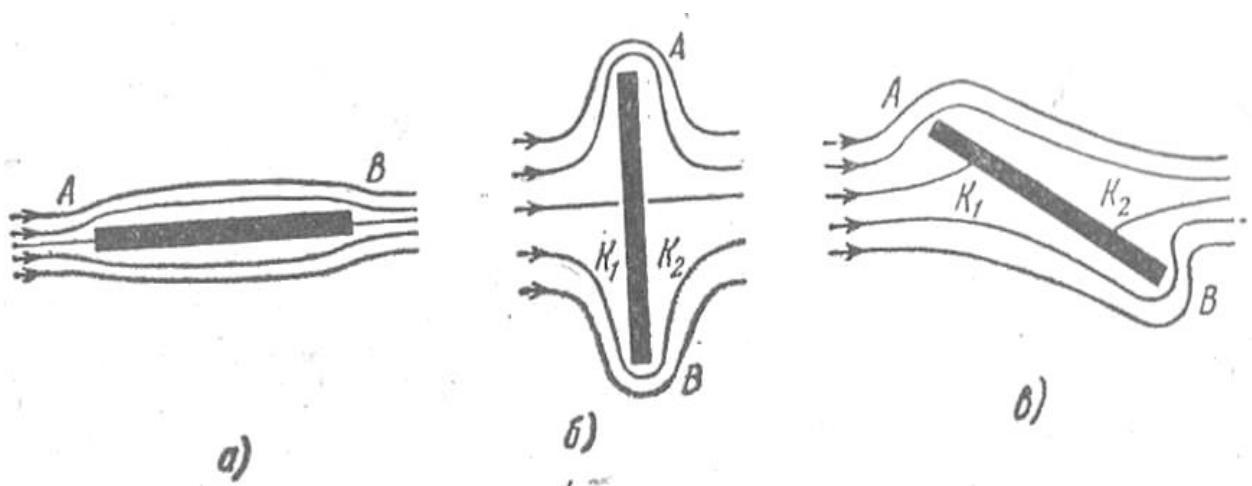
Шундай қилиб, биз қанот кўзгалмас ва ҳаво оқими ясси деб фараз қиламиз. Галаёнланмаган оқим, албатта текис бўлади. Янглишмовчиликлар келиб чиқмаслиги учун куйида сўз борадиган ҳамма ҳаракат миқдори моментларини  $C$  нуқтага нисбатан оламиз. Қанотнинг ўз ҳаракат миқдори моменти нолга тенг ва бундан кейин уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

2. Кутариш кучининг вужудга келиши учун қанот *симметрик булмаслиги* ёки ўзи ҳаракат қилаётган горизонтал текисликка нисбатан *симметрик жойлашмаган* бўлиши зарур. Масалан, айланмаётган думалоқ цилиндр ҳаракатланганда ҳеч қандай кўтариш кучи вужудга келиши мумкин эмас. Шунинг учун биз, ўшандай симметрия йук, деб фараз қиламиз. Энди эслатиб ўтамизки, чегаравий қатламда ҳаво зарраларининг тезлиги қанот сиртидан узоқлашган сари ўса боради. Шу сабабли чегаравий қатламдаги ҳаракат уюрмали ва шунинг учун унда айланиш бор. Қанотнинг устки томонида айланиш соат стрелкаси йўналишида, пастки томонида эса соат стрелкасига қарши содир бўлади (агар суюқлик чапдан унга оқиб ўтаётган бўлса). Фараз қилайлик, чегаравий қатламда қанотдан пастда жойлашган бирор ҳаво массаси



ажралиш натижасида битта ёки бир нечта уюрма шаклида оқим билан олиб кетилган бўлсин. Айланишга эга бўлгани учун бу масса ўзи билан боғлиқ ҳаракат миқдори моментини ҳам олиб кетади. Лекин ҳаводаги умумий ҳаракат миқдори моментининг ўзгариши мумкин эмас. Агар қанотнинг юқори томонида чегаравий қатламнинг ажралиши руй бермаса, ҳаракат миқдори моментининг сақланиши учун ҳаво ташқи оқимда қанот атрофида соат стрелкаси йўналишида айланиши керак. Бошқача айтганда, ташқи оқимда қанот атрофида соат стрелкаси йўналишида ҳаво тезлигининг циркуляцияси вужудга келиши керак ва асосий оқимга қўшилиши керак. Қанот остида оқим тезлиги камаяди унинг устида эса ортади. Ташқи оқимга Бернулли тенгламасини татбиқ қилиш мумкин. Ундан келиб чиқадики, циркуляция натижасида қанот остида босим ортади, унинг устида эса камаяди. Ҳосил бўлган босим фарқи юқорига йўналган кўтариш кучида намоён бўлади. Аксинча, агар оқим билан олиб кетилган уюрма қанотнинг устидаги чегаравий қатлам зарраларидан ҳосил бўлса, соат стрелкасига қарши циркуляция вужудга келади, «кутариш» кучи эса пастга йўналган бўлади.

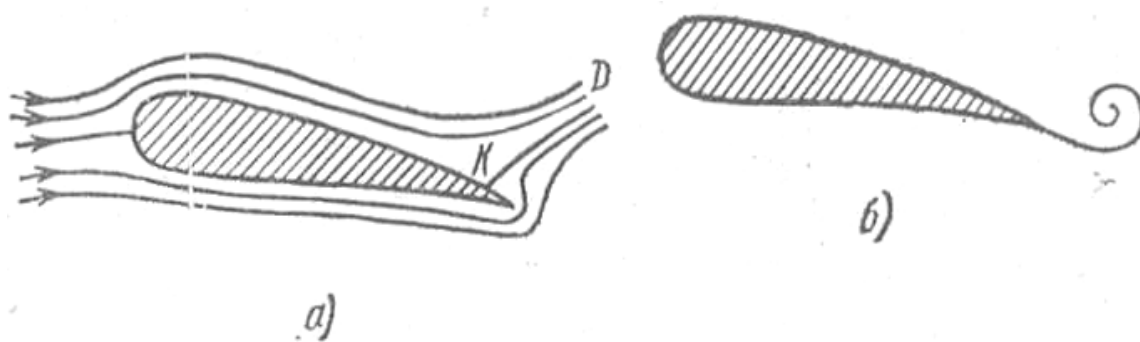
3. Ҳодисани ойдинлаштириш учун идеал суюқлик оқимининг йўлига ўрнатилган юпқа пластинкани олиб қараш фойдалидир. Агар пластинка оқим бўйича жойлашган бўлса, суюқлик тезлиги нолга айланадиган критик нуқталар пластинканинг  $A$  ва  $B$  четларида бўлади (6-а расм). Агар пластинка оқимга перпендикуляр қилиб қўйилган бўлса, иккала критик нуқта пластинканинг марказига кўчади, оқим тезлиги эса пластинканинг  $A$  ва  $B$  қирраларида максимумга эришади (6-б расм). Агар пластинка оқимга оғма қилиб қўйилган бўлса (6-в расм), критик  $K_1$  ва  $K_2$  нуқталар пластинканинг маркази



6- расм

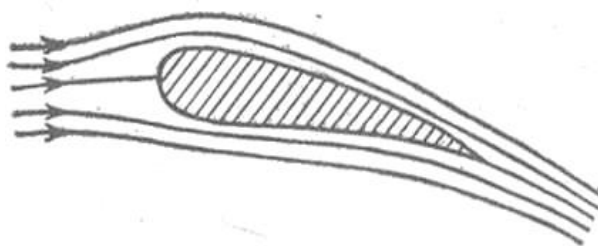
билан қирралари орасидаги оралик жойда бўлади. Оқим тезлиги бу ҳолда пластинканинг қирраларида максимал бўлади. Критик  $K_2$  нуқта атрофида у пастда юқоридагига қараганда каттароқ бўлади, чунки пастки оқим пластинканинг  $B$  қиррасига анча яқин, юқорироқдаги оқим эса,  $A$  қиррасидан анча узоқ бўлади. Қовушоқ суyoқлик оқимида ҳам дастлабки моментда оқимнинг худди шундай манзараси вужудга келади.

4. Самолёт қанотида ҳам, қанот остидаги ҳаво оқими ҳаракат бошида қанотнинг орқадаги учини айланиб ўтади ва қанотнинг устидан айланиб утаётган оқим билан  $KD$  чизиқ давомида учрашади. Бу ерда иккала оқимни ажратиб турувчи сирт ҳосил бўлади ва кейинчалик у уюрмага айланиб кетади, шунинг билан бирга айланиш соат стрелкасига тескари йўналишда бўлади (7-а ва б расм). Буларнинг



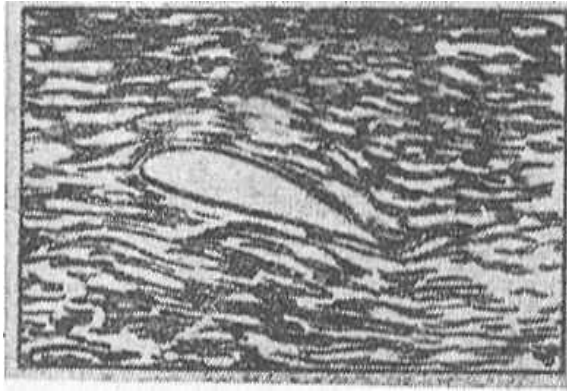
7-расм

ҳаммаси 9, 10 ва 11-расмлардан (фотосуратлардан) кўриниб турибди, шу билан бирга биринчи икки расм оқимни қанот қўзғалмас бўлган санок системасида

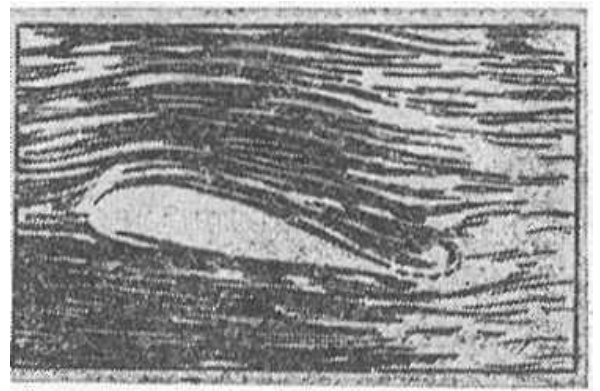


8-расм

тасвирлайди, охиргиси эса ғалаёнланмаган суюқлик қўзғалмас бўлган санок системасида тасвирлайди. Уюрмалар ҳаракат миқдори моментини олиб кетади ва қанот атрофида соат стрелкаси йўналишида циркуляция вужудга келади. Оқим тезлигининг қанот устида ортиши ва қанот остида камайиши ажралиш чизиғини, у қанотнинг пастки учига етгунча, силжишига сабаб бўлади (8-расм). Агар қовушоқлик кучлари бўлмаса эди, уюрмаларнинг доимо вужудга келиб туриши, у билан бирга қанот атрофида циркуляциянинг вужудга келиши ҳам шундан сунг тухтаб қолган булар эди.

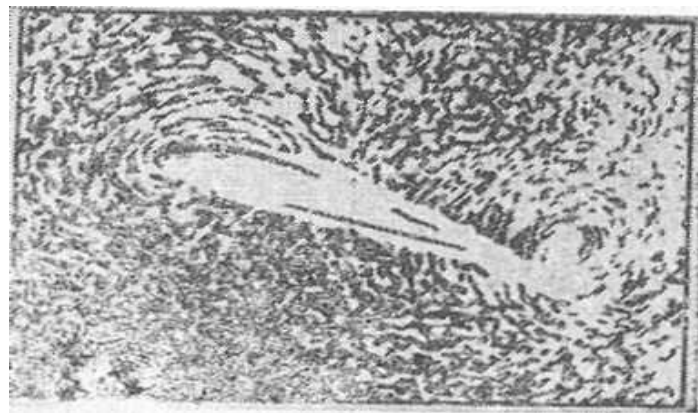


9-расм



10-расм

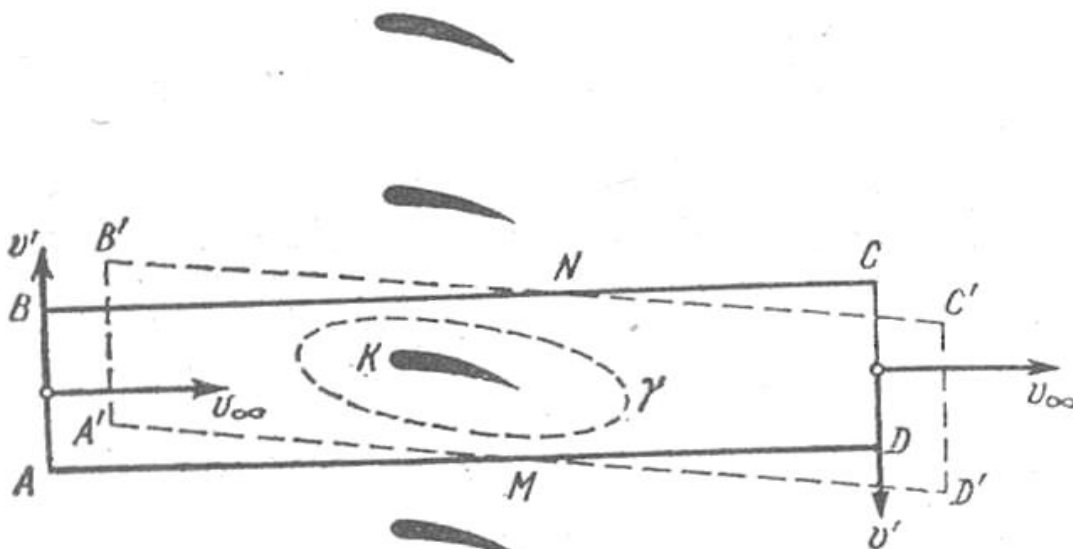
у қанотнинг пастки учига етгунча, силжишига сабаб бўлади (8-расм). Агар қовушоқлик кучлари бўлмаса эди, уюрмаларнинг доимо вужудга келиб туриши, у билан бирга қанот атрофида циркуляциянинг вужудга келиши ҳам шундан сўнг тухтаб қолган булар эди. Қовушоқлик кучлари ахволни ўзгартириб юборади. Улар туфайли қанот атрофидаги циркуляция аста-секин



11-расм

сўнади. Ажралиш нуктаси қанотнинг учидан юкорирокқа силжийди, яъни уюрмаларнинг вужудга келиши учун яна шароит вужудга келади. Ҳосил бўлган уюрмалар яна циркуляцияни кучайтиради ва ажралиш чизигини яна қанотнинг учига қайтаради. Самолёт ҳаракатининг тезлиги ўзгармас бўлганда бу қилинган жараён регуляр характерда булади: қанотнинг орқа учидан даврий равишда уюрмалар ажралиб туради ва циркуляциянинг амалда ўзгармас катталиқда бўлишини таъминлаб туради.

5. Кўтариш кучи катталигининг тезлик циркуляциясига боғлиқлигини Н. Е. Жуковский ва Кутта бир-бирдан беҳабар, мустақил равишда аниқлаган. Уларнинг формуласи чексиз узун қулочли қанотга тегишли бўлиб, бундай қанотнинг узунлик бирлигига таъсир қилувчи кутариш кучининг катталигини беради. Формулада, қанот идеал суюқликда текис ҳаракат қилади ва унинг атрофида тезликнинг ўзгармас катталиқдаги циркуляцияси қарор топган, деб ҳисобланади. Шундай қилиб, қанот кўзгалмас бўлган санок системасида суюқликнинг ҳаракати потенциал, лекин циркуляцияли ҳаракатдир. Идеал суюқликда циркуляциянинг катталиги амалда исталганча бўлиши мумкин ва у оқим тезлигига, атака бурчагига ва бошқа параметрларга ҳеч бир боғлиқ бўлмайди.



12- расм

Аmmo қовушоқлик, гарчи у никоятда кичик булсада, циркуляциянинг катталиги билан шу параметрлар орасидаги бир қийматли муносабатга олиб келади.

Шунинг билан бирга циркуляциянинг узи қовушоқликка деярли боғлиқ эмас. Шунинг учун Жуковский—Кутта формуласи қовушоқликка эга бўлган ҳавода ҳам қанотнинг кўтариш кучи учун яхшигина яқинлашишни беради.

