ТУРБУЛЕНТТІЛІК ФИЗИКАСЫ

Құбырдағы турбулентті ағыс және жылдамдық профилі

1/7 дәрежелік заң
Гидравликалық кедергі және қысым шығыны

Исатаев М.С.



7

ДӘРІС
Құбырдағы ағыс

Дәрістің мақсаты мен құрылымы

Мақсат

Құбырдағы жылдамдық профилін гидравликалық кедергімен байланыстыру.

Қысым шығынын есептеу әдісін меңгеру.

Негізгі мазмұн

Рейнольдс саны

1/7 дәрежелік заң

Дарси–Вейсбах теңдеуі

Блазиус және Колбрук

Оқу нәтижесі

Профильдерді салыстыру.

Орташа жылдамдықты есептеу.

Үйкеліс коэффициентін анықтау.

Ағыс режимі және Рейнольдс саны

$$Re = \rho v D/\mu = vD/\nu$$

Турбуленттік лүпілдер

$u(t) = \bar{u} + u'(t)$

$\bar{u}$ — уақыттық орташа мән.
u' — лүпілдік компонент.

Ағыс режимдері

$Re < 2300$ — көбіне ламинарлық.

2300–4000 — өтпелі.

$Re > 4000$ — әдетте турбуленттік.

Құбырдағы жылдамдықтың таралуы

Ламинарлық профиль

$u/u_{max} = 1 - (r/R)^2$

Осьте максимум.

Қабырғада u = 0.

Турбуленттік профиль

Қима ортасында тегістеу.

Қабырға жанында градиент жоғары.

Физикалық себеп

Құйындар импульсті тасымалдайды.

Орташа профиль өзгереді.

Төмендегі профильдер — теориялық үлгілер; нақты ағыс Re мен кедір-бұдырлыққа тәуелді.

1/7 дәрежелік жылдамдық заңы

$$u(r)/u_{max} = (1 - r/R)^{1/7}$$

Координаталар

r — құбыр осінен қашықтық.

R — құбыр радиусы.

u_{max} — осьтегі жылдамдық.

Қолданылу шарттары

Дамыған турбуленттік ағысқа жуық.

Қабырға жанындағы тұтқыр қабатшада дәл емес.

Дәрежелік көрсеткіш Re-ге тәуелді.

Орташа және максимал жылдамдық

Қима бойынша орташа

$v = (2/R^2)\int_0^R u(r) r\, dr$

$Q = \pi R^2 v$

Дәрежелік профиль

$u/u_{max} = (1-r/R)^{1/n}$

$v/u_{max} = 2n^2/[(n+1)(2n+1)]$

n = 7 нәтижесі

$v/u_{max} = 98/120 \approx 0{,}817$

$v \approx 0{,}82u_{max}$

Ламинарлық ағыста: $v = 0{,}5u_{max}$.

Дарси–Вейсбах теңдеуі

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

Қысым шығыны

$\Delta p = \rho g h_f$

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

L — құбыр ұзындығы.

