ТУРБУЛЕНТТІЛІК ФИЗИКАСЫ

Ламинарлық және турбуленттік ағыс

Рейнольдс саны
Ағыс режимдерінің ауысуы

Исатаев М.С.



2

ДӘРІС
Ағыс режимдері

Дәрістің мақсаты мен құрылымы

Мақсат

Ламинарлық және турбуленттік режимдерді салыстыру.

Рейнольдс санының мағынасын түсіндіру.

Негізгі мазмұн

Ағыс белгілері

Сипаттамалық масштаб

Өтпелі режим

Рейнольдс тәжірибесі

Оқу нәтижесі

Re санын есептеу.

Режимді геометрияға сай бағалау.

Өтудің себептері мен инженерлік салдарын түсіндіру.

Ламинарлық және турбуленттік ағыс

Ламинарлық режим

Қозғалыс реттелген.

Көлденең араласу әлсіз.

Жылдамдық өрісі уақытқа тәуелді де болуы мүмкін.

Турбуленттік режим

Жылдамдық лүпілдері бар.

Құйындар әртүрлі масштабта пайда болады.

Импульс пен жылу араласу арқылы тасымалданады.

Ламинарлық ағыс барлық жағдайда параболалық болмайды. Профиль геометрия мен қозғалыс шарттарына тәуелді.

Рейнольдс саны және сипаттамалық масштаб

$$Re = \rho UL/\mu = UL/\nu$$

Жылдамдық U

Құбырда қима бойынша орташа жылдамдық алынады.

Өлшем бірлігі: м/с.

Өлшем L

Дөңгелек құбырда L = D.

Басқа геометрияда тиісті сипаттамалық өлшем таңдалады.

Тұтқырлық

$\nu = \mu/\rho$

μ: Па·с
ν: м²/с

Re өлшемсіз шама.

Дөңгелек құбырдағы режимдер

Ламинарлық

Re < 2000

Тұтқырлық ұйытқуларды басуға ықпал етеді.

Өтпелі

2000–4000

Ламинарлық және турбуленттік бөліктер кезектесе алады.

Турбуленттік

Re > 4000

Кәдімгі құбыр жағдайында турбуленттік ағыс күтіледі.

Бұлар лекцияда қолданылған жуық бағдарлық аралықтар. Кіріс ұйытқулары мен құбыр жағдайы өту шегін өзгертеді. Бұл шектерді барлық геометрияға қолдануға болмайды.

Мысал: жылдамдық өзгергендегі режим

D = 0,020 м, ν = 1,0·10⁻⁶ м²/с. Re = UD/ν

1-жағдай

U = 0,05 м/с

Re = 1000

Ламинарлық режим

2-жағдай

U = 0,15 м/с

Re = 3000

Өтпелі аралық

3-жағдай

U = 0,30 м/с

Re = 6000

Турбуленттік режим

Ламинарлық ағыстың тұрақтылығы

Инерцияның артуы

Жылдамдық өскенде Re артады. Ұйытқулардың дамуы күшеюі мүмкін.

Қабырға кедір-бұдырлығы

Бет ақаулары мен геометриялық өзгерістер қосымша ұйытқулар тудырады.

Сыртқы әсерлер

Кірістегі турбуленттілік, діріл және қысымның өзгеруі өтуге әсер етеді.

Үзік-үзік турбуленттілік

Өтпелі ағыста турбуленттік дақтар немесе бөліктер пайда болуы мүмкін.

Рейнольдс тәжірибесіндегі бақылаулар

Тәжірибе сұлбасы

Мөлдір түтікпен су өткізіледі.

Ағысқа жіңішке бояу ағыншасы енгізіледі.

Шығын біртіндеп өзгертіледі.

Бояу ағыншасы

Аз жылдамдықта бояу жіп тәрізді сақталады.