6. Жуковский—Кутта формуласининг содда исботини келтирамиз. Бундан

кўтариш кучининг вужудга келиши. учун циркуляциянинг нима сабабдан бунчалик муҳимлиги айниқса яққол кўринади. Суюқлик оқими ҳамма томонларга чексиз ёйилган, деб фараз қиламиз. Илгаригидек, ғалаёнланмаган оқим горизонтал, деб ҳисоблаймиз;  $X$  ўқи оқим бўйича йўналган,  $Y$  ўқи эса унга перпендикуляр равишда вертикал юқорига йўналган.  $K$  қанот координаталар бошига жойлашган бўлсин (12- расм). Қанотдан юқорига ва пастга бири-биридан бир хил масофада чексиз кўп худди шундай қанотлар жойлаштирамиз. Қанотлардан ҳар бирининг атрофида худди  $K$  қанот атрофидагидек циркуляция уйғотилган бўлсин.  $U$  ҳолда суюқликнинг барқарорлашган ҳаракати  $U$  бўйича катъий даврий бўлади. Агар кўшни қанотлар орасидаги масофа қанотнинг кўндаланг ўлчамларига нисбатан жуда катта бўлса, кўшимча қанотларнинг киритилиши  $K$  қанотнинг бевосита яқинидаги оқим манзарасини ҳисобга олмаслик мумкин бўлган даражада ўзгартиради. Катта узғаришлар  $K$  қанотдан узоқдагина юз беради. Горизонтал томонлари кўшни қанотларнинг қоқ ўртасидан ўтадиган тўғри тўртбурчакли  $ABCD$  контур ўтказамиз. Унинг  $AD$  узунлиги баландлигига қараганда чексиз катта бўлсин.  $AD$  ва  $CD$  томонларда  $V$  тезлик ғалаёнланмаган оқимнинг горизонтал  $v_\infty$  тезлигидан ва циркуляциядан келиб чиқадиган вертикал  $v'$  тезликдан иборат. Мусбат циркуляция учун соат стрелкаси йўналишидаги циркуляцияни қабул қиламиз. Бундай циркуляция вақтида  $AD$  томонда  $v'$  юқорига йўналган (мусбат) бўлади,  $CD$  томонда эса пастга йўналган (манфий). Асоси  $ABCD$ , баландлиги бирга тенг ва расм текислигига перпендикуляр бўлган тўғри бурчакли параллелепипеддаги суюқликни олиб қараймиз.  $dt$  вақт ўтгач, шу параллелепипеддаги суюқлик  $A'B'C'D'$  ҳажмга силжийди. Ундаги ҳаракат миқдорининг  $dI$  орттирмасини ҳисоблаймиз. Стационар оқимда бу орттирма суюқликнинг  $dt$  вақтда эгаллаган янги фазо қисмидаги ҳаракат миқдори билан фазонинг илгари шу суюқлик эгаллаган қисмидаги, биринчиси билан бир вақтда ҳисобланган ҳаракат миқдорининг айирмасига тенг. Лекин ҳаракат манзараси  $Y$  ўқ йўналишида бутунлай даврий бўлгани сабабли,  $A A' M$  ва  $BB' N$  ҳажмлардаги ҳаракат

миқдорлари тенгдир.  $MDD'$  ва  $NCC'$  ҳажмлардаги ҳаракат миқдорлари ҳам ўзаро тенг. Шу сабабли ҳаракат миқдорининг изланаётган  $dI$  орттирмасини топиш учун  $CC'D'D$  ҳажмдаги ҳаракат миқдоридан  $AA'B'B$  ҳажмдаги ҳаракат миқдорини айириш керак. Бу ҳажмлардан ҳар бири  $l v_{\infty} dt$  га тенг; бунда  $l$ —вертикал  $AB = CD$  томонларнинг узунлиги; горизонтал  $v_{\infty}$  тезликлар ҳар икки ҳажмда бир хил, вертикал  $v'$  тезликлар эса ишораси билан фарқланади. Шунинг учун ҳаракат миқдорининг фақат вертикал ташкил қилувчисигина орттирма олади ва бу орттирма қуйидагига тенг:

$$dI_y = - 2l v_{\infty} \rho v' dt.$$

Лекин  $2lv' = \Gamma$ —вертикал  $v'$  тезликнинг  $ABCD$  контур буйича циркуляциясидир, чунки  $AD$  ва  $BC$  томонлар циркуляцияга ҳеч ҳисса қўшмайди. Бу томонларда  $v'$  тезлик бир хил ва  $ABCD$  контур буйича айланиб чиқишда улар қарама-қарши йўналишларда босиб ўтилади.  $\Gamma$  катталиқ бир вақтнинг ўзида тўла  $v = v_{\infty} + v'$  тезликнинг  $ABCD$  контур буйича циркуляциясидир, чунки узгармас  $v_{\infty}$  ҳад циркуляцияга ҳеч ҳисса қўша олмаслиги равшан. Шундай қилиб,

$$dI_y = - \Gamma \rho v_{\infty} dt$$

Суюқлик ҳаракат миқдорининг орттирмаси унга таъсир қилувчи ташқи кучлар импульсига тенг. Олинган суюқлик массасига  $ABCD$  сирт бўйича таъсир қилаётган босим кучларини ҳисобга олмаслик мумкин, чунки ҳамма бундай босим кучларининг тенг таъсир этувчиси нолга тенг. Фақат биттагина куч, яъни суюқликка қанот томонидан таъсир қилаётган куч қолади. У кўтарувчи  $F_y$  кучга тенг ва ишораси қарама-қаршидир. Куч импульси ҳақидаги теоремани татбиқ қилиб қуйидаги натижани оламиз:

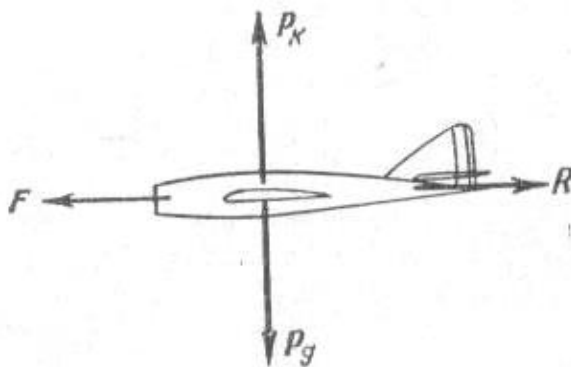
$$F_y = \Gamma \rho v_{\infty} \quad (2.5.1)$$

Формуланинг исботидан равшан кўриниб турибдики, ундаги  $\Gamma$  ни  $ABCD$  контур бўйича циркуляция деб тушуниш керак. Аммо потенциал оқим учун

циркуляция контури  $\mathcal{U}$  ни ихтиёрый равишда олиш мумкин. Факат у  $K$  қанотни ўз ичига олиши ва бошқа қанотларни олмаслиги акамиятлидир.  $\mathcal{U}$  учун ихтиёрый контурни оламиз ва уни узгартирмаган ҳолда бошқа ҳамма қанотларни чексизликка узоқлаштирамиз. У ҳолда лимитда биз суюқлик айланиб оқаетган ягона қанот ҳолини оламиз. Бу лимит ҳолда (2.5.1) натижа ўз кучини сақлайди. Мана шу (2.5.1) формула Жуковский—Кутта формуласидир.

## 2.6. Самолёт ҳаракатланаётганда пайдо бўладиган кучлар

Горизонтал йўналишда текис учиб кетаётган самолётга таъсир этувчи барча ташқи кучлар йиғиндиси нолга тенг. Самолётга қандай кучлар таъсир қилишини алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз. Самолётга вертикал йўналишда  $P_g$  оғирлик кучи ва қанотларнинг  $P_k$  кўтариш кучи, горизонтал йўналишда винтнинг  $F$  тортиш кучи ва  $R$  пешана қаршилиқ кучи таъсир қилади. Агар  $P_k > P_g$  бўлса, самолётнинг тезланиши юқорига йўналади, аксинча,  $P_k < P_g$  бўлса, тезланиш пастга йўналади (13-расм).



13-расм

Самолётнинг вертикал текисликда учиши горизонтал дум-қанотга жойлашган ва *баландлик руллари* деб аталувчи мосламалар билан бошқарилади. Горизонтал дум-қанот, яъни *стабилизатор* самолётнинг вертикал текисликда турғун учишини таъминлайди. Самолёт мувозанат ҳолатидан тасодифан оғанда горизонтал дум-қанотнинг атака бурчаги шундай ўзгарадики, бунда унга таъсир этувчи куч самолётни тўғрилаб, аввалги ҳолатига келтиради.

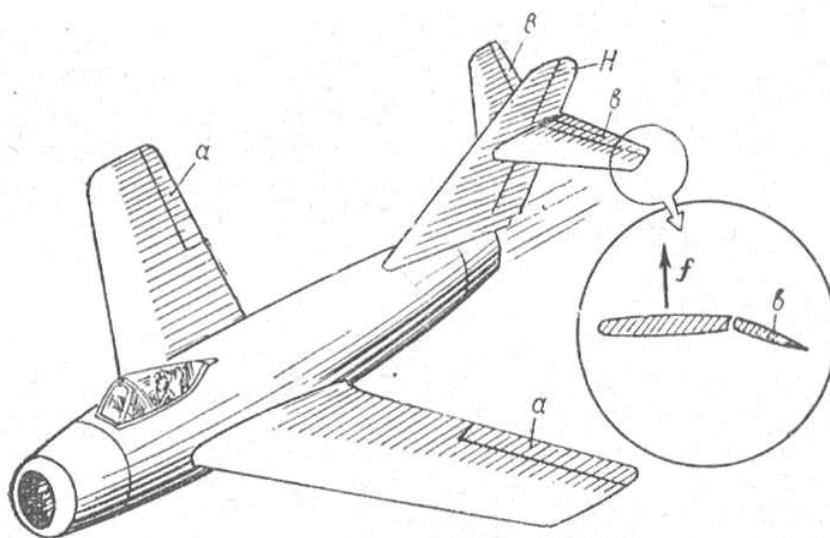


Баландлик руллари горизонтал дум-қанот орқасига жойлаштирилган бўлиб, унинг оғувчи қисмларидан иборат (14- расмдаги  $\epsilon$  ва  $\nu$ ). Баландлик рули пастга оғганда горизонтал дум-қанотга таъсир этувчи юқорига йуналган куч ортади, шунинг учун самолёт тумшуғи пастга тушади. Баландлик рули юқорига оғганда самолёт тумшуғи юқори кўтарилади.

Самолётни кундалангига бошқариш, қанотларини горизонталга нисбатан оғдириш ёки самолётни унинг горизонтал бўйлама ўқига нисбатан буришда элеронлар хизмат қилади (14-расмдаги  $a$  ва  $a$ ). Элеронларнинг ишлаш принципи худди баландлик рулларининг ишлаш принципига ўхшайди. Элерон одатда қанот охирининг кетинги қисми бўлиб, учувчининг хоҳишига қараб бир қанотда юқорига, иккинчисида пастга оғдирилади ёки аксинча.

Самолёт вертикал уқ атрофида *буриш рули* (ёки йўналиш рули) ёрдамида бурилади; бу руль одатда вертикал дум-қанотга жойлашган бўлади (14-расмда буриш рули  $H$  билан белгиланган).

Самолётнинг  $R$  пешана қаршилиқ кучини  $F$  тортиш кучи енгади.  $F$  тортиш кучини айланаётган винт (паррак) ёки реактив двигатель ҳосил қилади. Реактив двигателнинг тортиш кучи, ҳавонинг ҳар секунддаги “сарфи” ва бу ҳавонинг двегателдан отилиб чиқиш тезлиги билан аниқланади. Винтнинг ишлаш принципи ҳам худди шундай: айланаётган винт атрофидаги ҳавони камраб олиб, орқага отади. Винтнинг тортиш кучи ҳам орқага отилган ҳаво миқдорига



14-расм

ва унинг отилиш тезлигига боғлиқ. Винт кураклари одатда атака бурчаги узунлиги бўйича ўзгарадиган қанотдан иборат бўлади. Винт курагига таъсир этувчи кўтариш кучи куракнинг тортиш кучининг худди ўзгинасидир.

## **II-БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ХУЛОСАСИ**

Бугунги кунда аэродинамика ва гидродинамик фанларини ўрганиш мазкур соҳадаги механизм ва машиналарни лойиҳалашнинг рационал асосларини яратиш ҳамда уларни такомиллаштириш мақсадида амалга оширилади. Диссертацияни ёзиш давомида гидроэластикликнинг нобиржинсли масалалари, вариацион усулларнинг дискретлиги, чекли айирмалар методлари, системалар потенциал энергияларининг экстримал қийматлари, элементар қутичали деталлар, интеграл қайд қилувчи ускуналар лазер нурлари ёрдамида голографик тасвирлар олиш, Гаусс жараёнлари, микротирқишларнинг пайдо бўлиш жараёнлари, пластинка зоналар, трансвоз ва ундан юқори тезликлар соҳасидаги чидамлилиқ ва мустаҳкамлик каби характеристик катталикларни ўрганиш орқали яқуний хулосалар ясалди.

## III-БОБ. ТУТАШ МУХИТЛАРДА КЕЧАДИГАН МЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР.

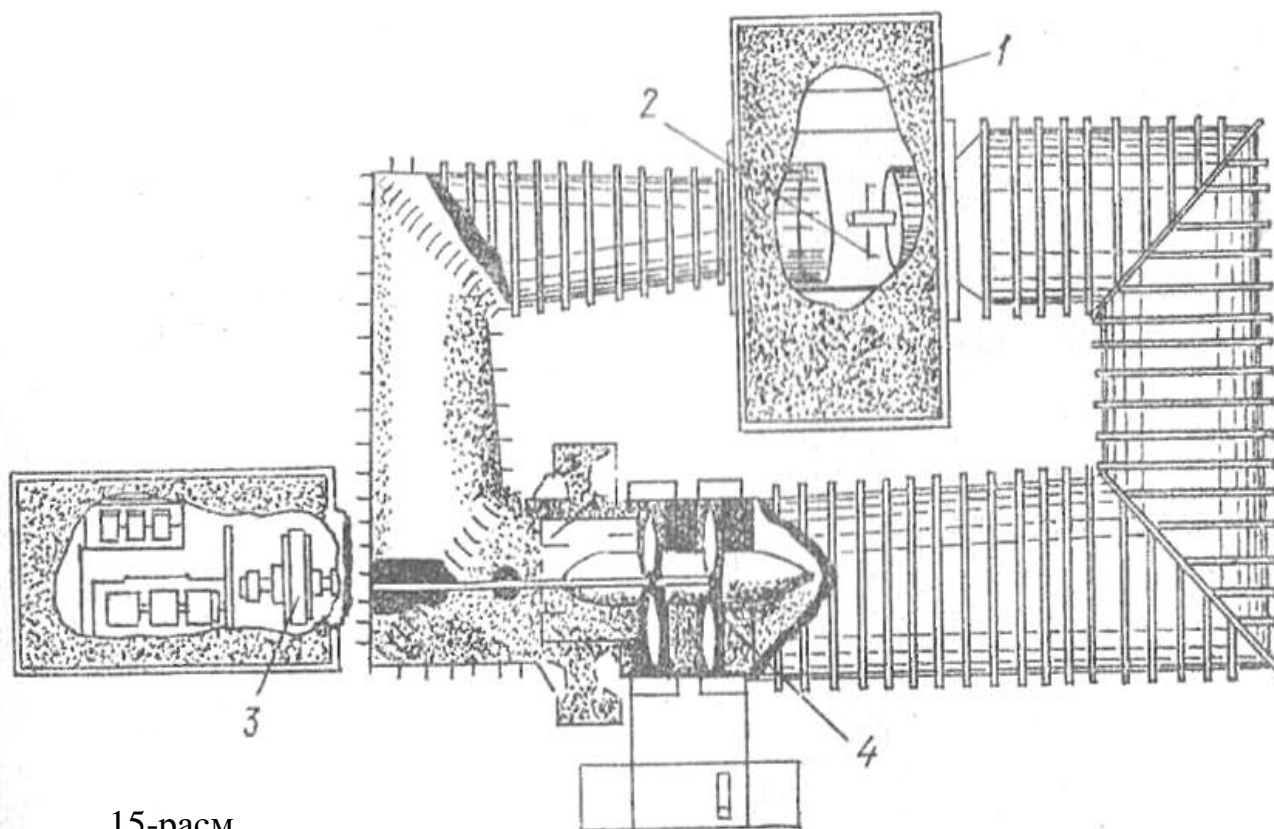
### 3.1. Оқимдаги жисмга таъсир этадиган кучларни ўлчаш

Оқимиинг таъсири жисмнинг суюқлик зарраларига нисбатан қиладиган ҳаракатига боғлиқ Равшанки, жисмнинг ўзгалмас мухитга нисбатан ҳаракат қилиши ёки мухитнинг ўшандай тезлик билан жисмга нисбатан ҳаракат қилишидан қатъи назар, оқимнинг жисмга кўрсатадиган таъсир кучи бир хил бўлади.

