ТУРБУЛЕНТТІЛІК ФИЗИКАСЫ

# Жазық беттегі турбулентті шекаралық қабат



Шекаралық қабаттың дамуы · жылдамдық профилі
Қалыңдық және беттік үйкеліс

Исатаев М.С.

10 ДӘРІС
Жазық пластина

# Дәрістің мақсаты мен құрылымы

## Мақсат

Жазық пластина бойындағы шекаралық қабаттың пайда болуын түсіндіру.

Қалыңдық пен үйкеліс күшін есептеу.

## Негізгі мазмұн

Жабысу шарты және $Re_x$

Ламинарлық–өтпелі–турбуленттік аймақ

1/7 дәрежелік профиль

Жергілікті және орташа $C^f$

## Оқу нәтижесі

$Re_x$, δ және $C^f$ шамаларын есептеу.

Жылдамдық профилін және жылуалмасуға әсерін талдау.

# Шекаралық қабат және жергілікті Рейнольдс саны

$$Re_x = U_\infty \, x / \nu$$

## Жабысу шарты

Қабырғада: $u(x,0) = 0$.

Сыртқы ағын: $u(x, y \to \infty) \to U_\infty$.

Жылдамдық градиенті қабырғада ең жоғары.

## Режимнің ауысуы

$Re_{x,кр} \approx 5 \cdot 10^5$ — оқу бағасы.

Ауысуға кедір-бұдырлық, сыртқы турбуленттілік және қысым градиенті әсер етеді.

## Шекаралық қабаттың даму кезеңдері

### Ламинарлық

Пластинаның алдыңғы бөлігінде.

Қабат жұқа, араласу әлсіз.

$\delta \sim x / \sqrt{Re_x}$.

### Өтпелі аймақ

Тұрақсыз толқындар өседі.

$Re_{x,кр}$ шамасы тұрақты емес.

Араласу біртіндеп күшейеді.

### Турбуленттік

Құйындық араласу қарқынды.

Профиль толықтау.

Қабырғадағы үйкеліс артады.

**Жазық, тегіс пластина және нөлдік қысым градиенті — негізгі модель шарттары.**

# Жылдамдықтың 1/7 дәрежелік заңы

$$u/U_\infty \approx (y/\delta)^{1/7}$$

## Белгілеулер

u — жергілікті орташа жылдамдық.

$U_\infty$ — сыртқы ағын жылдамдығы.

y — қабырғадан қашықтық; δ — қабат қалыңдығы.

## Физикалық мағынасы

Турбуленттік араласу профильді толықтырады.

Бұл — эмпирикалық жуықтау.

Қабырғаға тікелей жақын жерде дәл емес.

# Қабырға маңындағы аймақтар

## Тұтқыр қабатша

$y^+ \lesssim 5$

$U^+ \approx y^+$

Молекулалық тұтқырлық басым.

## Буферлік аймақ

$5 \lesssim y^+ \lesssim 30$

Тұтқыр және турбуленттік тасымал қатар маңызды.

## Логарифмдік аймақ

$U^+ = (1/\kappa)\ln(y^+) + B$

$\kappa \approx 0{,}41$; $B \approx 5{,}0$

Тегіс қабырға үшін оқу үлгісі.

# Шекаралық қабаттың қалыңдығы

$$\delta/x \approx 0{,}37\ Re_x^{-1/5}$$

## Турбуленттік жуықтау

$\delta \approx 0{,}37\ x / Re_x^{1/5}$

Тегіс пластина, нөлдік қысым градиенті және турбуленттік қабаттың басынан дамуы.

