ТУРБУЛЕНТТІЛІК ФИЗИКАСЫ

Рейнольдс санының өте үлкен мәндерінде құбырдың гидродинамикалық кедергісінің әмбебап заңы



Дарси–Вейсбах · Кольбрук–Уайт теңдеуі
Муди диаграммасы және кедір-бұдырлық

Исатаев М.С.

9 ДӘРІС
Құбыр кедергісі

Дәрістің мақсаты мен құрылымы

Мақсат

Құбырдағы қысым мен арын шығынын бағалау.

Кедір-бұдырлықтың үйкеліс коэффициентіне әсерін түсіндіру.

Негізгі мазмұн

Дарси коэффициенті және Re

Салыстырмалы кедір-бұдырлық

Кольбрук–Уайт теңдеуі

Муди диаграммасы

Оқу нәтижесі

λ(Re, ε/D) тәуелділігін талдау.

Гидравликалық тегіс және толық кедір-бұдырлы режимдерді ажырату.

Гидравликалық кедергі және негізгі шамалар

$$Re = vD/v; \quad \varepsilon_r = \varepsilon/D$$

Ішкі масштабтар

Re — инерция мен тұтқырлық күштерінің қатынасы.

ε — абсолюттік кедір-бұдырлық (м).

ε/D — салыстырмалы кедір-бұдырлық.

Сыртқы масштабтар

λ — Дарси үйкеліс коэффициенті.

Ол Re мен ε/D шамаларына тәуелді.

Құбырдың материалын және бетін ескеру қажет.

Ағыс режимдері және кедергі ерекшелігі

Тұтқыр қабатша

$Re < 2300$

Ламинарлық ағыс.

$\lambda = 64/Re$.

Буферлік аймақ

$2300 \lesssim Re \lesssim 4000$

Өтпелі аймақ: нәтижелер тұрақсыз.

Тәжірибелік тексеру қажет.

Логарифмдік аймақ

$Re > 4000$

Турбуленттік ағыс.

$\lambda = f(Re, \varepsilon/D)$.

Re өте үлкен болуының өзі толық кедір-бұдырлы режимге кепілдік бермейді.

Дарси–Вейсбах теңдеуі

$$h^f = \lambda \, (L/D) \, v^2/(2g)$$

Белгілеулер

h^f — арын шығыны, м.

L — құбыр ұзындығы, м.

D — ішкі диаметр, м.

Қолданылу шарттары

$\Delta p = \rho g \, h^f$

$\Delta p = \lambda (L/D) \rho v^2/2$

λ тұрақты болса, $\Delta p \propto v^2$.

Кольбрук–Уайт әмбебап теңдеуі

Радиалдық координата

$$1/\sqrt{\lambda} = -2\log_{10}[\,\varepsilon/(3{,}7D) + 2{,}51/(Re\sqrt{\lambda})\,]$$

Турбуленттік құбыр ағысына арналған эмпирикалық байланыс.

Орташа жылдамдық

λ екі жақта да кездеседі.

Сондықтан теңдеу итерациялық жолмен шешіледі.

Кіріс: Re және ε/D.

Профильдің шектеуі

Өтпелі (ламинар–турбулент) ағысқа қолдануға болмайды.

Дарси және Фаннинг коэффициенттерін шатастырмаңыз.

Гидравликалық тегіс және кедір-бұдырлы режимдер

$$1/\sqrt{\lambda} \approx -2\log_{10}[2{,}51/(Re\sqrt{\lambda})]$$

Импульс теңгерімі

Гидравликалық тегіс құбыр:

ε әсері тұтқыр қабат ішінде әлсіз.

λ негізінен Re-ге тәуелді.