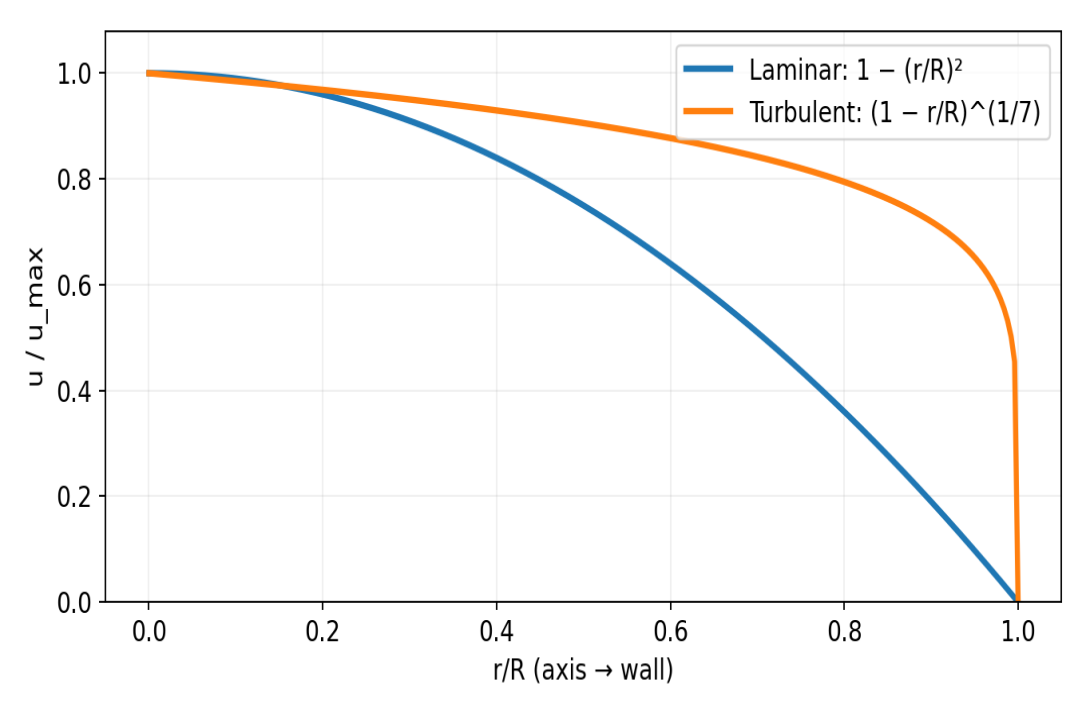
Қабырғалық үйкеліс

$\tau w = \lambda \rho v^2/8$

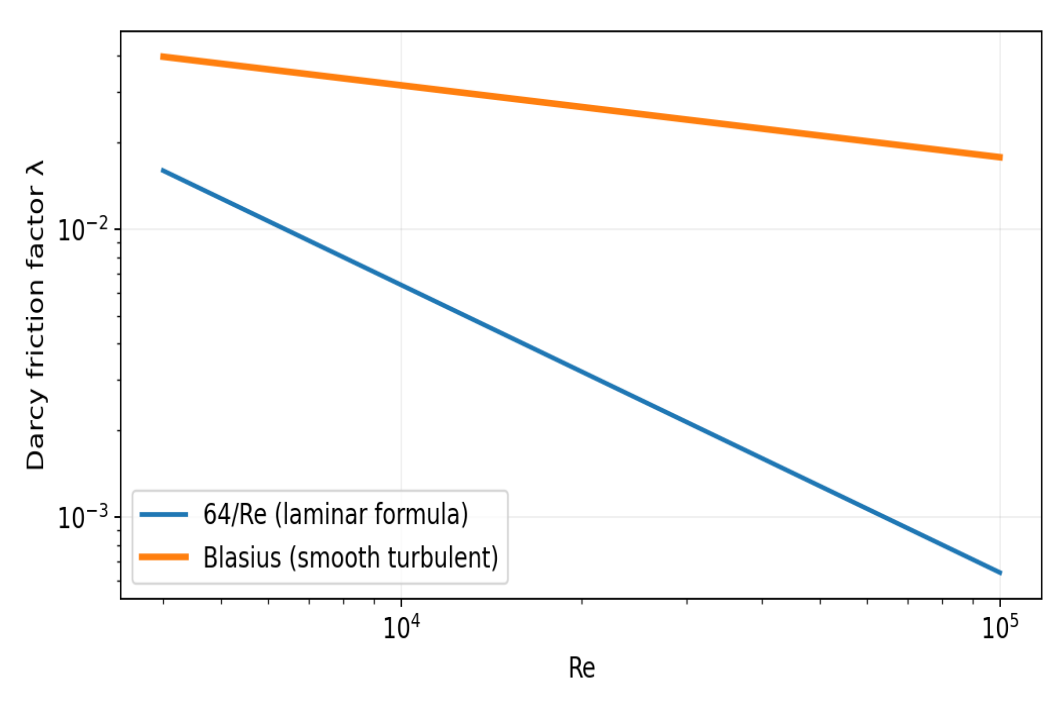
λ — Дарси коэффициенті.

$f_{Fanning} = \lambda/4$.

Графиктер: профиль және үйкеліс



Сол жақ: u/u_{max} және r/R.
Ламинарлық және 1/7 заң.



Оң жақ: λ және Re.
Тегіс құбырдың оқу үлгісі.

Кедір-бұдырлық және үйкеліс

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

Блазиус формуласы

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

Тегіс құбыр үшін жуықтау.

Әдетте $4\cdot10^3 < Re < 10^5$.

Колбрук–Уайт

ε/D — салыстырмалы кедір-бұдырлық.

λ теңдеудің екі жағында кездеседі.

Ескерту

Кедір-бұдырлық артқанда λ өседі.

Өтпелі режимде формулаларды сақтықпен қолдану қажет.

Жылдамдық және қысым шығыны

Ламинарлық ағыс

$\lambda = 64/Re$

$\Delta p \propto v$

Бірдей D және L үшін.

Тегіс турбуленттік ағыс

$\lambda \propto Re^{-1/4}$

$\Delta p \propto v^{1.75}$

Блазиус жуықтауы.

Жалпы байланыс

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

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

Сорғы қуаты: $P = \Delta p \cdot Q$.

Есептеу мысалы: су ағыны

Берілген шамалар

$\rho = 1000$ кг/м³

$\mu = 10^{-3}$ Па·с

$v = 2{,}5$ м/с; $D = 0{,}1$ м

$L = 20$ м

Рейнольдс саны

$Re = \rho v D/\mu = 2{,}5 \cdot 10^5$

Ағыс турбуленттік.

Блазиус — экстраполяция.

Нәтиже

$\lambda \approx 0{,}0141$

$h_f \approx 0{,}90$ м

$\Delta p \approx 8{,}8$ кПа

Нақты λ үшін кедір-бұдырлық керек.

Қорытынды және өзін-өзі тексеру

Негізгі қорытынды

Турбуленттік профиль ортасында тегістеу.

1/7 заң — эмпирикалық жуықтау.

Қысым шығыны λ, L/D және v-ге тәуелді.

01 Турбуленттік профильдің ерекшелігі қандай?

02 1/7 дәрежелік заң қашан қолданылады?

03 v/u_{max} қатынасы қалай табылады?

04 Дарси және Фаннинг коэффициенттері қалай байланысады?

05 Кедір-бұдырлық қысым шығынына қалай әсер етеді?