Самолёт ёки умумап ҳавода учадиган, сувда ва сув остида юрадиган кемаларни лойихалашда мухитнинг (яъни ҳаво ёки сувнинг) бу кемаларга кўрсатадиган таъсир кучлари катталигини билиш зарур. Шунинг учун одатда мухитда ҳаракат қилганда жисмларга таъсир этадиган кучлар дастлаб моделларда аниқланади. Бунинг учун модель, масалан, кема модели махсус ҳовўздаги сув юзида маълум тезлик билан шатакка олиб тортиб юргизилади ва бунда ҳосил бўладиган кучлар ўлчанади ёки ҳаво оқимида турган моделга, масалан, самолёт ва бошқа жисмларнинг аэродинамик труба ичида турган моделига (15-расм) таъсир этувчи кучлар ўлчанади.

Синалаётган модель амалда хамиша труба, канал ва шу кабилардаги чекланган оқимда тургани учун жисмнинг чегарасиз тинч мухитда ҳаракатланадиган ҳолдаги тажрибалар билан жисм ҳаракатланувчи мухитда (оқимда) турган ҳолдаги тажрибалар орасида прииципиал фарқ бор. Трубада (ёки каналда) деворлар, яъни оқим чегаралари Жисмни айланиб ўтаётган оқим ҳарактерини маълум даражада бўзади, шунинг учун бу таъсирларни бартараф қилиш мақсадида моделларнинг чизиқли ўлчамларини оқим ўлчамларига (трубанинг диаметри, каналнинг эни ва чуқурлиги ва хоказоларга) нисбатан анча кичик қилиб олиш керак. 15-расмда берк оқимли аэродинамик трубанинг куриниши схематик равишда тасвирланган; унинг «ишчи» қисми очиқ. 3 мотор айлантирадиган 4 вентилятор деярли ёпиқ трубада доимий ҳаво оқими ҳосил

қилади. 1 қисмда труба очиб қўйилган бўлиб, худди ўша жойда бир текис оқим ҳосил қилинади, «тарозига» қўйилган 2 модель шу оқимга тугилади.



15-расм

Ҳаво трубанинг сопласидан чиқади, моделга урилади ва яна трубага кириб кетади. Аэродинамик тарози деб аталадиган «тарози» моделга таъсир этувчи кучларни аниқлашга мўлжалланган. Оқим, труба ва моделнинг ўлчамлари оқим атрофидаги бошқа жисмларнинг таъсири эътиборга олинмайдиган ёки ҳисобга олинмайдиган қилиб танланади. «Тарози»га турли моделларни қўйиб, моделларга таъсир этувчи куч ва моментларни ўлчаш мумкин.

Кучларни тарози билан ўлчаш ҳамма вақт ҳам қулай бўлавермайди, шунинг учун ҳаракат миқдорининг ўзгариш қонунидан фойдаланиш мумкин. Жисмга таъсир этувчи кучни жисм атрофидаги тезлик ва босимлар майдонини ўлчаш йўли билан аниқлаш мумкин.

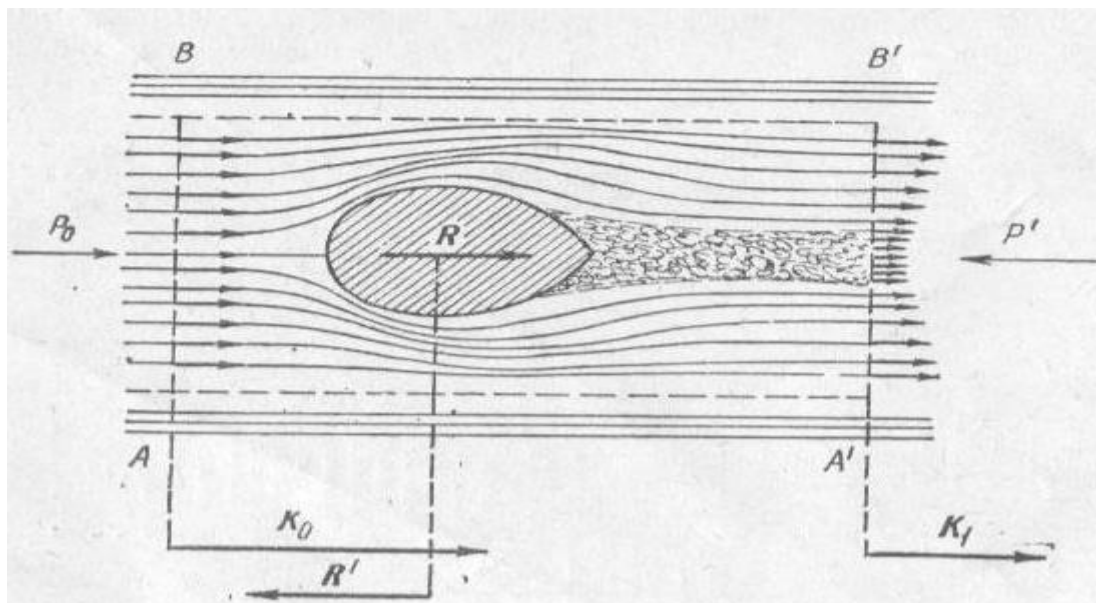
Агар бир жинсли ҳаво оқимида симметрия ўқи бўлган чоғроқ жисм қўйиб (16-расм), жисмдан олдинда ва кейинда бирор масофада тезлик ва босим майдони

ўлчанса, у ҳолда бу ўлчаш натижаларига асосланиб жисмнинг пешана қаршилиқ кучини аниқлаш мумкин. Дарҳақиқат, оқимга перпендикуляр бўлган  $AB$  текислик орқали бир секунд ичида ўтган суяқликнинг  $K_0$  ҳаракат миқдорини ва шу текисликка параллел бўлган  $A'B'$  текислик орқали бир секунд ичида ўтган суяқликнинг  $K_1$  ҳаракат миқдорини, шунингдек  $AB$  ва  $A'B'$  текисликлардаги босимларни аниқлаймиз. Бу босим кучлари мос равишда  $P_0$  ва  $P'$  бўлсин; унда жисм томонидан суяқликка таъсир этувчи  $R'$  пешана қаршилиқ кучи

$$K_1 - K_0 = P_0 + P' + R' \text{ ёки } R' = K_1 - K_0 - (P_0 + P')$$

тенгликдан аниқланади.

Бунда  $AB$  ва  $A'B'$  текисликлардаги майдончалар ўлчамлари етарлича катта ва цилиндрик ён сиртлардан ўтувчи зарраларнинг (уларнинг изи 16-расмда пунктир билан кўрсатилган) ҳаракат миқдорини ҳисобга олмаса бўлади, деб фараз қиламиз.



16- расм

Кўпинча жисмнинг олдидан ва орқасидан бўлаётган босимлар тенг бўлади ва  $P' + P_0 \approx 0$ , бунда босимни эътиборга олмаса ҳам бўлади. Бу ҳолда жисмнинг  $R = -R'$  пешана қаршилиқ кучи жисм олдидан ҳар секундда ўтаётган суюқликнинг ҳаракат миқдори билан жисм орқасидан ҳар секундда ўтаётган суюқликнинг ҳаракат миқдори айирмасига тенг:

$$R = K_0 - K_1.$$

Жисмга пешана қаршилиқ кучигина (оқим бўйлаб йуналган куч) эмас, балки оқимга нормал равишда йуналган куч ҳам таъсир этган умумий ҳолда жисмни ўраб олган ёпиқ сиртдаги тезлик ва босим ўлчаб топилгап бўлса, шу сирт орқали ҳар секундда ўтувчи суюқликнинг ҳаракат миқдорининг ўзгаришига қараб жисмга оқим томонидан таъсир этувчи куч тўғрисида фикр юритиш мумкин.

### 3.2. Қанотни суюқлик айланиб ўтиши. Циркуляция ва кўтариш кучи

Қанотни қовушоқ суюқлик айланиб ўтиши моҳиятига тушуниб олиш учун чексиз пластинка (ёки қанот) ни идеал суюқлик айланиб ўтишининг назарияси қандай натижалар беришини кўриб чиқамиз.

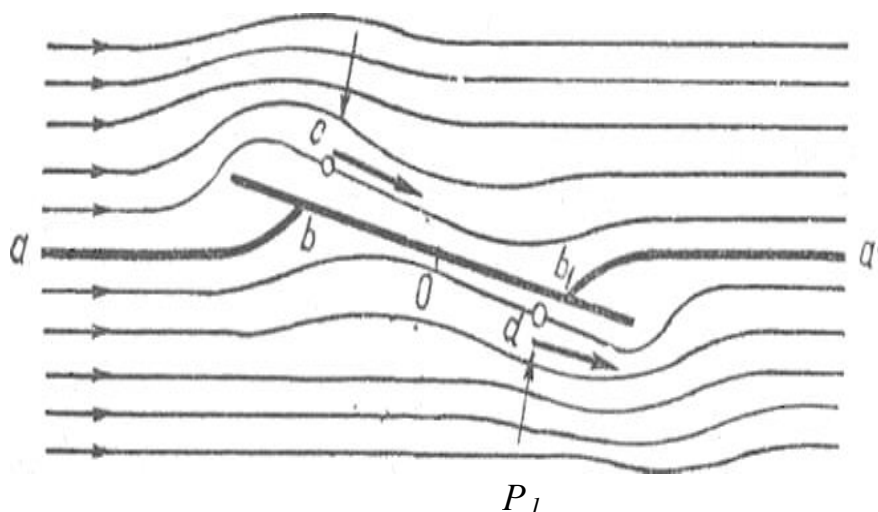
Биз қанотни (пластинкани) чизма текислигига перпендикуляр бўлган йўналишда чексиз деб ҳисоблаймиз; бундай айланиб ўтишда ҳамма оқим найлари бир-бирига параллел бўлган текисликларда, жумладан чизмага параллел текисликларда ётади, бунда ушбу текисликларнинг ҳар биридаги оқим чизиқларининг шакли бир хил бўлади. Бундай оқим *ясси оқим* дейилади; ичида суюқлик ёки газ оқаётган канал деворларига тиралиб турган пластинкани суюқлик ёки газ айланиб ўтган ҳолдаги оқимни маълум даражадаги аниқликда ясси оқим дейиш мумкин.

Бу ҳисобларда қовушоқлик эътиборга олинмайди, бироқ суюқлик (ёки газ) зарраларининг қанот атрофидаги бутун фазода қиладиган ҳаракати ҳисобга олинади.

Бу ерда икки хил ҳол бўлиши мумкин: ўзлуксиз айланиб ўтиш ва ўзлукли

айланиб ўтиш. Ўзлуксиз айланиб ўтишда оқимнинг ҳамма нуқталарида босим ва тезлик ўзлуксиз бўлади, ўзлукли айланиб ўтишда суюқликдаги босим ўзлуксиз ўзгаради, бироқ жойдан-жойга ўтилганда тезлик ўзгаришлари ўзлуксиз бўлмаслиги ҳам мумкин.

Жисмни идеал суюқлик узлуксиз айланиб ўтганда, юқорида айтиб ўтилгандек куч нолга тенг бўлади. Пластинкани оқим айланиб ўтганда оқим найлари тахминан 17-расмда кўрсатилгандек бўлади. Олдинги ва кетинги



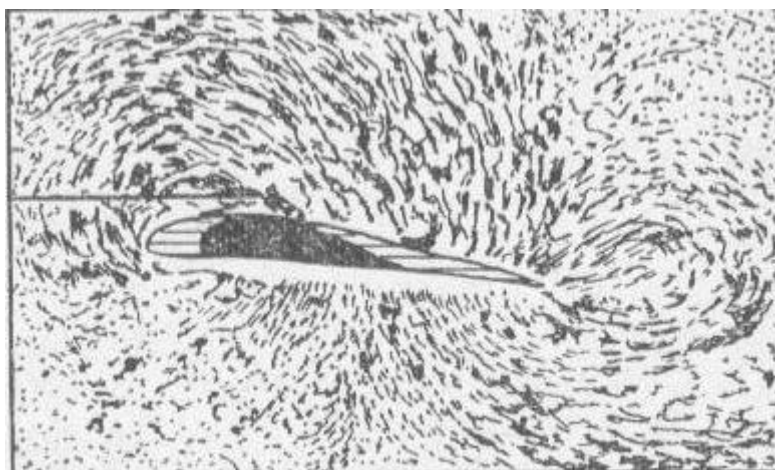
17-расм

сиртларда  $B$  ва  $B_x$  критик нуқталар бўлиб, оқим тезлиги бу нуқталарда нолга тенг бўлади.

Пластинкани оқим айланиб ўтиш манзараси пластинканинг ўртасига нисбатан маълум даражада симметрик бўлади;  $O$  нуқтадан ўтадиган ва чизма текислигида ётган ҳар қандай чизиқда марказдан бир хил масофада оқим тезликлари бир хил бўлади. Масалан,  $c$  ва  $d$  нуқталарда оқим тезлиги бир хил, шунинг учун бу нуқталардаги босим ҳам бир хил. Бинобарин, пластинкага таъсир этувчи босим кучларининг натижаловчиси нолга тенг бўлади. Бу ҳолда кучларнинг пластинкани соат стрелкаси йўналишида буришга интилувчи  $M$  моментигина таъсир қилади. Оқимнинг юпқа қанотни айланиб ўтиш манзараси ҳам деярли мана шундай бўлади. Қанотни реал суюқлик айланиб ўтиш

манзараси узлуксиз айланиб ўтиш назариясидан келиб чиқадиган манзарага мутлақо ўхшамайди. Ҳақиқатда эса манзара тахминан 16-расмда кўрсатилгандек бўлади. Кетинги қирра яқинида оқим бу қирра атрофида бурилмайди, балки юқорида ва пастда қанот бўйлаб йуналиб, Қанотни иккала томондан ялаб ўтади ва кетинги қиррадан кейинда шундай қўшиладики, бунда тезликлар қанот бўйлаб йўналади. Олдинги қирра яқинида манзара тахминан идеал суюқлик оқими ҳолидагидек бўлади: критик нуқта бор, оқим кетинги қиррага ўхшаб учлик қилиб эмас, балки юмалоқ қилиб ишланган олдинги қиррани ёнлаб ўтади ва қанотнинг юқориғи сиртига тақалиб бориб кетинги қиррага етиб боради.

Одатдаги шароитда қанот энди ҳаракат бошлаган вақтда қанотнинг кетинги қирраси яқинида уюрмалар ҳосил бўлганини пайқаш мумкин (18-расм).



18-расм

Бунинг сабаби шундаки, тезлик ҳали катта бўлмаган дастлабки вақтда оқим қанотни тахминан идеал суюқлик каби айланиб ўтади; суюқлик зарралари босим таъсири остида кетинги қиррали пастдан айланиб ўтишга интилади, бироқ қовушоқлик туфайли ўз кинетик энергиясини сарфлаб қўйиб, тўхтаб қолади; тўхтаб қолиши керак бўлган қаршидан келаётган оқим орқага кетаётган зарралар босими таъсири остида тормозланади ва шунинг учун у

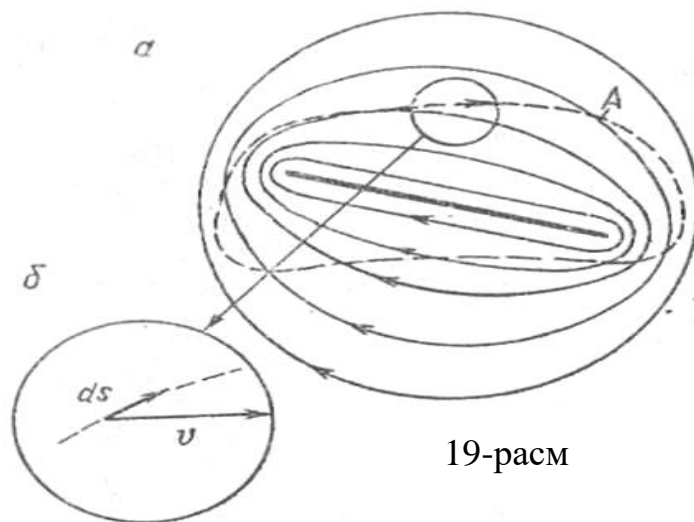


тўхтамайди, балки уюрма ҳосил қилиб қанот сирти бўйлаб ҳаракатини давом эттиради. Уюрма кетинги қиррадан ажралади ва уни оқим ўзи билан олиб кетади. Бундан сўнг оқим 16-расмда кўрсатилган стационар шаклга киради. Уюрма қанотдан ажралаётганда ўзи билан бирор ҳаракат миқдори моментини олиб кетади.

Уюрма билан бирга кетган суюқлик маълум ҳаракат миқдори моментига эга бўлади; бинобарин, қолган суюқлик бунга тескари ишорали ҳаракат миқдори momenti олиши керак чунки ҳаракат бошланишидаи олдин суюқликнинг ҳаракат миқдори momenti нолга тенг эди. Шунинг учун суюқлик қанот атрофида уюрманинг айланишига тескари йўналишда айланади, шу йул билан қанот атрофида *циркуляцион ҳаракат* юзага келади. Бундай циркуляцион ҳаракат мавжудлигини гидродинамика тенгламалари тўла-тўқис изоҳлаб беради.