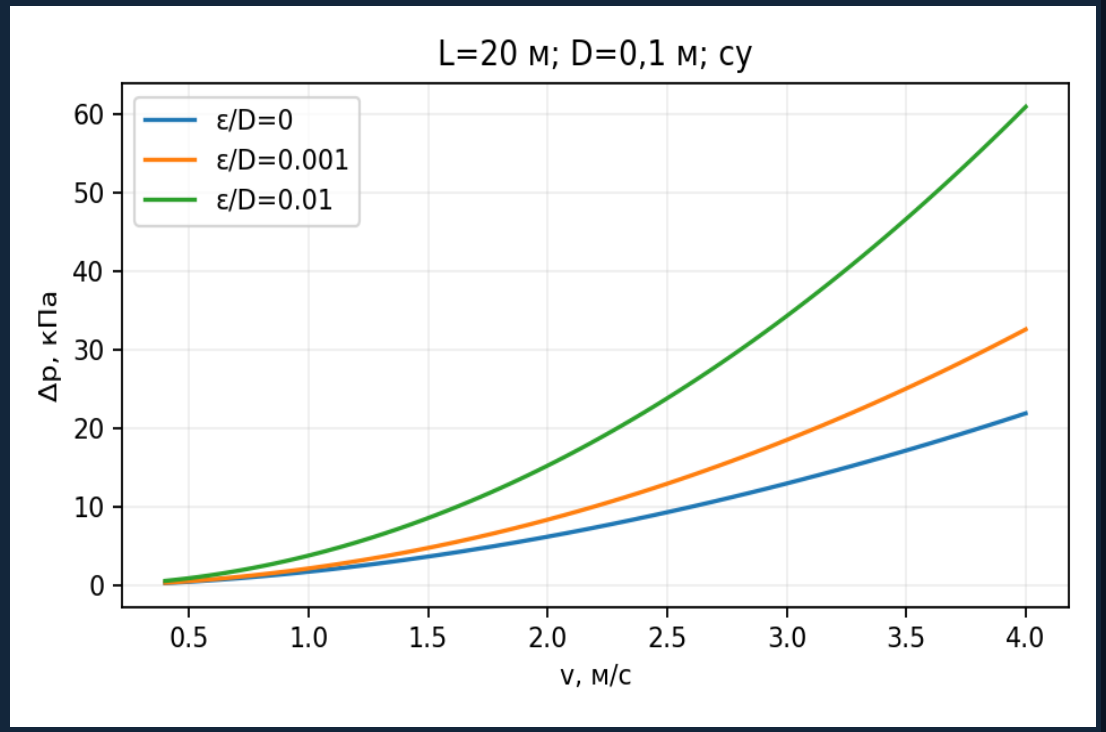
Тұтқыр және турбуленттік үлес

Толық кедір-бұдырлы режим:

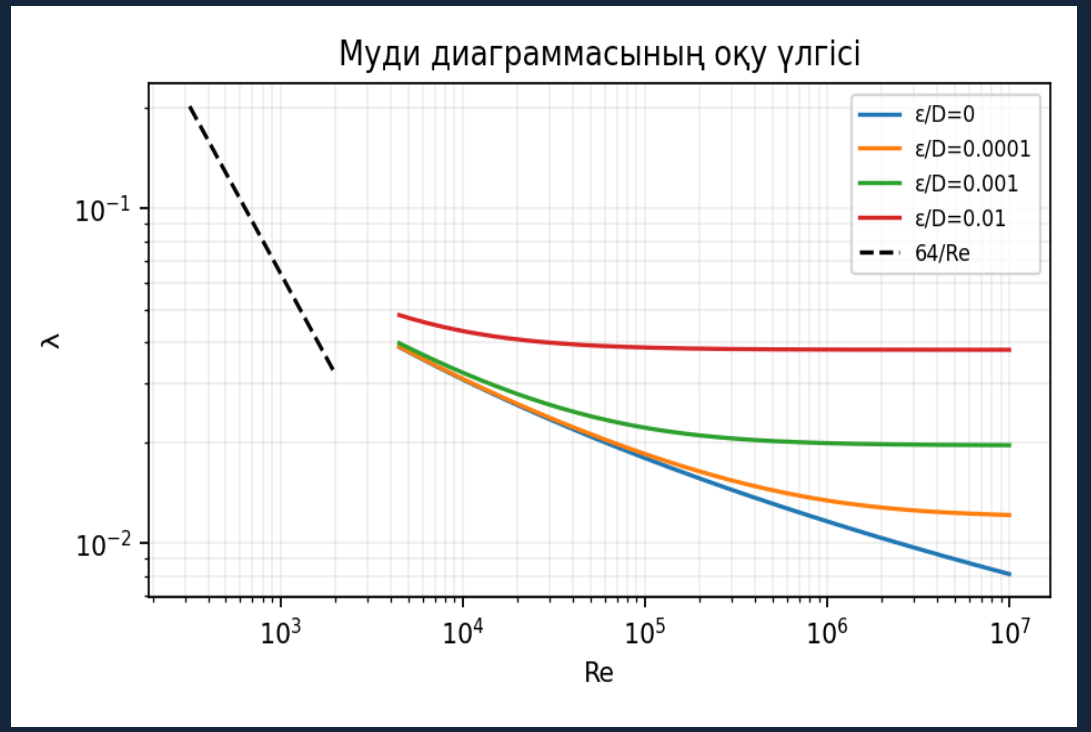
$1/\sqrt{\lambda} = -2\log_{10}[\varepsilon/(3{,}7D)]$