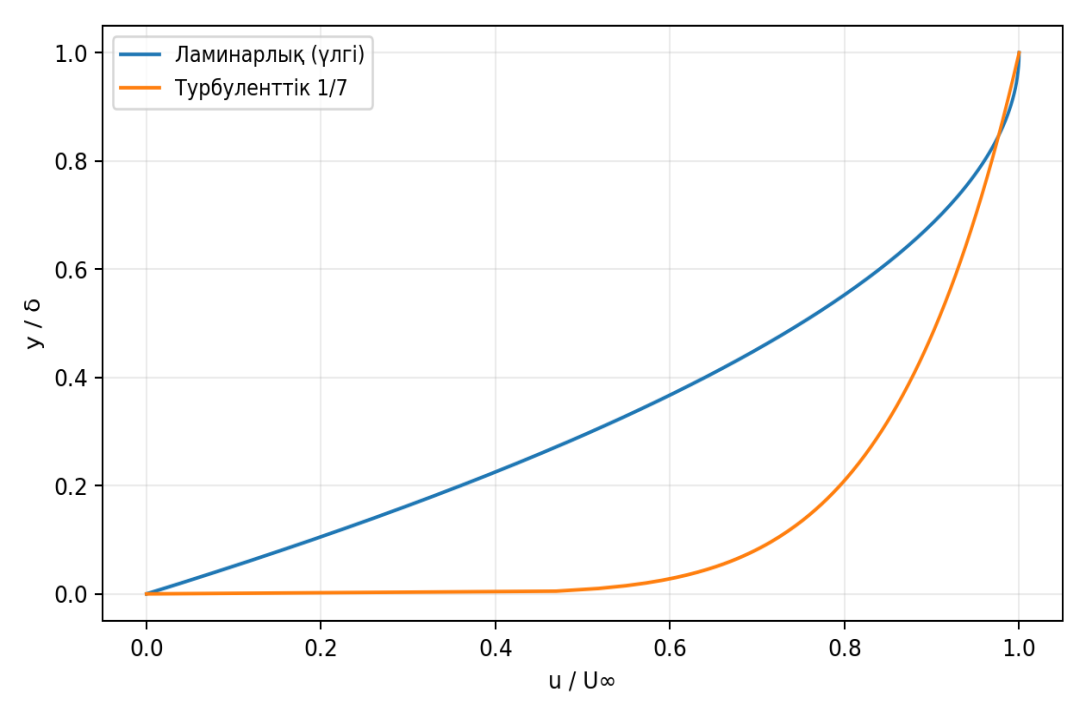
## Ламинарлық салыстыру

$\delta_{лам} \approx 5\ x / \sqrt{Re_x}$

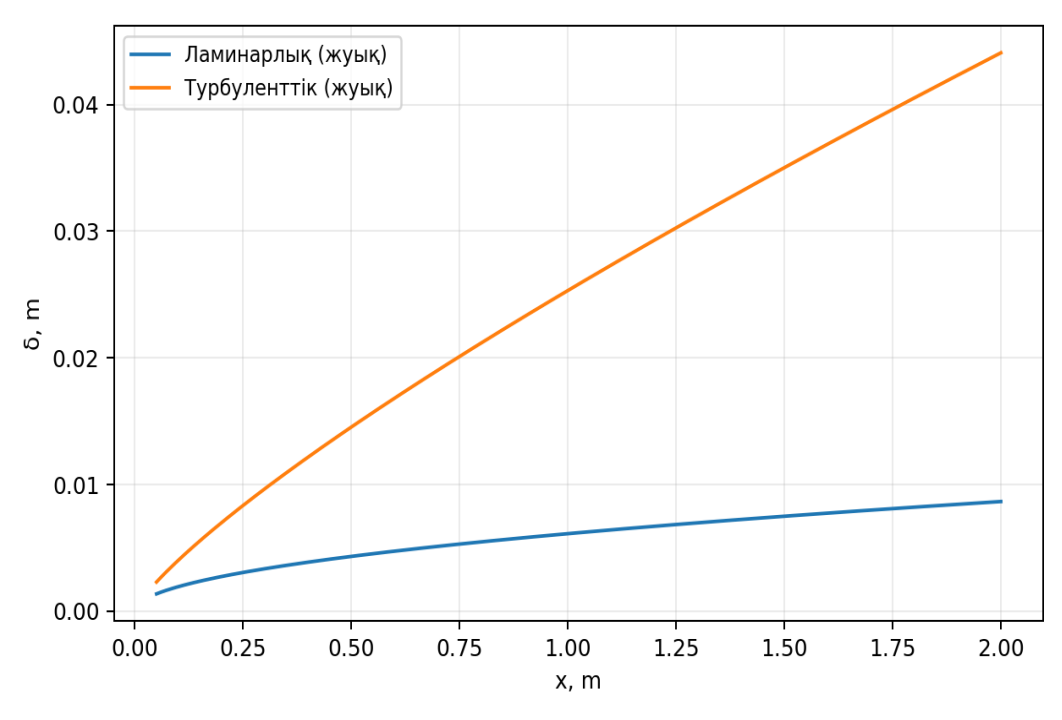
Турбуленттік араласу қабаттың өсуін күшейтеді.

