ТУРБУЛЕНТТІЛІК ФИЗИКАСЫ

Жартылай эмпирикалық теориялар

Прандтльдің араласу жолы
Карманның ұқсастық гипотезасы

Исатаев М.С.



5

ДӘРІС
Турбуленттік алмасу

Дәрістің мақсаты мен құрылымы

Мақсат

Жартылай эмпирикалық тәсілдердің физикалық негізін түсіндіру.

Модельдердің қолданылу шектерін ажырату.

Негізгі мазмұн

Араласу жолы

Турбуленттік тұтқырлық

Логарифмдік заң

Карман гипотезасы

Оқу нәтижесі

Кернеуді градиентпен байланыстыру.

Қабырғалық масштабтарды қолдану.

Жуықтауларды негіздеу.

Жартылай эмпирикалық модель не үшін қажет?

Тұйықтау мәселесі

RANS теңдеулерінде лүпіл корреляциялары белгісіз.

Орташа ағысты есептеу үшін қосымша байланыстар қажет.

Физика және тәжірибе

Модель импульс алмасуы туралы физикалық идеяға сүйенеді.

Коэффициенттер мен масштабтар тәжірибемен нақтыланады.

Мақсат: орташа ағыс пен кернеулерді бағалау. Турбуленттік тұтқырлық сұйықтың материалдық тұрақтысы емес.

Прандтльдің араласу жолы

$$|u'| \sim \ell_m \, |dU/dy|$$

Ұзындық масштабы ℓ_m

ℓ_m турбуленттік алмасудың тиімді қашықтығын сипаттайды.

Бұл молекуланың еркін жүру жолымен бірдей шама емес.

Импульс алмасуы

Көлденең орын ауыстырған сұйық көлемі өз импульсін жаңа аймаққа тасымалдайды.

U = U(y) ығысу ағысы қарастырылады.

Турбуленттік тұтқырлық пен жанама кернеу

$$\nu_t = \ell_m^2 \, |dU/dy| \qquad \mu_t = \rho \nu_t$$

Кернеудің таңбасы

$\tau_t = -\rho \langle u' v' \rangle$
$\tau_t = \rho \ell_m^2 \, |dU/dy| \, (dU/dy)$

Градиенттің таңбасы кернеудің бағытын анықтайды.

Оқу мысалы

ℓ_m = 0,004 м, dU/dy = 100 $с^{-1}$
ρ = 1,2 кг/$м^3$

ν_t = 0,0016 $м^2/с$
τ_t = 0,192 Па

Қабырғалық масштабтар

$$u_\tau = \sqrt{(\tau_w/\rho)}$$

Өлшемсіз шамалар

$y^+ = y u_\tau / \nu$
$U^+ = U / u_\tau$

u_τ үйкеліс жылдамдығы.
τ_w қабырғалық кернеудің модулі.

Қабырғадан қашықтық

$\ell_m \approx \kappa y$

$\kappa \approx 0{,}40–0{,}41$

Бұл жуықтау қабырға маңындағы логарифмдік аймаққа арналған.

Логарифмдік заңның алынуы

1. Кернеу балансы

$\tau_t \approx \tau w = \rho u_\tau^2$

Турбуленттік кернеу басым.

Кернеу шамамен тұрақты.

2. Араласу жолы

$\ell_m = \kappa y$

$u_\tau^2 = (\kappa y)^2 (dU/dy)^2$

$dU/dy = u_\tau/(\kappa y)$

Мұнда $dU/dy > 0$.

