2 дәріс

Ламинар және турбулентті қозғалыстар. Рейнольдс саны. Ламинар қозғалыстардың турбуленттілікке өтуі. Тәжірибелік нәтижелерге шолу

Дәрістің мақсаты

Ламинарлық және турбуленттік ағыс режимдерін салыстыру, Рейнольдс санын есептеп, оның физикалық мағынасын түсіндіру және режимдердің ауысуына әсер ететін факторларды талдау.

Дәрістің мазмұны

1. Ламинарлық және турбуленттік қозғалыстың белгілері.
2. Рейнольдс саны және сипаттамалық масштабтар.
3. Өтпелі режим және тұрақтылық.
4. Рейнольдс тәжірибесі және тәжірибелік бақылаулар.
5. Ағыс режимінің инженерлік есептердегі маңызы.

1. Ламинар және турбулентті қозғалыстар

Ламинар қозғалыс

Ламинар ағын – бөлшектердің бір-бірімен араласпай, параллель қабаттар түрінде қозғалысы. Бұл жағдайда жылдамдықтың таралуы тұрақты және тегіс болады.

- Негізгі белгілері:
  - сұйық қабаттарының реттелген қозғалысы;
  - энергия шығыны аз;
  - жылдамдық профилі парабола түрінде.
- Мысал: кішкене жылдамдықта құбыр бойымен аққан су, қан тамырларындағы қан қозғалысы.

Турбулентті қозғалыс

Турбулентті ағын – бөлшектердің ретсіз, құйындармен араласқан қозғалысы.

- Негізгі белгілері:
  - құйындардың пайда болуы;
  - энергия шығыны көп;
  - жылдамдық профилі біртектілеу, бірақ хаосты.
- Мысал: өзен ағыны, жоғары жылдамдықтағы құбырдағы газ, ұшақ қанатының жанындағы ауа.

2. Рейнольдс саны

Рейнольдс саны (Re) – ағынның режимін сипаттайтын өлшемсіз критерий. Ол инерция күштерінің тұтқырлық күштеріне қатынасын көрсетеді:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu},$$

мұндағы:

- ρ – тығыздық,
- υ – орташа жылдамдық,
- L – сипаттамалық өлшем (құбыр диаметрі),

- μ – динамикалық тұтқырлық,
- ν – кинематикалық тұтқырлық.

Шектік мәндер:

- Re<2000 → ламинар режим.
- 2000<Re<4000 → өтпелі режим.
- Re>4000 → турбулентті режим.

3. Ламинар қозғалыстың турбуленттілікке өтуі

Ламинардан турбуленттікке өту – сұйықтық динамикасындағы маңызды процесс. Ол көбінесе ағынның жылдамдығы артқан кезде, геометрияның өзгеруінде немесе сыртқы әсерлерде пайда болады.

- **Себептері:**
  - Жылдамдықтың артуы → инерция күштері тұтқырлық күштерінен басым болады.
  - Құбырдың бетінің кедір-бұдырлығы.
  - Сыртқы тербелістер мен дірілдер.
- **Өтпелі режим:**

Бұл кезеңде ағын ішінара ламинарлы, ішінара турбулентті болып аралас күйде жүреді. Тәжірибеде бұл режим тұрақсыз, сондықтан есептеулерде арнайы ескеруді қажет етеді.

4. Тәжірибелік нәтижелерге шолу

Ламинар мен турбулентті қозғалысты зерттеу үшін тәжірибелік қондырғылар қолданылады.

4.1. Осборн Рейнольдстың тәжірибесі

XIX ғасырда ағылшын ғалымы Осборн Рейнольдс құбыр арқылы су ағынын зерттеп, ламинар мен турбуленттік режимдердің шекарасын анықтады.

- Құбырға боялған сұйық жібергенде, төмен жылдамдықта бояу жіп түрінде сақталады (ламинар).
- Жылдамдық артқанда бояу араласып, құйындар пайда болады (турбулент).

4.2. Қазіргі тәжірибелер

- **Құбырдағы қысым шығыны**: ламинарда – жылдамдыққа пропорционал, турбулентте – жылдамдықтың квадратына пропорционал.
- **Аэродинамикалық құбырлардағы сынақтар**: қанат пен денелердің кедергі коэффициенті ламинар режимде аз, турбулентте артады.
- **Сандық модельдеу (CFD)**: қазіргі уақытта ламинардан турбулентке өтуді турбуленттік модельдер (k-ε, k-ω SST) арқылы сипаттайды.

5. Инженерлік қолдану маңызы

- **Гидравликада:** құбыр жүйелерін жобалауда қысым шығындарын дұрыс есептеу үшін режимді білу қажет.
- **Авиацияда:** қанат бетінде ламинарлық ағынды сақтау – аэродинамикалық сапаны арттырады.
- **Энергетикада:** турбина, компрессор, сорғыдағы ағын режимі құрылғының ПӘК-іне әсер етеді.

Қорытынды

Ламинар және турбуленттік қозғалыстар – сұйықтық динамикасының негізгі режимдері. Рейнольдс саны олардың шекарасын анықтайтын басты критерий. Ламинардан турбулентке өту – тек теориялық емес, тәжірибелік тұрғыдан да үлкен маңызға ие. Бұл құбылыс инженерлік есептерде қысым шығындарын, құрылғы ПӘК-ін, ағынның тұрақтылығын анықтауда шешуші рөл атқарады.

Өзін өзі тексеруге арналған сұрақтар

1. Ламинарлық және турбуленттік ағыстардың негізгі айырмашылықтары қандай?
2. Рейнольдс санының өрнегін жазып, оның физикалық мағынасын түсіндіріңіз.
3. Құбыр ағысы үшін сипаттамалық жылдамдық пен өлшем қалай таңдалады?
4. Рейнольдс тәжірибесінде боялған сұйық ағынының көрінісі қалай өзгереді?
5. Өтпелі режимнің ерекшеліктері қандай?
6. Қабырға кедір-бұдырлығы мен сыртқы ауытқулар режим ауысуына қалай әсер етеді?
7. Критикалық Рейнольдс санын барлық геометрияға бірдей қолдануға бола ма?
8. Ағыс режимі гидравликалық шығындар мен жылуалмасуға қалай әсер етеді?