# КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУАЛМАСУ

2 дәріс • Конвективтік жылуалмасу процестерінің ұқсастығы және үлгілеу

## Ұқсастық теориясы, критериялық теңдеулер және жылу беру коэффициентін эксперименттік анықтау

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

# Дәрістің мақсаты, нәтижелері және мазмұны

## Мақсаты

Ұқсастық критерийлерін қолдану, модель нәтижелерін нақты нысанға көшіру шарттарын түсіну және жылу беру коэффициентін анықтау тәсілдерін меңгеру.

## Оқыту нәтижелері

Ұқсастық критерийлерінің мағынасын түсіндіреді.

Модель мен нақты нысанның ұқсастық шарттарын анықтайды.

Жылу беру коэффициентін есептеп, орташалайды.

## Мазмұны

1. Физикалық ұқсастықтың шарттары
2. Nu, Re, Pr, Pe, Gr, Ra, Eu критерийлері
3. Критериялық теңдеулер
4. Жылулық өлшеулер және орташалау

# Ұқсастық теориясының физикалық негізі

## Неліктен қажет?

Көптеген айнымалылар өлшемсіз кешендерге біріктіріледі. Эксперимент нәтижелерін ұқсас нысандарға қолдану шарттары анықталады.

## Ұқсастық шарттары

Бірдей физикалық заңдар.

Ұқсас геометрия мен шекаралық шарттар.

Анықтаушы критерийлердің теңдігі.

**Ұқсастық теориясы тәуелділіктің өзін бермейді. Оны тәжірибе немесе есептеу анықтайды.**

# Мәжбүрлі конвекцияның негізгі критерийлері

## Нусельт және Рейнольдс

$Nu = \alpha l_0/\lambda$

Жылу берудің өлшемсіз коэффициенті.

$Re = w_0 l_0/v$

Инерциялық және тұтқыр әсерлер қатынасы.

## Прандтль және Пекле

$Pr = v/a$

Импульс пен жылудың диффузиясы.

$Pe = w_0 l_0/a = Re \cdot Pr$

Конвективтік және диффузиялық тасымал.

# Табиғи конвекция және қысым критерийлері

$$Gr = g\beta|\Delta T|l_0^3/v^2 \qquad Ra = Gr \cdot Pr$$

Gr көтеруші күш пен тұтқырлық әсерлерін, Ra табиғи конвекциядағы жылулық әсерді сипаттайды.

$$Eu = \Delta p/(\rho w_0^2)$$

Қысым айырмасы инерциялық масштабпен салыстырылады. Бұл анықтамада 1/2 көбейткіші жоқ.

**$a = \lambda/(\rho c_p)$, $\nu = \mu/\rho$. Қасиеттерді анықтау температурасы міндетті түрде көрсетіледі.**

# Өлшемсіз теңдеулер және критериялық байланыстар

## Өлшемсіз сипаттау

$X = x/l_0$, $W = w/w_0$

$\Theta = (T - T\infty)/(T_к - T\infty)$

$Pe(W \cdot \nabla^*)\Theta = \nabla^{*2}\Theta$

$\nabla^* \cdot W = 0$

Орныққан ағыс, тұрақты қасиеттер.

## Критериялық теңдеулер

Мәжбүрлі конвекция:

$Nu = f(Re, Pr, геометрия)$

Табиғи конвекция:

$Nu = f(Ra, Pr, геометрия)$

Шекаралық шарттар мен режим сақталады.

# Модельден нақты нысанға көшу




Көлденең ось: $l_0$/lref. Тік ось: α/αref.

График бірдей Nu және λ кезінде $\alpha \propto 1/l_0$ байланысын көрсетеді. Бұл эксперименттік деректер емес.

## Масштабтау

Бірдей сұйық және бірдей Nu:

$\alpha_m/\alpha_n = l_n/l_m$

$Re_m = Re_n$ болса:

$w_m/w_n = l_n/l_m$

# Жылу беру коэффициентін эксперименттік анықтау

## Жылулық баланс

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{шығ} - T_{кір})$$

$$q'' = \dot{Q}/F$$

## Электрлік қыздыру

$$\dot{Q} = UI - \dot{Q}_{шығын}$$

$$\alpha = \dot{Q}/[F(T_қ - T_c)]$$

## Температураны таңдау

$\alpha = q''/(T_қ - T_c)$

$T_қ$ — бет температурасы.

$T_c$ — сыртқы ағыс немесе қиманың аралас орташа температурасы.

Жылу шығындары ескеріледі.

# Жылу беру коэффициентін орташалау

### Бет бойынша орташа

$$\alpha F = (1/F) \int F \, \alpha \, dF$$

### Жылу ағыны арқылы анықталған орташа

$$\alpha тиім = \dot{Q} / \int F \, \Delta T \, dF$$
$$= \int F \, \alpha \Delta T \, dF / \int F \, \Delta T \, dF$$

### Екі түрлі орташа

αF беттік арифметикалық орташа.

αтиім жылу ағыны мен температуралық арын арқылы анықталады.

ΔT тұрақты болса, екі нәтиже тең.

# Орташалау мысалы: екі бірдей аудан

$$\alpha F = (40 + 120)/2 = 80\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

$F_1 = F_2 = 0{,}5$ м$^2$, $\alpha_1 = 40$, $\alpha_2 = 120$ Вт/(м$^2$·К), $\Delta T_1 = 20$ К, $\Delta T_2 = 60$ К.

$$\dot{Q} = 4000\ \text{Вт} \qquad \alpha\text{тиім} = 4000/40 = 100\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

$\int \Delta T\, dF = 0{,}5 \cdot 20 + 0{,}5 \cdot 60 = 40$ м$^2$·К. $\dot{Q} = \Sigma \alpha_i \Delta T_i F_i$.

**Температуралық арын өзгерсе, αF пен αтиім жалпы жағдайда бірдей болмайды.**

# Эксперимент нәтижелерін өңдеу тәртібі

## Өлшеу және есептеу

Геометрия және сипаттамалық өлшем.

Шығын, жылдамдық, қысым айырмасы.

Қабырға мен сұйық температуралары.

Q̇, α және сұйық қасиеттерін анықтау.

## Жалпылау және тексеру

Nu, Re, Pr және қажетті басқа критерийлерді есептеу.

$Nu = C\,Re^{m}Pr^{n}$ түріндегі тәуелділікті сәйкестендіру.

Қолданылу аралығы, өлшеу белгісіздігі және шекаралық шарттар көрсетіледі.

# Есептеу мысалы және қорытынды

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / l_0 = 80 \cdot 0{,}026 / 0{,}10 = 20{,}8\ Вт/(м^2 \cdot К)$$

Оқу мысалы: Nu = 80, λ = 0,026 Вт/(м·К), $l_0$ = 0,10 м. Nu мәні берілген.

## Қорытынды

Ұқсастық критерийлері тәжірибені жалпылауға мүмкіндік береді. Нәтижені көшіру үшін геометрия, режим және шекаралық шарттар сәйкес болуы тиіс.

## Бақылау сұрақтары

1. Nu, Re және Pr нені сипаттайды?
2. Модель нәтижесін қашан көшіреміз?
3. Екі орташа α қашан тең болады?