КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУАЛМАСУ

4 дәріс. Үлкен көлемдегі сұйықтың тік бет маңындағы еркін конвекциясы

Көтеруші күш, шекаралық қабат және тік беттердің жылу беруін есептеу

Құрастырған: ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, доцент Исатаев М.С.

Дәрістің мақсаты, нәтижелері және мазмұны

Мақсаты

Еркін конвекцияның пайда болуын түсіндіру, Релей санын есептеу және тік беттегі жылу беру коэффициентін ағыс режимі мен шекаралық шартқа сәйкес анықтау.

Оқыту нәтижелері

Еркін конвекция механизмін түсіндіреді.

Грасгоф және Релей сандарын есептейді.

Тік беттің жылу беру коэффициентін анықтайды.

Мазмұны

1. Көтеруші күш және Буссинеск жуықтауы
2. Gr, Pr және Ra сандары
3. Шекаралық қабат теңдеулері
4. Жергілікті және орташа жылу беру

Еркін конвекцияның физикалық механизмі

Тығыздық айырмасы

Қызған сұйықтың тығыздығы азайып, жоғары көтеріледі. Салқын сұйық оның орнын басады.

Қозғалысты температура айырмасынан туатын көтеруші күш тудырады.

Тік бет маңындағы ағыс

Ыстық бет маңында ағыс жоғары бағытталады. Суық бет маңында төмен бағытталады.

Беттен алыста сұйық тыныш күйде болады.

Үлкен көлем жағдайында басқа беттер мен сыртқы ағыстардың әсері еленбейді.

Буссинеск жуықтауы және жылдамдық масштабы

Тығыздықтың өзгерісі

$\rho \approx \rho_\infty[1 - \beta(T - T_\infty)]$

$\beta = -(1/\rho)(\partial\rho/\partial T)_p$

Тығыздық өзгерісі көтеруші күште ескеріледі.

Қолданылу шарты: $\beta|\Delta T| \ll 1$.

Сипаттамалық жылдамдық

$U_\beta \sim \sqrt{(g\beta|\Delta T|L)}$

Бұл — масштабтық бағалау. Нақты жылдамдық тұтқырлыққа және температура өрісіне тәуелді.

Идеал газ үшін $\beta \approx 1/T_\infty$.

Грасгоф және Релей сандары

$$Gr_L = g\beta|\Delta T|L^3/\nu^2$$

Көтеруші және тұтқыр әсерлердің қатынасын сипаттайды. L — тік беттің биіктігі.

$$Ra_L = Gr_L Pr = g\beta|\Delta T|L^3/(\nu a)$$

Pr = ν/a. Релей саны импульс пен жылудың диффузиясын бірге ескереді.

Қасиеттерді таңдау температурасы көрсетіледі. Жиі $T_{film} = (T_к + T_\infty)/2$ қолданылады.

Ламинарлы шекаралық қабат теңдеулері

Импульс және масса балансы

$u\partial u/\partial x + v\partial u/\partial y$

$= g\beta\theta + v\partial^2 u/\partial y^2$

$\partial u/\partial x + \partial v/\partial y = 0$

$\theta = T - T\infty$. x жоғары бағытталған.

Энергия және шекаралық шарттар

$u\partial\theta/\partial x + v\partial\theta/\partial y = a\partial^2\theta/\partial y^2$

$y = 0$: $u = v = 0$, $\theta = Тқ - T\infty$

$y \to \infty$: $u \to 0$, $\theta \to 0$

Орныққан екіөлшемді ағыс. Бет температурасы тұрақты.

Шекаралық қабаттағы өрістер



Сұлбалық профильдер: η — беттен өлшемсіз қашықтық. Сандық тәжірибе деректері емес.

Профильдер

Қабырғада u = 0.

Жылдамдық қабат ішінде ең үлкен мәнге жетеді.

Алыста u → 0 және T → T∞.

Тұрақты температуралы бет: ламинарлы режим

Жергілікті Нусельт саны

$$Nu_x = f(Pr)\, Ra_x^{1/4}$$

$$f(Pr) = 0{,}6[Pr/(1 + 2\sqrt{Pr} + 2Pr)]^{1/4}$$

Дәрістегі қолданылу аралығы:
$10^5 < Gr_x < 10^8$, Тқ = const.

Жылу беру

$\alpha_x = \lambda Nu_x/x$

$Nu_x \propto x^{3/4}$

$\alpha_x \propto x^{-1/4}$

Биіктеген сайын жергілікті α_x азаяды.

Биіктік бойынша жылу берудің өзгерісі



Көлденең ось: x/L; тік ось: $\alpha_x/\alpha L$

Сұлбалық масштабтық тәуелділік. Төменгі жиекке өте жақын аймақ бөлек қаралады.

Орташалау

$\alpha L = (1/L) \int_0^L \alpha_x \, dx$

$\alpha_x \propto x^{-1/4}$ болса:

$\alpha L = (4/3)\alpha L$

$N\bar{u}L = (4/3)Nu_{x=}{}^{L}$

Тұрақты жылу ағыны және турбулентті режим

$$Ra_{q,x} = g\beta q'' x^4/(va\lambda)$$

q" = const кезінде өзгертілген Релей саны қолданылады. Ламинарлы режимде $Nu_x \propto Ra_{q,x}^{1/5}$, $\alpha_x \propto x^{-1/5}$.

$$Nu_x = C\, Ra_x^{1/3}$$

Турбулентті режимде C шамамен 0,115–0,15. Тұрақты қасиеттерде α_x биіктікке әлсіз тәуелді.

Өту көбіне $Ra_x \sim 10^9$ маңында байқалады. Нақты шек орта мен бұзылуларға тәуелді.

Тік пластина мен тік құбырды есептеу

Есептеу реті

Тқ, T∞ және L мәндерін анықтау.

Анықтаушы температурада λ, ν, a, β алу.

RaL мен Pr есептеу. Режимге сәйкес корреляция таңдау.

Қолданылу шектері

Корреляцияның Ra және Pr аралықтарын тексеру.

Құбыр қисықтығының әсерін бағалау. Жазық бет формуласы δ ≪ D кезінде жуық жарамды.

Q̇ = αF(Тқ − T∞). Сәулелену бөлек есептеледі.

Есептеу мысалы және өзіндік тексеру

$Ra_L = 4{,}86 \cdot 10^7$; $Nu_L \approx 43{,}1$; $\bar{\alpha} \approx 3{,}88$ Вт/(м²·К)

Оқу мысалы: $L = 0{,}3$ м, $\Delta T = 20$ К, $\nu = 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ м²/с, $a = 2{,}25 \cdot 10^{-5}$ м²/с, $\lambda = 0{,}027$ Вт/(м·К), $\beta = 1/303$ К$^{-1}$.

Қорытынды

Көтеруші күш температура мен жылдамдық өрістерін байланыстырады. Жылу беру режимге, геометрияға және шекаралық шартқа тәуелді. Мысалда 8-слайдтағы ламинарлы тәуелділік қолданылды.

Бақылау сұрақтары

1. Ra нені сипаттайды?
2. u бетте неге нөл?
3. α_x пен $\bar{\alpha}$ айырмасы қандай?