Шундай қилиб, қанотни (қия қуйилган пластинкани) реал суюқлик айланиб ўтишини идеал суюқликнинг 17-расмда кўрсатилган силлиқ оқими билан пластинка атрофида бўладиган циркуляцион оқимнинг (19-а расм) қўшилишидан иборат деб тасвирлаш мумкин.

Циркуляцион ҳаракат суюқлик зарраларининг ёпик чизиклар бўйлаб қиладиган ҳаракатидир, бу ҳаракат давомида ҳар бир зарра деформацияланади, бироқ айланмайди; зарра ёпик траектория бўйлаб илгариланма ҳаракат қилгандек бўлади. Назариянинг кўрсатишича, бундай ҳаракат қуйидаги муҳим хоссага эга: *Жисмни ўраб олган ҳар қандай ёпик геометрик контур бўйлаб тезлик циркуляцияси доимий катталикдир.*



19-расм

Тезлик циркуляцияси деб,

$$\Gamma = \oint v ds \quad (3.2.1)$$

скаляр катталиқка айтилади, бу ерда  $v$  - тезлик  $ds$ — контур элементи. Бу эса контурнинг исталган  $ds$  элементини олиш (19-б расм), уни  $v$  тезликка скаляр равишда кўпайтириш ва сўнгра мазкур ёпиқ контурни ташкил этган барча  $ds$  элементларга тегишли натижаларни қўшиб чиқиш (интеграллаш) кераклигини билдиради.  $\Gamma$  нинг катталиги у ўзи ҳисобланган  $A$  контурнинг шаклига боғлиқ эмас. Гарчи Қанотни ўраб турган турли контурларнинг ҳар хил нуқталарида тезликлар мутлақо бошқа-бошқа бўлсада,  $\Gamma$  нинг бу контурларга тегишли қиймати айти бир хил бўлади. Шунинг учун  $\Gamma$  циркуляция катталиги мазкур жисм атрофидаги циркуляцион оқим характерини бир қийматли равишда аниқлайди. Қанотни ўраб олмаган ёпиқ контур бўйлаб ҳисобланган циркуляция нолга тенг эканини қайд қиламиз.

Н.Е.Жуковский қанот яқинидаги ҳақиқий оқимни идеал суюқликнинг бир вақтда мавжуд бўладиган куйидаги икки оқимдан иборат бўлган оқими деб тасаввур этиш мумкинлигини кўрсатди: а) Қанотни идеал суюқликнинг ўзлуксиз силлиқ айланиб ўтиши (унинг оқим чизиқлари 17-расмда кўрсатилган) ва б) қанот атрофидаги циркуляцион ҳаракат (унинг оқим чизиқлари 19-а расмда кўрсатилган). Бу ҳолда циркуляция катталиги шундайки, *иккинчи критик*  $b_1$  нуқта кетинги қиррада туради (20-расм),  $b_1$

нуқта  $c'$  нуқтага,  $b$  нуқта  $c$  нуқтага ўтади. Бу шароитда кетинги қиррани оқим силлиқ айланиб ўтади, бу ҳол худди тажрибада кузатиладигандек бўлади.  $\Gamma$  циркуляция катталигини бундай танлаб олиш ҳақиқатда қовушоқлик таъсири муҳим эканлигини эътиборга олишга имкон беради, қовушоқлик таъсири катта бўлганда циркуляция ҳосил бўлади ва кетинги қиррани оқим силлиқ айланиб ўтади.

Жуковский шартини дебаталган бу шартдан  $\Gamma_0$  циркуляция катталигини назарий равишда аниқлаш мумкин:

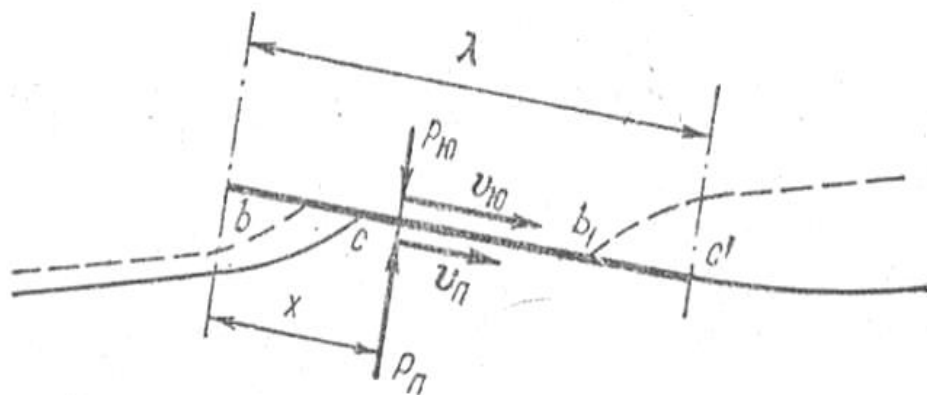
$$\Gamma_0 = \frac{1}{2} \pi \lambda \nu \alpha \quad (3.2.2)$$

бу ерда  $\lambda$  — қанотнинг ватари, яъни Қанотнинг олдинги қиррасидан кетинги қиррасигача оқим бўйлаб олинган масофа (20-расм),  $\alpha$  — атака бурчаги. Агар қанот атрофидаги циркуляция бизга маълум бўлса, у ҳолда қанотга таъсир этувчи кўтариш кучи катталигини топиш мумкин.

Қанотнинг атака бурчаги  $\alpha$ , оқим Қанотни маълум бир  $\Gamma_0$  циркуляция билан айланиб ўтади ва оқимнинг қанотдан етарлича ўзоқ жойдаги тезлиги  $\nu_0$ , босими  $p_0$  га тенг, деб фараз қилайлик.

-----Циркуляциясиз

— ---- фркуляцияли



20 - расм.

Пластинканинг (Қанотнинг) юқориги томонидаги тезлик  $v_{ю}(x)$ , босим  $p_{ю}(x)$  бўлсин, бу ерда  $x$ —олдинги қиррадан бошлаб ҳисобланган масофа; пластинканинг пастки сиртидаги тезликни  $v_{\Pi}(x)$  билан, босимни  $p_{\Pi}(x)$  билан белгилаймиз (20-расмга қ). У ҳолда эни  $dx$  ва ўзунлиги  $l$  бўлган элементга оқим томонидан таъсир этувчи куч

$$(P_{\Pi} - P_{ю}) l dx$$

бўлади, ўзунлиги  $l$  бўлган бутун пластинкага оқим томонидан таъсир этадиган кучни куйидаги қурилишда ёзиш мумкин:

$$P_0 = \int_0^{\lambda} (\rho_{\Pi} - \rho_{ю}) l dx. \quad (3.2.3)$$

Бернулли тенгламасига асосан,

$$\rho_{\Pi} = \rho_0 + \frac{\rho v_0^2}{2} - \frac{\rho v_{\Pi}^2}{2}, \quad \rho_{ю} = \rho_0 + \frac{\rho v_0^2}{2} - \frac{\rho v_{ю}^2}{2}.$$

Бундан

$$\rho_{\Pi} - \rho_{ю} = \frac{1}{2} \rho (v_{ю}^2 - v_{\Pi}^2) = \frac{1}{2} \rho (v_{ю} + v_{\Pi})(v_{ю} - v_{\Pi}). \quad (3.2.4)$$

$\alpha$  атака бурчаги кичик бўлганда тезликлар  $v_0$  дан кам фарқ қилади; шунинг учун

$$v_{ю} + v_{\Pi} \approx 2v_0, \quad (3.2.5)$$

деб ҳисоблаш мумкин. (3.2. 5) ни ҳисобга олган ҳолда (3.2.4) ни (3.2.3) га қўйиб,

$$P_0 = \int_0^{\lambda} \frac{\rho}{2} 2v_0(v_{ю} - v_{п})l dx = \rho v_0 l \int_0^{\lambda} (v_{ю} - v_{п}) dx \quad (3.2.6)$$

ифодани оламиз. Таърифга кўра,

$$\int_0^{\lambda} (v_{ю} - v_{п}) dx = \Gamma_0$$

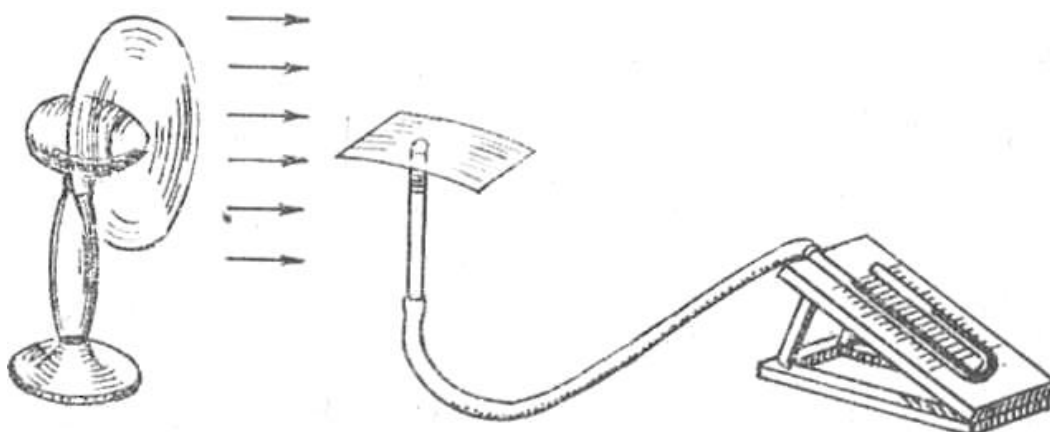
интеграл қанот атрофидаги циркуляция катталигини ифодалайди. Бинобарин, (3.2.6) формулани бундай ёзиш мумкин:

$$P_0 = \rho l \Gamma_0 v_0 \quad (3.2.7)$$

Бу эса *Жуковский—Куттанинг* машхур формуласи бўлиб, қанотнинг кўтариш кучини циркуляция орқали аниқлайди. (3.2. 2) га асосан  $\Gamma_0$  циркуляция  $\alpha$  атака бурчаги ва тезликка пропорционал равишда ўсгани учун қанотнинг кўтариш кучи тезликнинг квадратига, ҳавонинг зичлигига ва атака бурчагига пропорционал равишда ортади. Қанот назариясининг барча бу хулосалари атака бурчаги унча катта бўлмаган холларда тажриба натижаларига яхши мос келади.

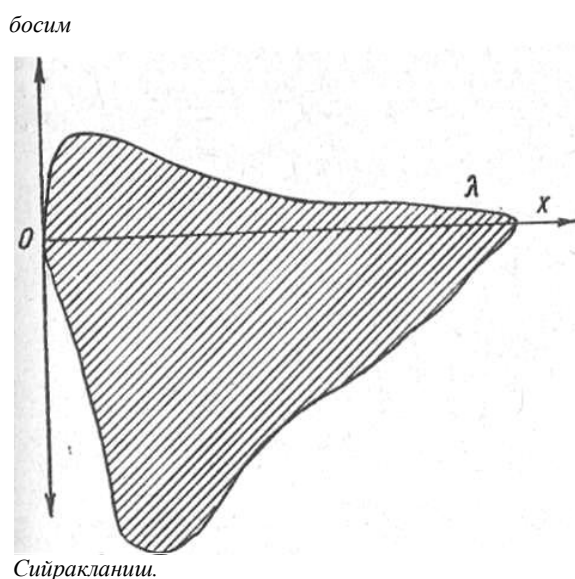
Кўтариш кучининг пайдо бўлиши нима сабабдан соат стрелкаси бўйлаб йуналган циркуляцияга боғлиқ бўлишини тасаввур этиш осон. Циркуляция борлиги туфайли қанотнинг юқори томонида, айниқса олдинги қиррага яқин жойда  $v$  тезлик  $v_0$  дан катта бўлади. Қанотдан юқорида циркуляция тезлиги 17-расмда кўрсатилган циркуляциясиз оқим тезлигига қўшилади, пастда эса айрилади, шунинг учун  $v_{ю}$  тезлик  $v_{п}$  тезликдан катта бўлади. Шунинг учун  $\rho_{ю}$  босим ҳам  $\rho_{п}$  босимдан кичик бўлади; юқоридаги қисмда сийракланиш, пастки қисмда зичланиш бўлади. Агар қанот сиртидаги кичикрок тешиклар манометрга уланса, қанот ёки пластинка сиртидаги босимни ўлчаш мумкин. Босим ўзгаришини сифат томондан кўрсатадиган бундай тажрибаларни ҳар

ким ўзи вентилятор шамолига тутилган содда моделда килиб кура олади (21-расм).

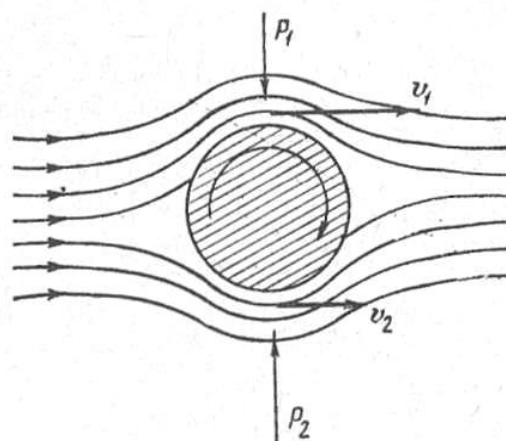


21-расм

Одатдаги қанот кесими бўйлаб босимнинг ўзгариш эгри чизиги тахминан 22-расмда кўрсатилган қуринишда бўлади; қанотга таъсир этувчи куч штрих-лаб куйилган юзга пропорционал. Агар қанотда тешик бўлса, ҳаво пастдан юқорига оқа бошлайди ва тешик яқинида кўтариш кучи кескин камайиб кетади. Маълумки, агар айланаётган цилиндр ҳаво оқимига қўйилса, цилиндрга ҳаво оқимига нисбатан кундаланг равишда йуналган куч таъсир қилади, бу кучнинг келиб чикиши қанотнинг кўтариш кучи пайдо бўлиши билан мутлако бир хил. Дарҳақиқат, цилиндрнинг айланиш тезлиги оқим тезлиги билан бир хил бўлган жойда (23- расм) оқим тезлиги қовушоқлик кучлари туфайли



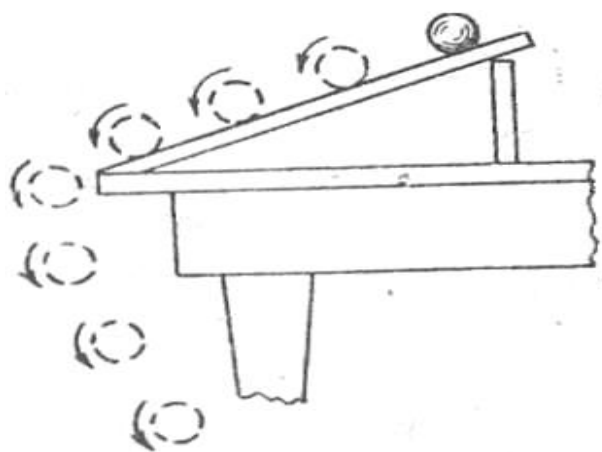
22-расм



23-расм

цилиндрнинг қарама- қарши томонидаги оқимтезлигидан катта бўлади, шунинг учун бир томондан бўлаётган босим иккинчи томондан бўлаётган босимдан катта бўлади. Ён томондан таъсир қиладиган (кундаланг) куч умуман оқим тезлиги ортиши билан ҳам, цилиндрнинг айланиш тезлиги ортиши билан ҳам ортиши кўрсатилган.

Қаттиқ қоғоздан ясалган цилиндрни стол устидан юмалатиб юбориб, кўндаланг куч борлигини осонгина намоиш қилиш мумкин (24-расм). цилиндр пастга тўшаётиб, ҳамisha ўзини стол тагига томон уради. Равшанки, цилиндрнинг стол юзида юмаланишида ва пастга тушишида айланиши натижасида стол тагига томон йуналган куч ҳосил бўлади. цилиндр айланганда кундаланг куч пайдо бўлиш ҳодисаси Магнус *эффекти* деб аталади. Гарчи елканлари ўрнига айланувчи цилиндрлар (*Флеттнер роторлари*) қуйилган кема қурилган бўлса-да, елканларни ёки самолёт канотларини айланувчи цилиндрлар билан алмаштириш кунгилдагидек натижалар бермади.