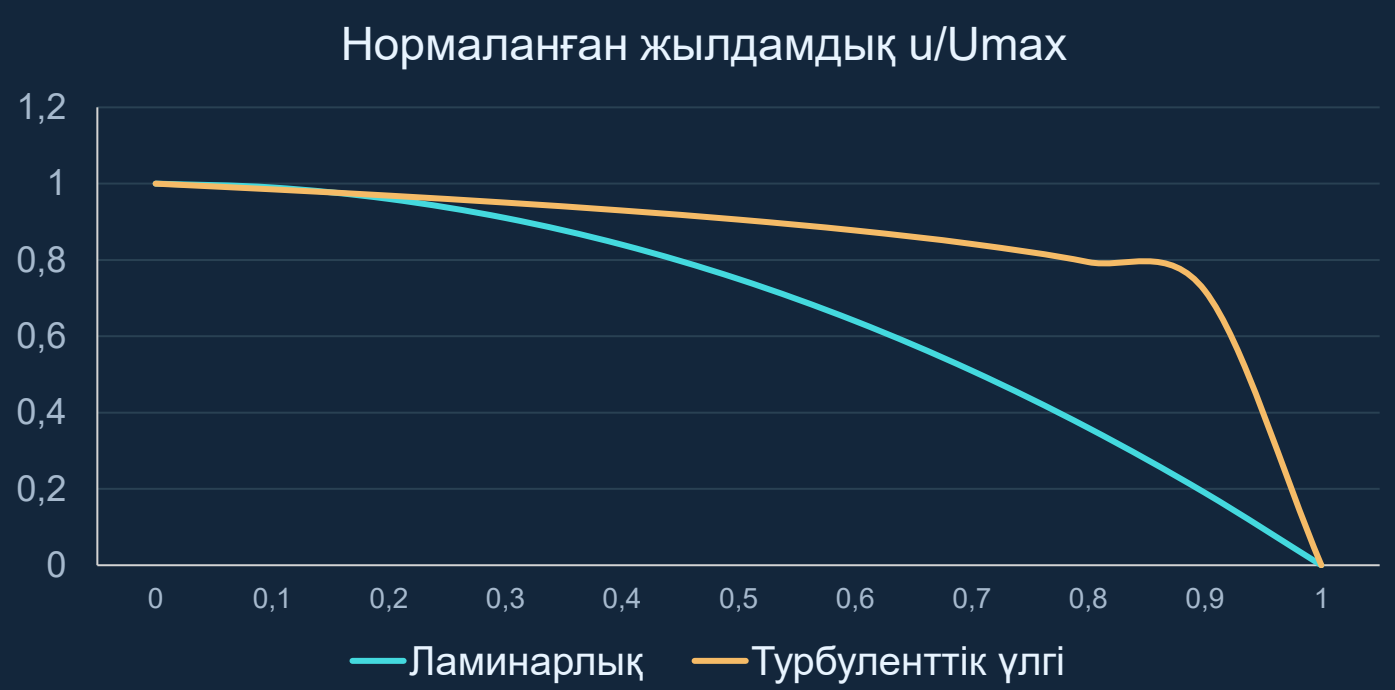
Жылдамдық өскенде ағынша тербеліп, кейін кең көлемге таралады.

Өлшенетін шамалар

U, D және ν бойынша Re есептеледі.

Бақылау режим ауысуының жағдайға тәуелді екенін көрсетеді.

Құбырдағы жылдамдық профильдері



r/R: орталықтан қабырғаға дейін. Турбуленттік қисық 1/7 дәрежелік заңмен жуықталған, қабырға маңында дәл емес.

Профильді түсіндіру

Ламинарлық профиль: толық дамыған ағыста парабола.

Турбуленттік орташа профиль орталық бөлікте жазықтау.

График оқу үшін берілген.

Гидравликалық шығындар

$$\Delta p = f_D \, (L/D) \, \rho U^2/2$$

Ламинарлық ағыс

$f_D = 64/Re$

Толық дамыған дөңгелек құбырда, тұрақты қасиеттер кезінде $\Delta p \propto U$.

Турбуленттік ағыс

f_D Рейнольдс саны мен салыстырмалы кедір-бұдырлыққа тәуелді.

$\Delta p \propto U^2$ тек f_D шамамен тұрақты болса орындалады.

Инженерлік қолдану және модель таңдау

Құбыр және жылуалмасу

Режим қысым шығынына әсер етеді.

Турбуленттік араласу жылуалмасуды күшейте алады.

Сорғы қуаты да ескеріледі.

Аэродинамика

Турбуленттік шекаралық қабатта үйкеліс жоғарырақ болуы мүмкін.

Бірақ ол ағынның үзілуін кешіктіріп, толық кедергіні азайта алады.

CFD және тәжірибе

k–ε және SST k–ω әдетте толық турбуленттік ағыс үшін қолданылады.

Өтуді болжауға арнайы модель мен тәжірибелік тексеру қажет.

Қорытынды және өзін өзі тексеру

Негізгі қорытынды

Re инерция мен тұтқырлық әсерін салыстырады.

Өту шегі геометрия мен ұйытқуларға тәуелді.

Режим шарттарға сай бағаланады.

01 Екі ағыс режимінің негізгі белгілері қандай?

02 Құбыр үшін U және L қалай таңдалады?

03 Өтпелі режимде қандай құбылыстар байқалады?

04 Критикалық Re барлық денеге ортақ па?

05 Режим қысым шығынына қалай әсер етеді?