$\lambda \approx f(\varepsilon/D)$, Re әсері әлсіз.

Муди диаграммасы: Re және ε/D әсері



Сол жақ: λ(Re) — тегіс және кедір-бұдырлы құбырлар.



Оң жақ: қысым шығынының жылдамдыққа тәуелділігі.

Кедір-бұдырлықтың кедергіге әсері

$$\varepsilon/D \uparrow \Rightarrow \lambda \uparrow \Rightarrow \Delta p \uparrow$$

Тегіс қабырға

Тегіс құбырда λ Re артқанда төмендейді.

Блазиус: $\lambda \approx 0{,}3164\ Re^{-0.25}$

Шектеулі Re аралығында.

Кедір-бұдыр қабырға

Кедір-бұдырлық артса, λ жоғарылайды.

Толық кедір-бұдырлы аймақта λ тұрақтыға жақындайды.

Қысым шығыны бәрібір v^2 бойынша өседі.

Ескерту

Муди диаграммасында әрбір ε/D үшін жеке қисық бар.

Нақты материалдың ε мәні қажет.

Есептеу алгоритмі және практикалық қолдану

Дарси коэффициенті

1) v, D, ν арқылы Re табу.

2) ε/D есептеу.

3) Муди диаграммасынан λ таңдау.

Колбрук–Уайт

4) Немесе Кольбрук–Уайт теңдеуін шешу.

5) $\Delta p = \lambda (L/D) \rho v^2/2$.

6) Сорғы қуатын бағалау: $P = \Delta p Q/\eta$.

Маңызды айырмашылық

Жергілікті кедергілерді бөлек есептеңіз:

$\Delta p_ж = \Sigma \zeta \cdot \rho v^2/2$.

Есептеу мысалы: құбырдағы қысым шығыны

Берілген шамалар

Су: $\rho = 1000$ кг/м^3

$\nu = 10^{-6}$ м^2/с

$D = 0{,}10$ м; $L = 20$ м

$v = 2{,}0$ м/с; $\varepsilon/D = 0{,}001$

Рейнольдс және үйкеліс

$Re = vD/\nu = 2 \cdot 10^5$

Кольбрук–Уайт бойынша:

$\lambda \approx 0{,}0210$

Турбуленттік режим.

Қабырғалық координата

$\Delta p \approx 0{,}0210 \cdot (20/0{,}1) \cdot 1000 \cdot 2^2/2$

$\Delta p \approx 8{,}4$ кПа

$h^f \approx 0{,}86$ м

Есептік оқу мысалы.

Қорытынды және өзін-өзі тексеру

Негізгі қорытынды

Құбыр кедергісі Re мен ε/D-ге тәуелді.

Толық кедір-бұдырлы режимде λ Re-ге әлсіз тәуелді.

Қысым шығыны жылдамдық артқанда өседі.

01 Дарси коэффициенті нені сипаттайды?

02 Салыстырмалы кедір-бұдырлық қалай есептеледі?

03 Кольбрук–Уайт теңдеуін қалай шешеді?

04 Муди диаграммасы қалай қолданылады?

05 λ тұрақты болса, Δp жылдамдықпен қалай өзгереді?