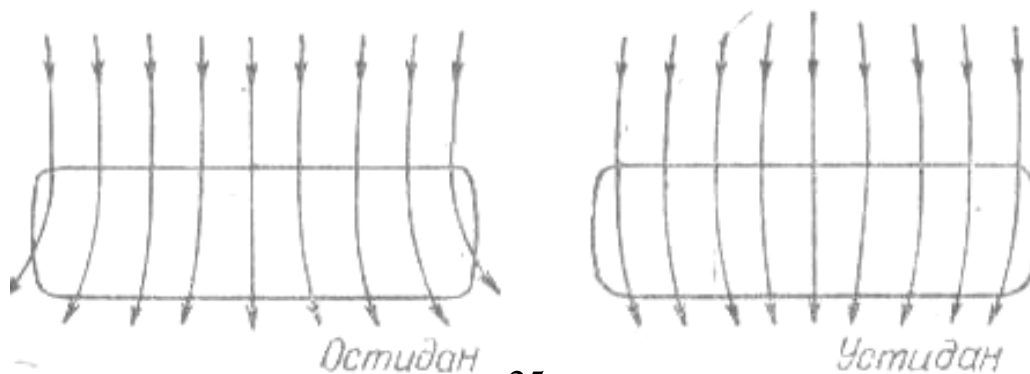
24-расм

### 3.3. Қанотнинг кўтариш кучи билан атака бурчаги орасидаги муносабат.

#### Қанотнинг пешана қаршилиги

Шу чоққача биз чексиз қанотни, аниқроқ айтганда, жуда узун қанотнинг ўртасидаги чоғроқ қисмга таъсир этувчи кучларни ёки учлари кўзгалмас деворларта тиралиб турган қанотга таъсир этувчи кучларни кўриб чиқдик. Шунинг учун биз оқим чизиқлари хаамиша қанотга перпендикуляр бўлган текисликларда ётади ва қанотнинг ҳар қандай кесими учун бир хил деб хисоблаган эдик.

Агар биз тайинли  $l$  ўзунликдаги қанот ёки пластинка олсак у халда оқим чизиқлари қанотга перпендикуляр бўлган текисликда ётмайди, бундан ташқари уларнинг қанотнинг юқориги ва пастки сиртларидаги йўналиши ҳар хил бўлади. Бундай қанотнинг юқоридан курилишини тасаввур этайлик (328 расм)



25-расм



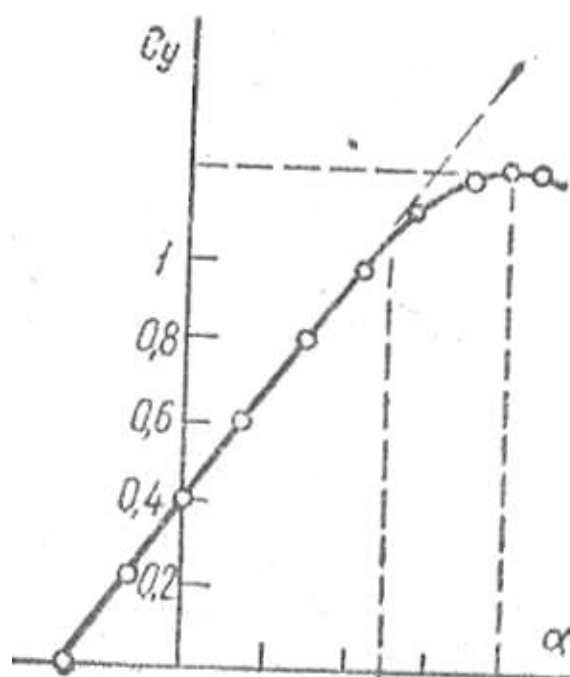
нинг ўртасида жараёнлар қанотнинг устида ҳам, остида ҳам оқим бўйлаб кетади. Бироқ қанотнинг четига яқинлашган сари қанот тагидаги жараёнлар қанот учига томон бурилади, қанотнинг устидаги жараёнлар эса қанотнинг ўртасига томон бурилади. Дарҳақиқат, қанотнинг устида сийракланиш, тагида босим (зичланиш) ҳосил бўлади, шунинг учун босим қанот тагидан ҳавони четга сиқиб чиқаради, ҳаво сийракланган сохага томон интилади ва шунинг учун юқориги сирт бўйлаб келаётган жараёнларни қанотнинг марказига томон сиқади. Шундай қилиб, қанотнинг юқориги ва пастки сиртлари бўйлаб келаётган жараёнлар кетинги қиррадан кейинда қўшилиб, оқим бўйлаб айланма ҳаракат олади ва қанот орқасида ўзига хос уюрма шнурлари ҳосил бўлади, булар қанотнинг энг учига жуда кучли бўлади. Қанотнинг учлари яқинида оқим олдинги қиррага нисбатан бирор бурчакка оғиб ўтгани учун атака бурчаги камаяди ёки қанот учларида кўтариш кучи камаяди, шундай бўлиши ўз-ўзидан равшан, чунки қанот тагидан ҳаво қанот учлари орқали юқориги сиртга оқиб ўтиши туфайли қанот тагида босим пасаяди, юқорида эса босим ортади.

Шуниинг учун қисқа ва узун қанотларнинг кўтариш кучи уларнинг юзига пропорционал бўлмайди—узун қанотнинг бирлик юзига тўғри келадиган кўтариш кучи катта бўлади.

Самолёт қанотлари синалганда ва ҳисоб қилинганда қанотнинг кўтариш кучи

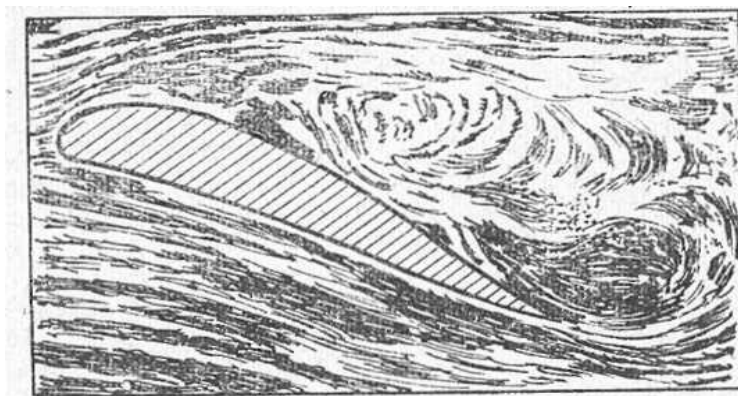
$$P_k = C_y S \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.3.1)$$

формула билан ифодаланади, бу ерда  $S$ —қанотнинг юзи,  $C_y$ —ўлчамсиз коэффициент бўлиб, Рейнольдс сонига, қанотнинг ўзайишига (яъни қанот узунлигининг унинг ватарига нисбатига) ва атака бурчагининг катталигига боғлиқ. Узайиш ортиши билан  $C_y$  катталик ортади.



26-расм

Атака бурчаги кичик бўлганда бу бурчак ортиши билан кўтариш кучи чизиқли равишда ортади. Бинобарин,  $C_y$  катталики ҳам  $\alpha$  га пропорционал равишда ортади (26-расм). Бироқ бундай ўсиш атака бурчагининг маълум бир  $\alpha_1$  қийматигача давом этади, сўнгра  $C_y$  коэффициент (ёки кўтариш кучи) секинроқ орта бориб, ниҳоят бирор  $\alpha_{кр}$  қийматда максимумга эришади ва  $\alpha$  нинг бундан кейинги ортишида камая бошлайди.  $\alpha_{кр}$  қиймат *критик атака бурчаги* деб аталади, унинг катталиги (10-15° чамасида) асосан қанот профилининг никлига ва Рейнольдс сонига боғлиқ  $C_y$  нинг  $\alpha_{кр}$  даги қиймати максимал  $C_y$  деб ёки  $C_{y_{макс}}$  деб аталиб, жуда муҳим аҳамиятга эга, чунки самолёт ҳавода ўзини хали тутиб тура оладиган ҳолдаги энг кичик учуш тезлиги  $C_{y_{макс}}$  нинг катталиги билан аниқланади. Қўниш хавфсизлигини ошириш мақсадида  $C_{y_{макс}}$  ни ошириш йули билан бу минимал тезликни («қўниш тезлигини») камайтиришга ҳаракат қилинади.



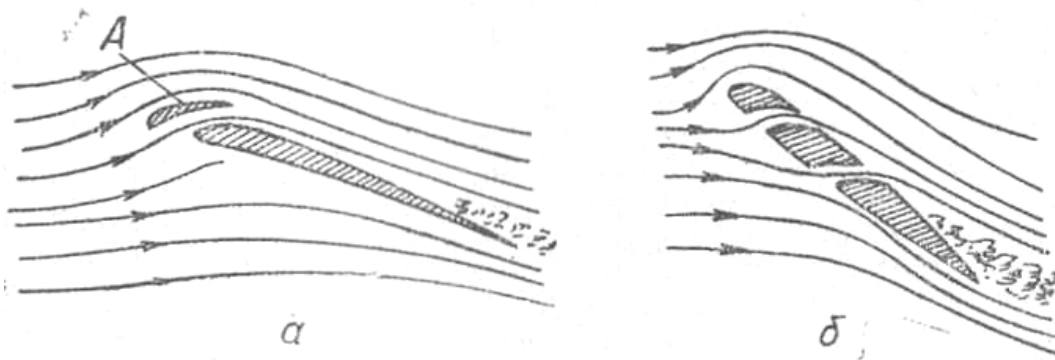
27- расм.

$\alpha$  нинг қийматлари  $\alpha_{кр}$  дан катта бўлганда кўтариш кучи пасайишининг сабаби шундаки,  $\alpha$  ортиши билан қанотнинг юқориги сиртида оқим қанотдан ажралади ва ажралиш сохаси катталашади. Атака бурчаги критик қийматидан катта бўлганда оқим қанотнинг юқориги қисмига тегмайди, балки тахминан 27-расмда кўрсатилгандек «ажралади». Ажралиш зонасида босим деярли атмосфера босимига тенг, у ерда сийракланиш йуқ ва равшанки, бунинг натижасида кўтариш кучи кескин камайиб кетади.

Қанотнинг юқориги сиртидан оқим ажралишининг олдини олиш ва шу билан  $C_{умакс}$  ни орттиришнинг қатор усуллари мавжуд, масалан, пешқанот ўрнатиш (28-а расм) ёки кесилган қанот усули (28-б расм). Оқим пешқанот (А) билан қанот орасидаги тирқишдан ўтади, шунинг учун оқим қанотнинг юқориги сиртига сиқилади, бунинг оқибатида  $C_{умакс}$  ортади ва  $\alpha_{кр}$  катталашади. Кесилган қанот қўлланилганда ҳам шундай бўлади. Шунини қайд қилиш қизиқарлидирки, кушлар қўнишда кўпинча қанотларидаги патларини шундай ёядики, бунда қанотлари кесилган қанотга ўхшаб ҳолади.

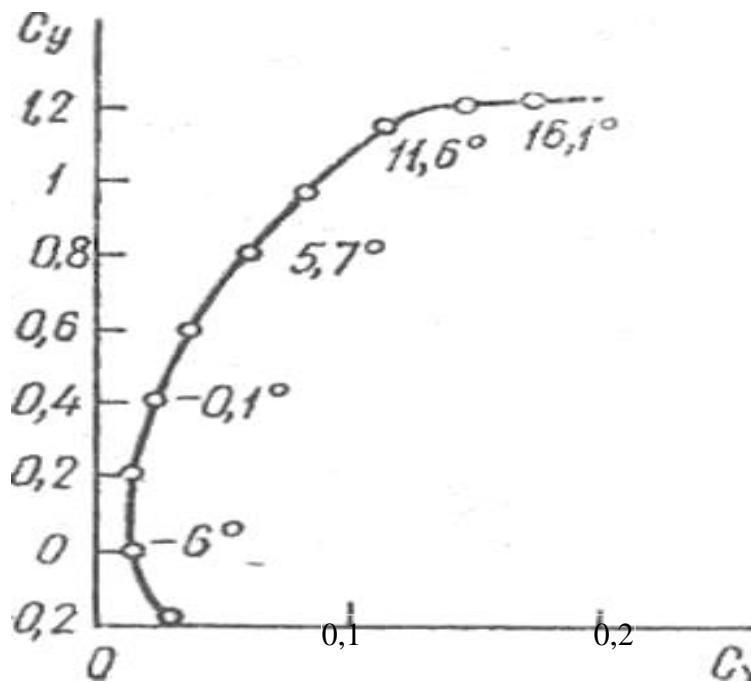
Суюқлик оқимининг қанотга кўрсатадиган реакция кучи ҳамиша орқага оғган бўлади:  $P_k$  кўтариш кучидан ташқари ҳамиша  $R$  пешана қаршилиқ ҳам мавжуд. Пешана қаршилиқ кучининг катталиги

$$R = C_x S \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.4.2)$$



28- расм.

билан белгиланади, бу ерда  $C_x$ —ўлчамсиз коэффициент ва  $S$ -қанотнинг юзи. Яхши қанотларда  $C_x$  нинг қиймати  $C_y$  дан анча кичик. Пешана қаршилик ҳам қанотнинг атака бурчагига боғлиқ равишда ўзгаради. Қанотнинг учиш сифатларини аниқлаш учун  $C_x$  ва  $C_y$  катталигининг иккаласи атака бурчагига боғлиқ равишда бир вақтда қандай ўзгаришини билиш ниҳоятда муҳимдир. Бу боғланишлар 29-расмда тасвирланган бўлиб,  $C_y$  ва  $C_x$  лар учун турли масштаб олинган.



29-расм

Атака бурчаги ортиши билан пешана қаршиликошади. Кўтариш кучининг пешана қаршилиқ кучига нисбати энг катта бўладиган ҳолдаги атака бурчагини билиш ҳам муҳимдир. Кўтариш кучининг пешана қаршилиқ кучига нисбати «қанотнинг сифатини», яъни фойдали кўтариш кучининг зарарли пешана қаршилиқ кучига нисбатини аниқлайди; Бошқа шароитлар бир хил бўлганда «сифати» каттароқ қанот афзалроқ ҳисобланади, чунки атака бурчагинин «сифат» энг катта бўладиган ҳолдаги қийматларида учиш режими энг фойдали эканлиги равшандир.

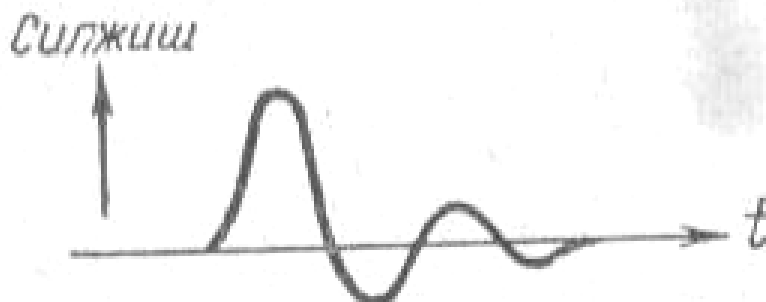
#### **3.4. Сиқиладиган суюқликда (газда) босим ғалаёнларининг тарқалиши ва жисмнинг товушдан тез ҳаракат қилиши**

Жисмнинг ҳаракат тезлиги кичик бўлганда ҳавони сиқилмайди деб ҳисоблаш мумкин. Юкорида кўриб ўтганимиздек тезлик 100 м/сек дан кичик бўлганда бунда йул кўйиладиган хато унча катта эмас. Одатдаги шароитда ( $t=15^{\circ}\text{C}$ ,  $p=760$  мм сим. уст.) товуш тезлиги ҳавода 340 м/сек га тенг. Жисмнинг ҳавода қиладиган ҳаракат тезлиги ортганда ҳавонинг *сиқилувчанлигини* ҳисобга олиш зарур.

Ҳавода бирор босим импульси (агар бу импульс унча катта бўлмаса) товушнинг *ҳавода* тарқалиш тезлигига тенг тезлик билан тарқалади. Ҳаво муҳитининг бирор жойида босимни оширсак ҳавони сиқиб, кейин ўз ҳолига кўйсак, ҳаво кенгайиб, қўшни зарраларни (ҳаво зарраларини) ҳаракатга келтиради, бўлар эса ўз навбатида улардан кейинда турган зарраларни ҳаракатга келтиради ва ҳаказо. Муҳитда *тўлқин* (яъни ғалаёнланиш)  $\approx 340$  м/сек тезлик билан тарқалади

Агар бошда сиқилган газ зарраси (ҳажми) жуда кичик бўлса ёки шар шаклида бўлса, бундай заррадан *сферик* товуш тўлқини тарқалади: сферада ётган зарралар бир хил тебранади, яъни физикада айтилишича, *тўлқин fronti* сферадан иборат бўлади. Сферик сим-

метрия туфайли, тебранишларда зарралар радиус бўйлаб силжийди ва бирор нуқтанинг вақт ўтиши билан тебранишлар характери тахминан 30-расмда кўрсатилган кўринишда бўлади. Тўлқин марказидан ўзоқлашган бу тебранишлар катталиги (интенсивлиги) камаяди.