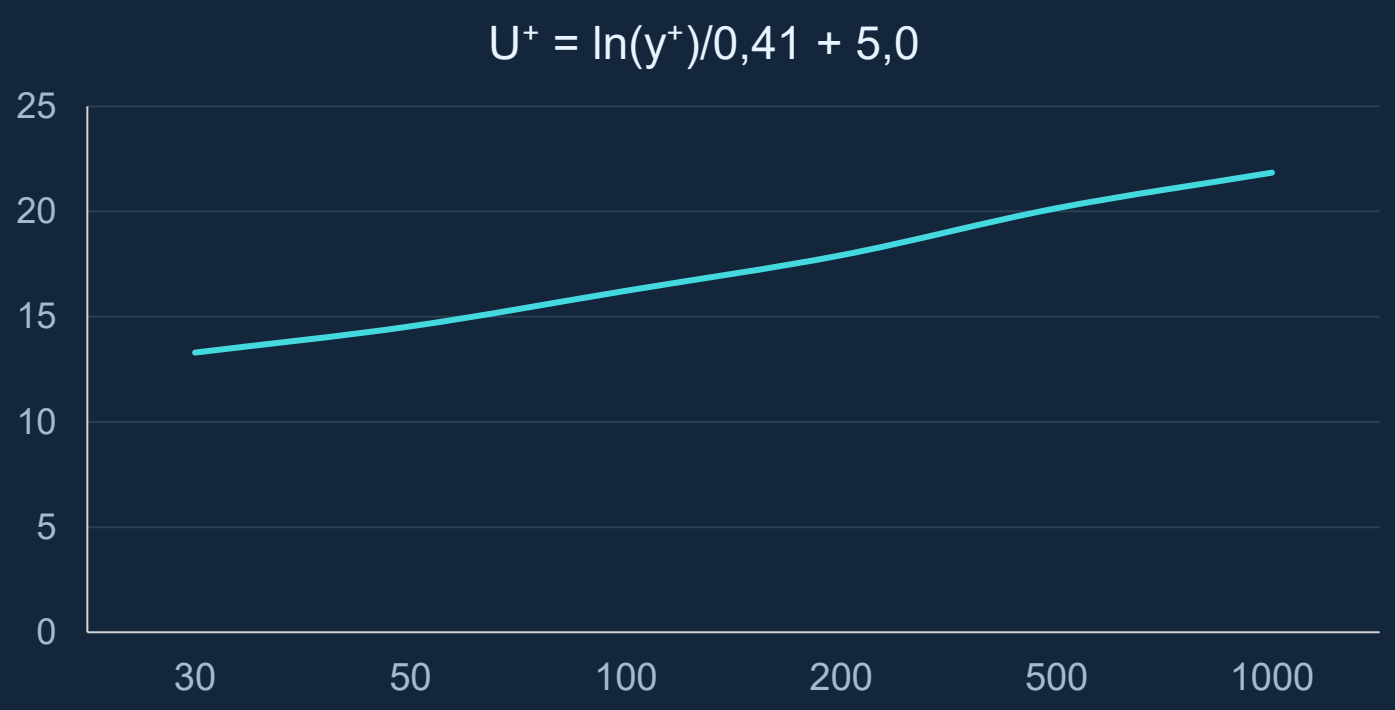
3. Интегралдау

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

B интегралдау тұрақтысы.

Тегіс қабырға үшін оқу мысалында $B = 5{,}0$ алынды.

Логарифмдік жылдамдық профилі



Көлденең ось: y^+. Нүктелер тең аралықпен берілген.
График формула бойынша құрылған.

Сандық мысал

к = 0,41, B = 5,0
uт = 0,5 м/с
ν = $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ м²/с
y = 0,003 м

$y^+ = 100$
$U^+ \approx 16{,}23$
$U \approx 8{,}12$ м/с

Карманның жергілікті ұқсастық гипотезасы

$$\ell_m = \kappa \left|(dU/dy) / (d^2U/dy^2)\right|$$

Негізгі идея

Араласу масштабы орташа профильдің жергілікті туындыларымен байланыстырылады.

Логарифмдік профиль үшін $\ell_m = \kappa y$ шығады.

Қолдану шегі

Бұл жергілікті ұқсастыққа негізделген гипотеза.

$d^2U/dy^2 = 0$ маңында формула ерекше мәнге ұмтылады және қосымша шектеу қажет.

Прандтль мен Карман тәсілдерін салыстыру

Салыстыру	Прандтль	Карман
Негізгі идея	Турбуленттік импульс алмасуы	Жергілікті ұқсастық
Масштаб	ℓ_m алдын ала беріледі	ℓ_m профиль туындыларымен байланысады
Қабырға маңында	$\ell_m \approx \kappa y$	Логарифмдік профильмен үйлеседі
Ортақ шектеу	Жергілікті градиенттік жуықтау	Жергілікті ұқсастықтың орындалуы

Екі тәсіл де толық турбуленттік құрылымды емес, орташа тасымалды жуықтайды.

Жетістіктері және қолданылу шектері

Жетістіктері

Қарапайым физикалық түсінік.

Қабырғалық профиль мен үйкелісті бағалау.

Қабырғалық функциялардың негізі.

Шектеулері

Ағынның үзілуі.

Күшті қысым градиенті.

Айналу және қисықтық.

Тепе-тең емес, үшөлшемді ағыс.

Логарифмдік аймақ

Тұтқыр ішкі қабаттан тыс.

Сыртқы қабаттан жеткілікті алыс.

к және B барлық жағдайға бірдей дәл тұрақтылар емес.

Қорытынды және өзін өзі тексеру

Негізгі қорытынды

Араласу жолы импульс алмасуын жуықтайды.

Логарифмдік заң белгілі аймақта орындалады.

Модель ағыс шарттарына сай таңдалады.

01 Араласу жолының физикалық мағынасы қандай?

02 v_t пен молекулалық ν қалай ажыратылады?

03 Логарифмдік заң қандай жуықтаулардан алынады?

04 Карман гипотезасында ℓ_m қалай анықталады?

05 Ағынның үзілуі модельге неге қиындық туғызады?