Өтпелі аймақты жеке ескеру керек.

# Жылдамдық профилі және қабаттың өсуі




Сол жақ: ламинарлық және турбуленттік үлгілік профильдер.




Оң жақ: δ(x) шамасының салыстырмалы өсуі.

# Жергілікті және орташа үйкеліс коэффициенті

$$c^f,_x = \tau w /(½\rho U\infty^2)$$

## Жергілікті коэффициент

$c^f,_x \approx 0{,}0592\ Re_x^{-1/5}$

Турбуленттік қабаттың алдыңғы жиектен дамуы үшін жуықтау.

## Орташа коэффициент

$\bar{C}^f,L \approx 0{,}074\ ReL^{-1/5}$

$F = ½\rho U\infty^2\ A\ \bar{C}^f,L$

A — пластинаның суланған бет ауданы.

## Маңызды шарт

Бұл формулалар өтпелі аймақты ескермейді.

Аралас режим үшін түзету қажет.

# Инженерлік қолдану және шектеулер

## Аэродинамика

Ұшақ қанаттары мен көлік беттерінің кедергісі.

Ағынның ажырауы және қысым градиенті.

## Жел энергетикасы

Жел турбинасы қалақшасының беткі үйкелісі.

Шекаралық қабат көтеру күші мен кедергіге әсер етеді.

## Жылу алмасу

Турбуленттік араласу жылу беруді күшейтеді.

$Nu_x$ және $Re_x$ байланыстары қолданылады.

# Есептеу мысалы: шекаралық қабат және үйкеліс

## Берілген шамалар

Ауа: $U_\infty = 10$ м/с

$\nu = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ м²/с

$\rho = 1{,}2$ кг/м³

$x = L = 2$ м

## Рейнольдс және қалыңдық

$Re_L = U_\infty L/\nu \approx 1{,}33 \cdot 10^6$

$\delta \approx 0{,}37 L/Re_L^{1/5}$

$\delta \approx 0{,}044$ м

## Орташа үйкеліс

$\bar{C}_f \approx 0{,}074\, Re_L^{-1/5} \approx 0{,}00441$

$F/A = \frac{1}{2}\rho U_\infty^2\, \bar{C}_f \approx 0{,}265$ Па

Турбуленттік қабат басынан дамиды деп алынды.

# Қорытынды және өзін-өзі тексеру

**Негізгі қорытынды**

Шекаралық қабат пластина бойымен қалыңдайды.

Турбуленттік араласу профильді толықтырады.

Үйкеліс пен жылуалмасу режимге тәуелді.

**01** Шекаралық қабат неліктен пайда болады?

**02** $Re_x$ және $Re_{x,кр}$ қалай анықталады?

**03** 1/7 дәрежелік заңның шектеуі қандай?

**04** Жергілікті және орташа $C^f$ айырмасы неде?

**05** Қабат қалыңдығы x бойынша қалай өседі?