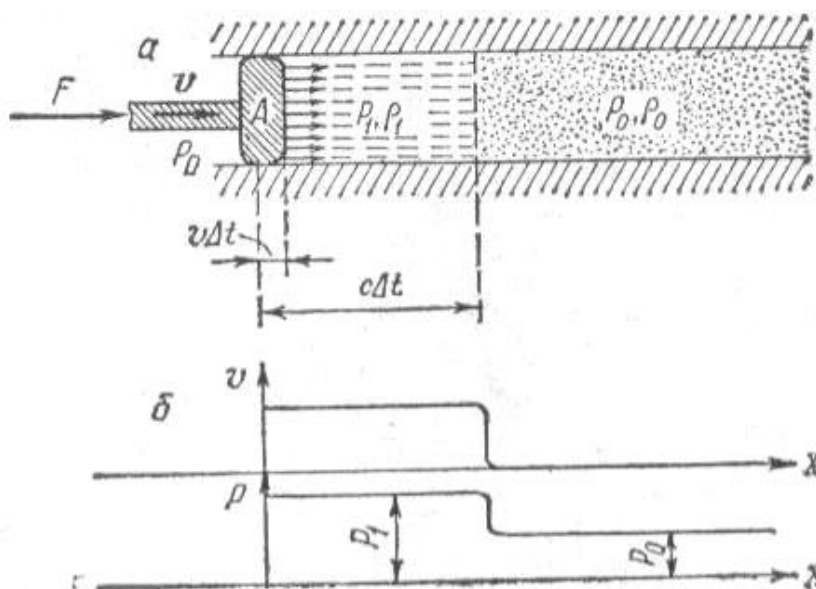


30- расм.

Тажрибанинг кўрсатишича, зичлик тебранишлари кичик бўлганда товуш тўлқинининг тарқалиш тезлиги тебранишлар шаклига боғлиқ бўлмайди ва мухитнинг физикавий хоссаларига боғлиқ бўлган ўзгармас катталиқ бўлади.

Шунинг учун товуш тезлигининг катталигини аниқлаш учун ҳаво ёки бошқа газ билан тўлдирилган цилиндрик трубада босимлар импульси тарқалишининг энг содда мисолини кўриб чиқамиз.  $\rho_0$  босим остида турган газ билан тўлдирилган цилиндрик трубада бир томонида  $A$  поршень бор (31- а расм), деб фараз қилайлик. Бирор  $t = 0$  пайтда поршень бир онда унча катта бўлмаган ўзгармас  $v$  тезлик билан ҳаракатга келади. Трубадаги газга нима бўлади? Труба бўйлаб «тезликлар тўлқини» ва поршень олдида «босимлар тўлқини» тарқалади.  $\Delta t$  вақт ўтгач, поршень олдида ўзунлиги  $c \Delta t$  бўлган бирор қатлам (газ қатлами)  $v$  тезлик билан ҳаракат қилади, бу қатламдаги босим энди  $\rho_0$  га эмас, балки  $\rho_1 = \rho_0 + \Delta\rho$  га тенг бўлади. Зарраларнинг  $\Delta t$  пайтдаги тезликлари графиги 31-б расмда тасвирланган; босимлар графигининг ҳам шакли шундай бўлади; зарралар сиқилишиб, поршень тезлигига тенг тезлик

билан ҳаракат қилмоқда, бироқ ҳаракатланаётган зарралар вақт ўтиши билан кўпаяди, чунки босимлар тўлқини олға томон тарқалаёпти.



31-расм

Ҳаракат миқдорининг ўзгариш қонунини тўлқин тарқалишига татбиқ этамиз. Поршеннинг газга босим берадиган  $F$  кучи импульсини

$$F \Delta t = \Delta p S \Delta t$$

кўринишда ёзиш мумкин; бу импульс газ олган ҳаракат миқдорига тенг:

$$(\rho_0 + \Delta\rho) c S v \Delta t,$$

бу ерда  $\rho_0 + \Delta\rho = \rho_1$  — тўлқиндаги, зарраларнинг сиқилган қатламидаги зичлик. Кўрсатиб ўтилган тенгликдан

$$\Delta p = (\rho_0 + \Delta\rho) c v \quad (3.4.1)$$

эканлиги келиб чиқади. Газнинг тўлқин тарқалаётган ҳажмидаги ҳаво массасининг ўзгармаслик шартини бундай ёзиш мумкин:

$$\rho_0 c S \Delta t = (\rho_0 + \Delta \rho)(c - v) S \Delta t$$

ёки

$$\Delta \rho + \rho_0 = \rho_0 \frac{c}{c - v}. \quad (3.4.2)$$

Бундан

$$\rho_0 + \Delta \rho = \Delta \rho \frac{c}{v}. \quad (3.4.3)$$

(3.4. 3) ни (3.4. 1) га қўйиб, трубада босимлар тўлқинининг тарқалиш тезлиги учун умумий ифода чиқарамиз:

$$c^2 = \frac{\Delta p}{\Delta \rho} \quad (3.4.4)$$

Агар  $\Delta p \ll p_0$  ва  $\Delta \rho \ll \rho_0$  бўлса, у ҳолда тўлқиннинг тарқалиш тезлиги

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (3.4.5)$$

кўринишда ёзилди. Бу формула товушнинг тарқалиш тезлигини аниқлайди, чунки товуш тўлқинида босим ва зичлик жуда кичик  $dp$  ва  $d\rho$  миқдорда ўзгаради.

Товуш тўлқинида босим ва зичлик ўзгаришлари адиабата қонуни билан боғланган:

$$p = \frac{p_0}{\rho_0^x} \rho^x$$

бу ерда  $p_0$  ва  $\rho_0$  - босим ва зичликнинг тўлқин йўқ жойдаги қийматлари; шунинг учун



$$dp = \frac{p_0}{\rho_0} \kappa d\rho. \quad (3.4.6)$$

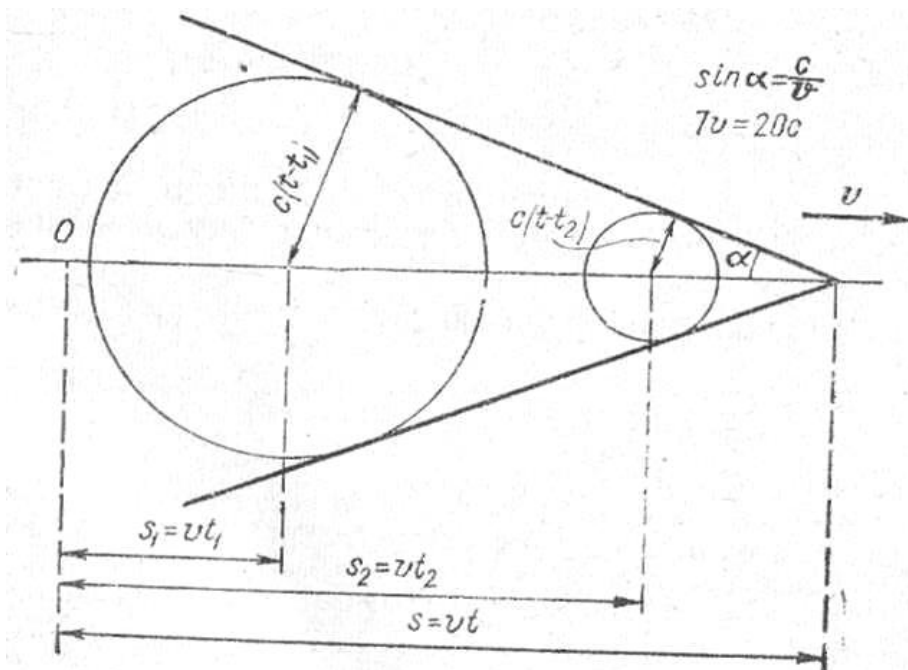
(3.4.6) ни (3.4.5) га қўйиб, товушнинг газдаги тезлиги қуйидагича эканини топамиз:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p_0}{\rho_0}}. \quad (3.4.7)$$

Газ ёки суюқликда тўлқиннинг тарқалиш тезлиги  $\frac{\Delta p}{\Delta \rho}$  дан чиқарилган квадрат

илдизга пропорционал, бу ерда  $\Delta \rho$  —бирор газ зарраси зичлигининг босимнинг  $\Delta p$  га ўзгариши туфайли ўзгариши. Агар  $\Delta p$  нинг тайинли бир қиймати зичликни салгина ўзгартирса, яъни газ ёки суюқлик жуда оз сиқилса, товушнинг тезлиги катта бўлади. Сиқилмайдигай суюқлик  $\Delta p$  чекли бўлганда  $\Delta \rho \rightarrow 0$  га мос келади ёки бошқача айтганда, сиқилмайдигай суюқликда товушнинг тезлиги чексизликка интилиши керак

Нуқта деб ҳисоблаш мумкин бўлган кичкина қаттиқ жисм муҳитда (газда) товуш тезлигидан катта бўлган  $v$  тезлик билан тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракатланяпти, деб фараз қилайлик. Ҳаракат вақтида жисм муҳитнинг тинч турган зарралари билан тўқнашади. Бу тўқнашишлар натижасида импульслар пайдо бўлиб, улар атрофдаги фазода ўзгармас  $c$  товуш тезлиги билан ҳамма томонга тарқалади. Равшанки, муҳитнинг зарралари ҳаракат қилмагани сабабли тўлқин fronti сферадан иборат бўлади. Бу процесс узлуксиз процесдир:  $t_1$  пайтда жисм координатаси  $s_1$  бўлган нуқтада бўлади (32-расм) ва  $dt$  вақт ичида узунлиги



32- расм.

$v dt$  бўлган газ зарраси билан тўқнашади;  $t - t_1$  вақт ичида бу заррадан радиуси  $c(t - t_1)$  бўлган сферик товуш тўлқини тарқалади; бундан кейинги вақт оралиқларида ҳам шундай процесс юз беради. Масалан, координатаси  $s_2 = vt_2$  бўлган нуқтадан  $t_2$  пайтда ( $t_2 > t_1$ ) худди шундай сферик тўлқин тарқала бошлайди, бу тўлқин  $t > t_2$  пайтда  $c(t - t_2)$  радиусга эга бўлади ва ҳоказо. Барча сферик тулқинлар тўпламининг ўрама сиртини тасаввур этиш мумкин: бу сирт конус шаклида бўлиб, унинг учи муайян  $t$  пайтда координатаси  $s = vt$  бўлган нуқтада, яъни ҳаракатланаётган жисм турган нуқтада бўлади. Конуснинг учидаги бурчаги  $2\alpha$  га тенг;  $\alpha$  нинг қиймати

$$\sin \alpha = \frac{c(t - t_2)}{v(t - t_2)} = \frac{c}{v} \quad (3.4.8)$$

тенгламадан аниқланади. Тўлқинларнинг конус сиртига ёндашган ҳамма қисмларининг шакли айти бир хил бўлади; улар қўшилиб, бу ерда бир-бирини кучайтаради.

Шуниси муҳимки, ҳаракатланаётган зарра *Мах конуси* деб аталадиган конус ичидаги фазонинг бир қисминигина «ғалаёнлантиради». Мухитнинг қолган

хамма зарралари  $t$  пайтда тинч туради. Бинобарин, жисмнинг (нуқтанинг) товуш тезлигидан катта тезлик билан қиладиган ҳаракати манзарасини жисм билан бирга ҳаракатланадиган *Мах конуси* ичида товуш тўлқинлари кетма-кетлиги тарқалишининг узлуксиз процесси деб тасаввур этиш мумкин.  $v$  тезлик қанча катта бўлса,  $\alpha$  шунча кичик конуснинг учидаги бурчак шунча кичик, фазонинг ҳаракатланаётган зарра тэъсиридан ғалаёнланадиган қисми шунча кичик бўлади.

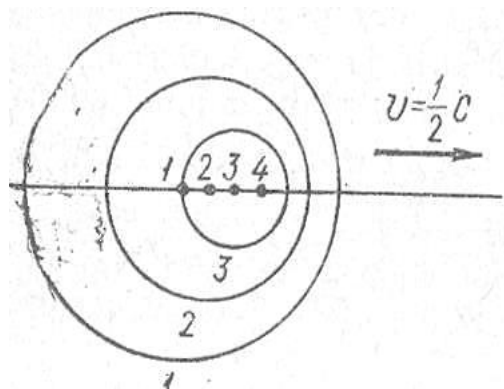
Тўлқинлар ҳосил бўлишига энергия сарф эталиши ҳаммага тушунарли; жисмнинг кинетик энергияси қисман товуш тўлқинларининг энергиясига айланади ва бинобарин, жисмга «ҳаракатга қаршилиқ кўрсатувчи куч» таъсир этади; бу куч *тўлқиний қаршилиқ* кучи деб аталади. Товуш тўлқинларида тебранишлар вақт ўтиши билан сусаяди, чунки вақт ўтиши билан тўлқинлар фазонинг тобора кўп соҳасини эгаллаб боради ва газдаги ички ишқаланиш туфайли сўнади; охир-оқибатда конуснинг «думи» фазода сочилиб кетади.

Агар зарра товуш тезлигидан катта бўлмаган тезлик билан тарқалса ҳам ундан товуш тўлқинлари тарқалган бўлар эди, Бироқ буларнинг характери бошқача бўлар эди: ғалаёнланиш газ эгаллаб турган бутун фазони эгаллаган бўлар эди, буни 33- расмни кўриб тасаввур этиш мумкин; бу расмда жисмнинг вазияти ва ундан тарқаладиган тўлқин fronti бир хил рақамлар билан белгиланган. Агар зарра мазкур вазиятга узоқ вақт ҳаракат қилиб келган бўлса, тўлқинлар фазони тўлиқ эгаллайди.

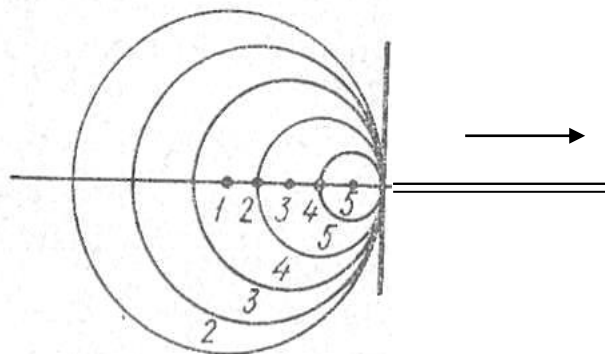
Жисм тезлиги товуш тезлигига тенг бўлганда ғалаёнланиш соҳаси фазонинг ярмини эгаллайди, чунки Мах конусининг учидаги бурчаги  $2\alpha = \pi$  га тенг (бунга тегишли манзара 34- расмда кўрсатилган).

Бу ерда баён этилган кичик жисм ( нуқта) ҳаракати тўғрисидаги фаразий мисол катта жисмларнинг товуш тезлигидан катта тезлик билан қиладиган ҳаракатида юз берадиган процесслар манзарасини тасаввур этишимизга имкон беради. Агар самолёт қаноти етарлича юпқа ва олдинги қирраси ўткир бўлса,

у ҳолда қанотни дастлабки чамалашда майда жисмлар ( нукталар, зарралар) тўплами деб ҳисоблаш мумкин;

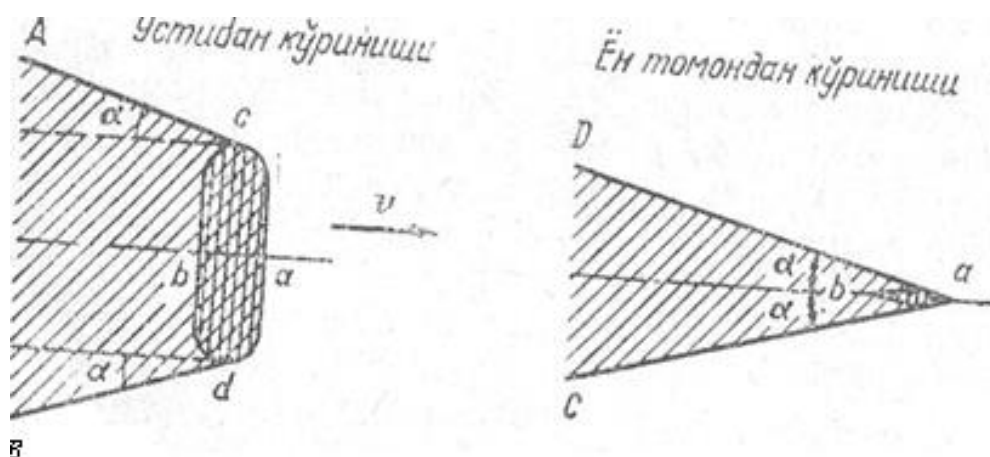


33- расм.



34- расм.

бу майда жисмларнинг ҳар бири теварак атрофга сферик товуш тўлкини тарқатади. Натижаловчи тўлқин қанот сиртининг ҳар бир нуктасидан келаётган алоҳида элементар тўлқинларнинг бир-бирига қўшилишидан иборат бўлиб, ғалаёнланиш соҳаси қанот сиртининг ҳар бир нуктаси билан бирга ҳаракатланувчи Мах конусларининг тўплами орқали аниқланади. Фазонинг ғалаёнланган соҳасининг сирти энди конус бўлмай қолади, Бироқ бу сирт барча Мах конусларининг ўрамасини эканлигини ҳисобга олсак уни тасаввур этиш қийин бўлмайди. Масалан, 35-расмга караб бирор юпқа *adbc* пластинка атрофидаги ўрама сирт вазиятини тасаввур этиш мумкин. (Расмда, бу сиртнинг горизонтал *AcadB* ва вертикал *DaC* текисликлар билан кесишуви кўрсатилган.) Биринчи яқинлашишда қанот атрофида элементар тўлқинлар тарқалишининг бу содда манзарасидан фойдаланиб, қанотнинг тўлқиний қаршилиги ва кўтариш кучини ҳисоблаш мумкин.



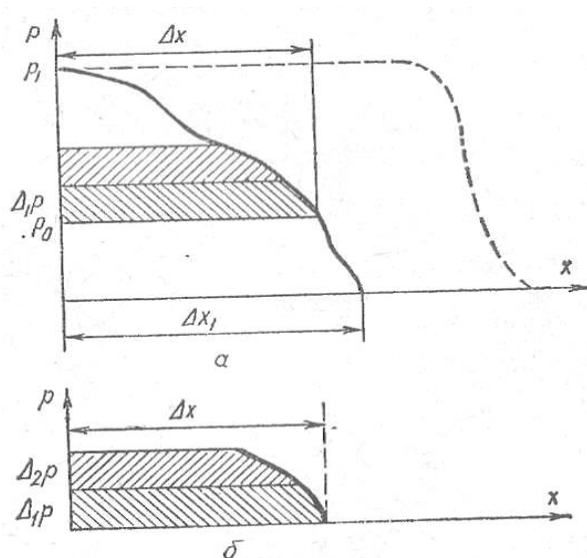
35-расм

Ҳақиқатда ходисанинг манзараси мураккаброқдир, мухит зарраларининг жисмга берадиган зарблари жуда кучли, яъни бу зарблар натижасида босим анчагина ўзгаради ва атрофдаги фазода тарқалувчи ғалаёнланиш характери бирмунча бошқача бўлиб қолади: энди ғалаёнланишларни мухитнинг зичлиги ва босими оз ўзгарадиган оддий акустик тўлқинлар тўплами (йиғиндиси) орқали ифодалаб бўлмайди. Тумшуғи тўмтоқ бўлган қиёсан йўғон жисмларда бу фарқ айниқса сезиларли бўлади; бу тўғрида биз кейинги параграфда гапирамиз.

### 3.5. Босим кўп ўзгарган ҳолдаги тўлқинлар ва жисмнинг катта тезлик билан қиладиган ҳаракати

Бундан олдинги параграфда биз поршеннинг ҳаракат тезлиги жуда кичик яъни  $v \ll c$  деб ва  $\Delta p$  катталиги  $p_0$  га нисбатан жуда кичик деб фараз қилган эдик. Ундан сўнг биз поршень бир онда ҳаракатга келади ва бирданига чекли  $v$  тезликка эга бўлади, деб ҳисоблаган эдик. Агар поршень тезлигининг нолдан  $v$  гача ошувига кетган  $\Delta t$  вақт  $\Delta t$  дан анча кичик бўлса, у ҳолда биз чиқарган хулосаларнинг ҳаммаси ўз кучида қолади, бироқ босим (ёки тезлик) тўлқини олдинги фронтининг графиги 31- б расмдагидек тиккароқ бўлмай қолади. Тўлқин фронтидаги зарранинг тезлиги  $\Delta t$  вақт ичида нолдан  $v$  гача ортади.

Энди босим кўп ўзгарган ҳолдаги тўлқинни кўриб чиқамиз. Поршень босими  $\Delta\tau$  вақт ичида каттагина  $p_1$  миқдорда ортди ва поршень олдидаги босим тақсимооти  $\Delta\tau$  пайтда 36- а расмда кўрсатилгандек шаклда бўлади, деб фараз қиламиз. Бундай мураккаб тўлқиннинг тарқалишини бундан олдинги

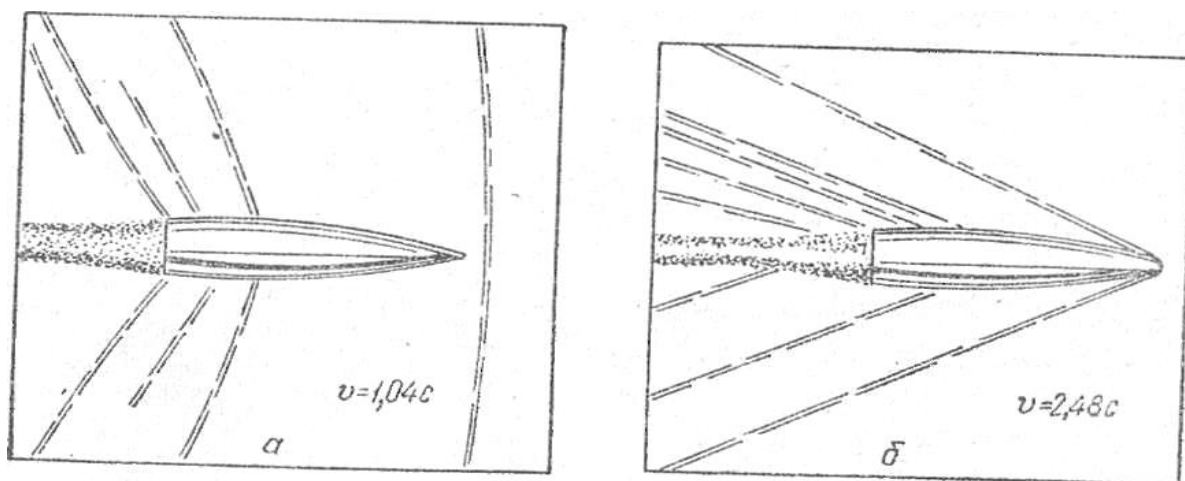


36- расм.

параграфда кўриб ўтилган ва интенсивлиги кичик бўлган кетма-кет келган элементар тўлқинларнинг тарқалиши сифатида тасавур этиш мумкин. Бу элементар тўлқинларнинг ҳар бири бири кетидан бири тарқалади ва бу тўлқинда босим оз ўзгариб, бу ўзгариш  $\Delta p$  га тенг бўлади; у ҳолда  $\Delta x_1 = c\Delta\tau$ . Босимнинг  $\Delta_1 p$  катталиқдаги элементар тўлқини  $p_0$  босимга қадар сиқилган мухитда 36-б расмда кўрсатилгандек тарқаяпти, деб фараз қилайлик.

Босим  $p_0 + \Delta_1 p$  миқдорида бўлгунча сиқилган мухитда босимнинг  $\Delta_2 p$  катталиқдаги элементар тўлқини олдинги тўлқинидан орқада тарқалади ва шу тариқа босим катталиги  $p_1$  га етгунча давом этади. Кейинда келаётган элементар тўлқинларнинг ҳар бири тобора зичроқ мухитда тарқалади. Зичлик ва босим ўзгариши  $p = \text{const } p^x$  адиабата қонуни билан боғланган; ҳаво учун  $\kappa = 1,4$ ; адиабатага ўтказилган уринманинг оғмалик бурчаги тангенци (3.4. 5)

га асосан, товуш тезлигининг квадратига тенг; шунинг учун зичлик ортиши билан товуш тезлиги ортади. Бинобарин, кечроқ пайдо бўлган элементар тўлқинлар олдин чиққан тўлқинларни қувлаб этади ва *тўлқин fronti* вақт ўтиши билан тобора *микрок* бўла боради ва ниҳоят 36- а расмда пунктир билан кўрсатилган шаклга келади; демак трубада бундан сўнг *босимларнинг узлукли тўлқини* тарқалади, бу тўлқинда босим ва тезлик деярли бир зумда *сакраб* ортади, сакрашдан сўнг босим ва тезлик қийматлари ўзгармайди. Узлукли тўлқиннинг тарқалиш тезлигини аниқлаш кийинроқ бу тезлик товуш тезлигидан фарқ қилиб, босим сакрашининг катталигига боғлиқдир. Бинобарин, босим бирданига кўп ўзгарганда, масалан, ҳавода снаряд ёки бомба портлаганда босимнинг узлукли тўлқинлари тарқалади. Бу тўлқинларда босим сакрашининг катталиги ҳам масофа ортган сари камаяди, айниқса бомба ёки снаряд кичикроқ сохада портлаган ва ундан деярли сферик шаклдаги тўлқинлар тарқалган ҳолда босим сакраши тез камаяди.



37-расм

Узлукли тўлқин fronti муайян заррадан ўтган вақтда бу зарра ҳаракатланаётган зарралар томонидан *зарб* ейди, бунда зарранинг тезлиги бир

зумда нолдан бирор чекли қийматга қадар ортади. Шунинг учун узлукли тўлқинлар зарб тўлқинлари деб ҳам аталади.

Товушнинг мухитдаги тезлигидан катта тезлик билан ҳаракатланаётган тўмток жисмдан олдинда ва ён томонда тахминан худди шундай манзара юз беради. Бу ҳолда зарб тўлқинининг бош қисми бўлиб, жисм учлик қилиб ишланган ва тезлиги етарлича катта бўлган ҳолда бу қисм найзага яқин бўлади. Жисм билан бирга келаётган зарб тўлқинининг қисми жисмдан олдиндаги зарраларни учратмагунча бу зарралар бутунлай тинч туради.

Мухитнинг зарраси орқали зарб тўлқини ўтган пайтда зарра бир зумда сиқилиб, бирор тезлик олади. Жисм билан зарб тўлқини fronti орасидаги ҳаво ҳаракатланади, зарралар жисмга жой бўшатиб бериб, четга тарқалади. Бу манзара цилиндрик трубада юз берадиган тўлқин процесига ўхшайди, Бирок цилиндрик трубада зарб тўлқини билан поршень орасидаги сиқилган газ қатлами ҳамма вақт ортади, бу ерда эса сиқилган газ зарралари муттасил четга кетиб туради (чунки девор йўқ) ва зарб тўлқини билан жисм орасидаги қатламнинг қалинлиги ўзгармайди; бу қатламга муттасил равишда келиб турган ҳаво зарралари атрофдаги мухитда ғалаёнланиш юзага келтириб ҳамма томонга тарқалади. Ғалаёнланишлар босим сакрашининг катталигига боғлиқ бўлган бирор тезлик билан тарқалади. Бирок табиийки, жисмдан ўзоқлашилган сари босим сакрашининг қиймати камаяди ва ғалаёнланишларнинг тарқалиш тезлиги товуш тезлигидан кам фарқ қиладиган бўлиб қолади, шунинг учун зарб тўлқинининг шакли тегишли Мах конусига ўхшаш бўлиб қолади.

Ўткир учли жисмлар  $v > c$  тезлик билан ҳаракат қилганда тумшуқ билан зарб тўлқини орасидаги қатлам жуда юпқа бўлади ва зарб тўлқини жисмнинг олдинги нуқтасидан олдинда кетади. Тезлик жуда катта (яъни  $v > c$ ) бўлганда зарб тўлқини жисм сиртига жуда яқин ўтади, Мах конуси анча чўзилиб қолган бўлади.

Зарб тўлқини ҳамма вақт товушдан тез учар самолёт билан бирга боради;



агар самолёт етарлича юқори бўлмаган баландликда учса, у ҳолда босимлар сакрашининг катталиги ер юзига яқин жойларда янада катта бўлади. Бундай тўлқин киши қулоғига етиб келганда граната ёки снаряднинг портлашига ўхшаган кескин «портлаш» овози эшитилади ва ундан сўнг учиб кетаётган самолётнинг одатдаги шовқини келади. Табиийки, учувчи бундай портлаш овозини ҳеч эшитмайди, у тўлқин билан бирга ҳаракатланади. 37- расмда  $v = 1,04c$  ва  $v = 2,48c$  тезлик билан учаётган ўқлар кўрсатилган; зарб тўлқинининг сояси нуқталар тарзида тасвирланган. Товуш тезлигидан катта тезлик билан ҳаракатланаётган жисмнинг (снаряд, ўқ ва шу кабиларнинг) энергияси асосан у билан бирга борадиган зарб тўлқинлари ҳосил қилишга сарф этилади. Жисмнинг бундай тезлик билан қиладиган ҳаракатига кўрсатиладиган қаршилик асосан *тўлқиний қаршиликдир*. Жисмнинг ўз йулида учраган зарраларга зарб бериши натижасида муҳит зарралари ҳаракатга келади. Жисм келиб урилган зарралар жисмга йўл бўшатиб бериб, атрофдаги муҳит зарраларини ҳаракатга келтиради, бу ҳаракат зарб тўлқинининг бош қисми ўтгандан сўнг бошланади. Зарраларни ҳаракатга келтиришга ва зарралар тўқнашганда чиқадиган иссиқликка сарфланган энергия ҳаракатланаётган жисмнинг кинетик энергияси камайиши ҳисобига ёки жисмни ҳаракатга келтираётган манба ҳисобига ҳосил бўлади. Жисм олдинги қисмининг шакли пешана қаршилик катталигига кўп таъсир қиладди: тумшуғи ўткир қилинган ва кўндаланг кесими кичик бўлган жисмларнинг пешана қаршилиги кичик бўлади. Жисмнинг кетинги қисмининг шакли бу ҳолда унча катта аҳамиятга эга эмас, ваҳоланки ҳавонинг жисмни айланиб ўтиш тезлиги унча катта бўлмаган ҳолда кетинги қисм шаклининг аҳамияти катта бўлади.

### 3.6. Трубада оқимнинг товушдан тез ҳаракат қилиши

Юқорида кўрганимиздек идишда  $p_n$  босим остида турган газнинг тешикдан оқиб чиқиш тезлиги назарий ҳисобларга кўра **жуда** катта бўлиши мумкин. Масалан, бир атмосферага тенг босим остида турган ҳавонинг ноль босимли фазога (вакуумга) оқиб чиқиш тезлиги, қўйидагича бўлади:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2x}{\kappa - 1} \frac{p_n}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,405 \cdot 1,0133 \cdot 10^5}{0,405 \cdot 1,293}} \approx 750 \text{ м/сек},$$

бу ерда адиабата коэффициента  $\kappa = 1,405$ , атмосфера босими  $p_n = 1,0133 \cdot 10^5$  кг/м<sup>2</sup>\*сек<sup>2</sup> ва ҳавонинг бошлангич зичлиги  $\rho_n = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>.

Бу оқим тезлиги товуш тезлигидан икки баравардан зиёд ортиқ. Бироқ тешик торайиб борадиган тешик бўлса, оқим тезлиги амалда бунга етмайди. Дарҳақиқат, идишдан ташқарида ва идиш ичида босим бир хил бўлсин, ташқаридаги босимни аста-секин камайтирамиз, бунда идишдаги босим ўзгармай (бир атмосфера бўлганича) туради деб фараз қиламиз. У ҳолда тешикнинг тор кесимида максимал тезлик аста-секин ортади. Ташқаридаги босимнинг формуладан аниқланиши мумкин бўлган бирор қийматида оқим тезлиги товуш тезлигига тенглашади ва тешикнинг бутун кесими товуш тезлиги билан ҳаракат қилувчи газ билан тўлади.

Агар ташқаридаги босимнинг ўзгариши идиш ичига бирор даражада ўтса, у ҳолда унинг ҳар қандай ўзгариши идиш ичидаги оқимга таъсир кўрсатади. Газдаги босимнинг ўзгариши товуш тезлиги билан тарқалади ва, бинобарин, бу ўзгариш идишнинг ичига товуш тезлиги билан ҳаракатланаётган зарралар эгаллаган соҳа орқали ўта олмайди. Шундай қилиб, ташқаридаги босимнинг янада камайиши тешикдаги оқим тезлигини оширмайди. Тешикдаги ҳаво жараёни атрофдагидан каттароқ бўлган тайинли бир босимга эга бўлади. Товуш тезлиги билан ҳаракатланаётган оқим тешикни «бекитиб» қўяди. Бу хулоса ўзгарувчан кесимли оқим найи бўйлаб сиқилувчан газнинг стационар оқими мавжудлиги шартларининг анализи билан ҳам тасдиқланади.

Сиқилувчан газ стационар оқимининг оқим найи 5 кесимга эга бўлсин, бу кесимни  $x$  координатанинг функцияси деб хисоблаймиз;  $x$  координата ўқини най ўқи бўйлаб оқим томонга йуналтирамыз. У ҳолда стационар оқимда най бўйлаб масса оқимининг доимий бўлиш шарти қўйидагича ёзилади:

$$\rho v S = \text{const}, \quad (3.6.1)$$

бу ердаги ҳамма катталиклар фақат  $x$  нинг функцияларидир. Координатаси  $x$  бўлган кесимдан координатаси  $x+dx$  бўлган кесимга ўталганда ҳамма катталиклар ўзгаради, бироқ уларнинг дифференциаллари қўйидаги муносабатга бўйсунди:

$$\frac{dS}{S} + \frac{dv}{v} + \frac{d\rho}{\rho} = 0, \quad (3.6.2)$$

бу муносабат (3.6.1) ни дифференциаллашдан топилади. Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан,

$$- dp = \rho v dv, \quad (3.6.3)$$

бу ерда  $dp$ — босимнинг  $x$  координатали кесимдан  $x+dx$  га ўтилган ҳолдаги орттирмаси. Энди товуш тезлигига оид

$$dp = c^2 d\rho \quad (3.6.4)$$

муносабатни эътиборга оламиз; уни (3.8.3) га қуямиз:

$$\rho v dv = -c^2 d\rho$$

ёки

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{v dv}{c^2} \quad (3.6.5)$$

Бу ифодани (3.6.2) га қўйиб, найнинг кундаланг кесими билан оқим тезлиги орасидаги боғланишни топамиз:

$$\frac{dS}{S} = \frac{dv}{v} \left( \frac{v^2}{c^2} - 1 \right) \quad (3.6.6)$$

Бу формула най кесимининг  $dS$  ўзгариши билан  $v$  тезлик ўзгариши орасидаги муносабатни ифодалайди, айти вақтда бу формула оқим тезлигининг товуш тезлигига ( $c$  га) нисбатининг принципиал ахамиятини ҳам кўрсатади.

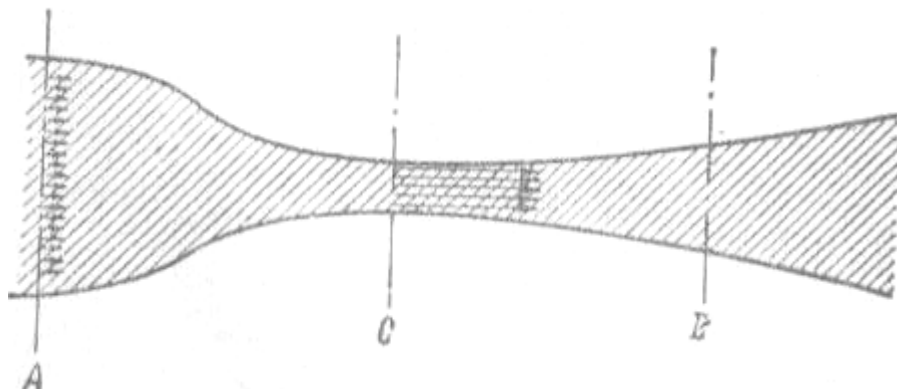
Агар оқим найи оқим бўйлаб торайиб борса (яъни  $dS$  манфий бўлса), у ҳолда (3.6.6) га асосан,  $\frac{v}{c} < 1$  бўлган шароитдагина  $dv > 0$  бўлади. Демак торайиб борувчи оқим найида  $v$  тезлик оқим бўйлаб товушнинг  $c$  тезлигидан катта бўлмаган бирор қийматидагина қадар ортади.  $dv$  нинг қиймати мусбат бўлганда, яъни тезлик ошганда  $\rho$  зичлик хаамиша камайиши (3.6.5) шартдан кўриниб турибди. *Торайиб борувчи оқим найида оқим тезлиги ошади, зичлик ва босим оқим бўйлаб камаяди, бироқ тезлик  $c$  дан катта бўлолмайди.* Бу хулосага биз бундан олдин элементар мулоҳазалар асосида ҳам келган эдик.

Агар оқим найи кенгая борса ( $dS > 0$ ) ва оқим тезлиги най бошида  $c$  дан кичик бўлса, (3.6.6) га асосан,  $dv < 0$  бўлади. Демак оқим тезлиги оқим бўйлаб камаяди, босим ва зичлик ортади; шундай эканлиги (3.6.5) дан кўриниб турибди. Агар кенгая борувчи оқим найида  $v$  оқим тезлиги  $c$  тезликдан катта бўлса, у ҳолда  $dv > 0$  ва оқим тезлиги оқим бўйлаб ортади, босим ва зичлик камаяди.

Бу ерда манзара оқим тезлиги  $c$  тезликдан кичик бўлган сиқилмайдиган суюқлик оқимидаги ёки газ оқимидаги манзарадан бутунлай бошқача бўлади. Дарҳақиқат, оқим тезлиги  $c$  тезликдан кичик бўлганда кенгая борувчи найида тезлик оқим бўйлаб камаяди, босим ва зичлик ортади. Сиқилмайдиган суюқликда  $c \rightarrow \infty$ , шунинг учун кенгаювчи ва тораювчи найида тезлик ўзгаришининг сифат томони  $c$  дан кичик  $v$  тезликда газда бўладиган ҳол билан бир хил бўлади.

Шундай қилиб, оқимни трубада товушдан катта тезлик билан ҳаракатланадиган қилиш учун трубани олдин тораядиган ва кейин кенгайдиган қилиш шарт (38-расм). Босимлар айирмаси тегишлича қилиб олинганда оқимнинг  $A$  кесимдан  $C$  кесимгача бўлган ораликда тезлиги товуш тезлигига қадар ортади, сўнгра эса  $C$  кесимдан  $O$  кесимгача ораликда тезлик

товуш тезлигидан ортиқ бўлгани ҳолда оқим бўйлаб ортади. Трубанинг кесимини шундай танлаб олиш керакки,



38-расм

тайинли бир тезликка эришиш учун кетадиган босим исрофлари минимал бўлсин. Агар трубанинг кенгайиши мақбул бўлмаса, у ҳолда товуш тезлигидан катта тезликлар зонасида труба деворларига нисбатан қимирламайдиган «сакраш» (*ўзлукли тўлқинлар*) ҳосил бўлиши мумкин, сакрашдан сўнг тезлик пасаяди. Сакраш пайдо бўлиш сабаблари устида биз тўхталиб туrolмаймиз.

Моделларни товуш тезлигидан катта тезликли оқимда синаш учун мана шундай оқимли аэродинамик трубалар қурилади; бўларнинг кесими тахминан 39-расмда кўрсатилгандек бўлиб, бунда модель D кесим зонасига қўйилади. Модель яқинида ўзлукли тўлқинлар пайдо бўлади, булар тинч турган ҳавода товуш тезлигидан катта тезлик билан учганда ҳосил бўладиган ўзлукли тўлқинлар каbidир.

### III-БОБНИНГ ҚИСҚАЧА ХУЛОСАСИ

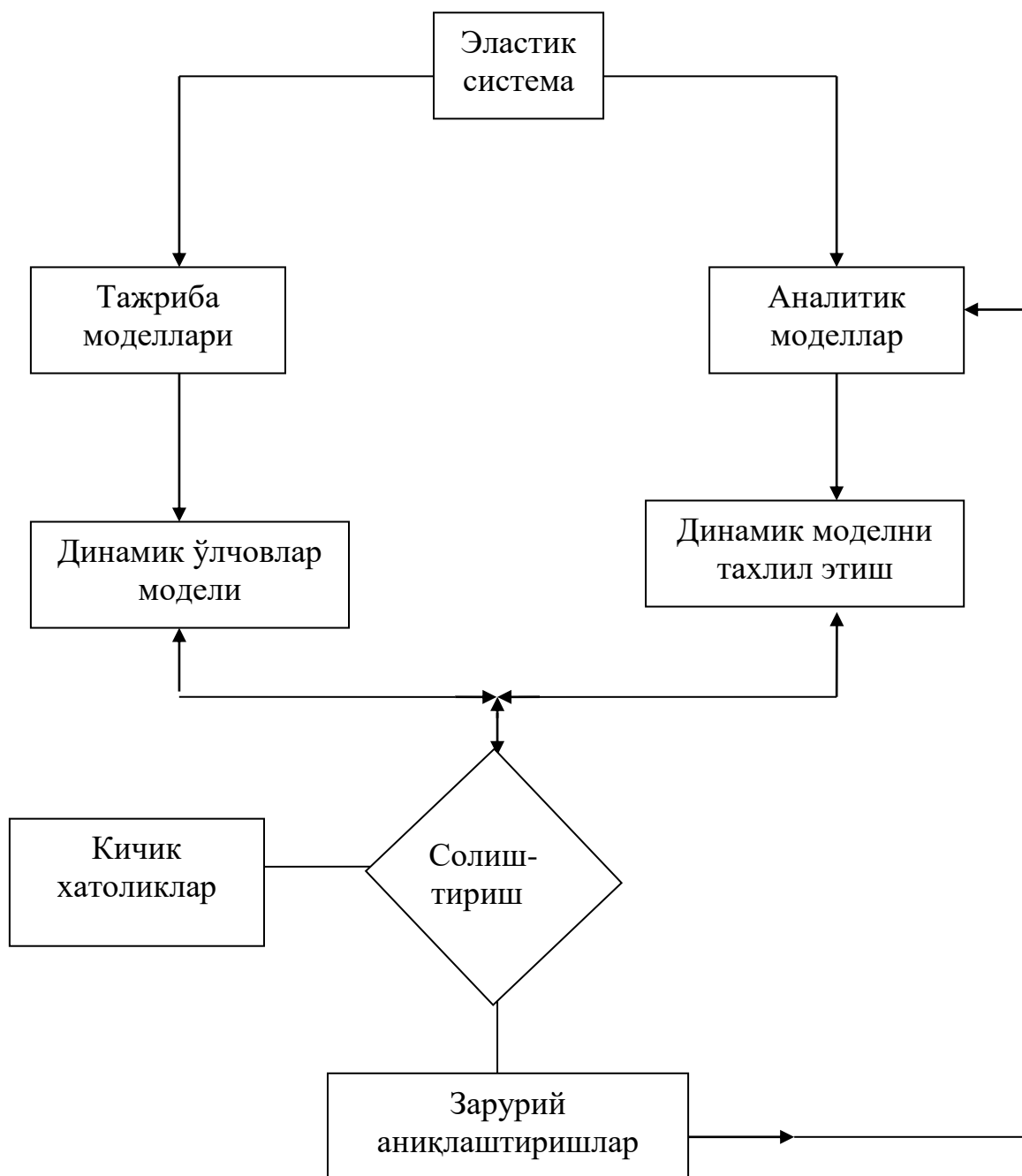
Аэро ва гидроэластик масалаларини очишда голаграфия, строболоскопик, интеграл қайд қилувчи ускуналадан фойдаланишнинг услубий йўллари ўрганилди.

Товушдан тез ўчиш, трансвоз соҳаси, авиамоделларнинг конструкцион материаллари “қора” ва “кулранг” яшиқларнинг вазифалари ҳақидаги тушунчалар чуқурлаштирилиб бу борадаги назарий билимлар юксалтирилди.

## ХУЛОСАЛАР ВА ТАКЛИФЛАР

Мазкур магистрлик диссертациясини ёзиш давомида аэро ва гидроэластиклик масалаларининг деформация жараёнларини ўрганишнинг долзарб тадбиқий муоммоларини ёзишга бағишланган тажрибавий усуллари, назарий ва аналитик йўллар орқали ўрганиб чиқилди. Бугунги кунда аэродинамика ва гидродинамик фанларини ўрганиш мазкур соҳадаги механизм ва машиналарни лойиҳалашнинг рационал асосларини яратиш ҳамда уларни такомиллаштириш мақсадида амалга оширилади. Диссертацияни ёзиш давомида гидроэластикликнинг нобиржинсли масалалари, вариацион усулларнинг дискретлиги, чекли айирмалар методлари, системалар потенциал энергияларининг экстримал қийматлари, элементар қутичали деталлар, интеграл қайд қилувчи ускуналар лазер нурлари ёрдамида голографик тасвирлар олиш, Гаусс жараёнлари, микротирқишларнинг пайдо бўлиш жараёнлари, пластинка зоналар, трансвоз ва ундан юқори тезликлар соҳасидаги чидамлилиқ ва мустаҳкамлик каби характеристик катталиқларни ўрганиш орқали қуйидаги якуний хулосалар ясалди.

1. Аэро ва гидроэластик мухитларда кечадиган жараёнларни ўрганиш асосида олинган тажриба ва аналитик таҳлиллар натижаларини тушунтириш ишларини қуйидаги тизим орқали амалга ошириш техник лойиҳалаш ишларида яхши самара беради
2. Туташ мухитлар механикасида техник жараёнларнинг электрон моделларини дастурлаш ишлари амалга оширилди.
3. Гидроэластик мухитларда “Сплай” ва “Пласка” усулларнинг қўлланилиши асосида объектлардан кесиб олинган участкаларнинг ҳаракати назарий ва аналитик усуллар асосида таҳлил этилди
4. ТТМда “Суперэлемент” лар ҳаракатини ўрганиш, уларда кечадиган мураккаб кинематик жараёнларга динамик тавсиф бериш йўллари ўзлаштирилди.



5.Аэро ва гидроэластик масалаларини очишда голаграфия, строболоскопик, интеграл кайд қилувчи усқуналадан фойдаланишнинг услубий йўллари ўрганилди.

6. “Мах” коэффицентига қараб аэродинамик қурилмаларни лойихалашнинг Рационал йўллари кўрсатиб ўтилди: Товушдан тез ўчиш, трансовоз соҳаси, авиамоделларнинг конструкцион материаллари “қора” ва “қулранг” яшиқларнинг вазибалари ҳақидаги тушунчалар чуқурлаштирилиб бу борадаги назарий билимлар юксалтирилди.

Мазкур диссертация ишини ёзишда физиканинг умумий босқичларида олинган билим захираларидан фойдаланиш ижобий самара берди. Илмий тахлиллар ишнинг ҳар бир мутахассис учун қизиқарли эканлигини тасдиқлайди. Аэродинамика, гидромеханиканинг турмушдаги ўрни беқиёс эканлиги, физика ва амалий механика қонунларнинг ахамияти ва қўлланилиш соҳалари бугунги кундаги муҳим долзарб техник масалаларни ечиш имкониятларини яратиб бериши кўрсатиб ўтилди. Танланган мавзу келажакдаги илмий тадқиқот ҳамда педагогик фаолиятни ташкил этишда ўзининг ижобий самарасини беради.



## Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. И.А.Каримовни “Баркамол авлод орзуси”. Китоби. 2000 й. 187-203 б.
2. Ш.Маматқулов “Колебания и волны гидро упругих и грунтовых средах” Ташкент. “Фан”. 1987 год.
3. А.С.Вольмер. Гидроэластик масалалари.1979.Москва
4. Ак. Мандельштам. “Лекции по теории колебаний”. Москва. “Наука” 1972 год.
5. С. П. Тимошенко, Дж Гудьер «Теория упругости». Москва. “Наука”. 1979 г.
6. Рахматуллин Х.Х. “О проблемах теории распространения волн в сплошных средах”. Вестник МГУ. 1970 г. №2. С-97-108.
7. Б. Примкулов ва б.қ. “Гидроэластикликнинг тескари масаласи” “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари”. Республика илмий-назарий анжумани. Илмий мақолалар тўплами II қисм 157-159 бетлар. Термиз ш. 2013 йил 1-2 май
8. Б. Примкулов ва б.қ. “Оламнинг пайдо бўлиши ҳақида А.Фридман моделлари – Эйнштейн масаласи”. “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари” Республика илмий-назарий анжумани. Илмий мақолалар тўплами II қисм 159-160 бетлар. Термиз ш. 2013 йил 1-2 май
9. Б. Примкулов ва б.қ.”Инновацион фаолиятни шакллантириш”, “Маънавият гулшани” 2013 йил 9-январ №1(438)
- 10.С.П.Стрелков “Механика” Тошкент. “Ўқитувчи” 1977 йил.  
Н.И.Рындин. “Краткий курс теории упругости и пластичности”. ЛГУ. Ленинград. 1974 год.

## **Магистратурада ўқиш давомида чоп этилган мақолалар рўйхати**

1.Б. Примкулов ва б.қ. “Гидроэластикликнинг тескари масаласи” “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари”. Республика илмий-назарий анжумани. Илмий мақолалар тўплами II қисм 157-159 бетлар. Термиз ш. 2013 йил 1-2 май

2.Б. Примкулов ва б.қ. “Оламнинг пайдо бўлиши ҳақида А.Фридман моделлари – Эйнштейн масаласи”. “Замонавий физиканинг долзарб муаммолари” Республика илмий-назарий анжумани. Илмий мақолалар тўплами II қисм 159-160 бетлар. Термиз ш. 2013 йил 1-2 май

3.Б. Примкулов ва б.қ.”Инновацион фаолиятни шакллантириш”, “Маънавият гулшани” 2013 йил 9-январ №1(438)