КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУАЛМАСУ

9 дәріс. Дөңгелек құбырдағы қалыптасқан жылу алмасудың математикалық сипаттамасы

Энергия теңдеуі, тұрақты жылу ағынындағы температура өрісі және Лайон интегралы

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

Дәрістің мақсаты, нәтижелері және мазмұны

Мақсаты

Құбырдағы қалыптасқан жылу алмасудың энергия теңдеуін құру, тұрақты жылу ағынындағы температура өрісін сипаттау және Лайон интегралынан Nu санын анықтау.

Оқыту нәтижелері

Құбырдағы энергия теңдеуін құрады.

Қалыптасқан температура өрісін сипаттайды.

Лайон интегралы арқылы Nu санын анықтайды.

Мазмұны

1. Цилиндрлік координаттардағы баланс
2. Жылулық қалыптасу ұғымы
3. Өлшемсіз профиль және интеграл
4. Nu = 4,36 нәтижесінің мағынасы

Есептің моделі және қолданылу шарттары

Геометрия және режим

Түзу дөңгелек құбыр, радиусы R_0.

Орныққан осьтік-симметриялы ағыс.

Гидродинамикалық және жылулық қалыптасқан режим.

Физикалық шарттар

Сығылмайтын сұйық, тұрақты ρ, c_p және λ.

Бойлық жылуөткізгіштік пен тұтқыр диссипация еленбейді.

Қабырғадағы жылу ағыны q"қ тұрақты.

Жылу ағынының нәтижелік бағыты: жоғары температурадан төмен температураға.

Цилиндрлік координаттардағы энергия теңдеуі

Толық стационарлық баланс

$\rho c_p(u_r \partial T/\partial r + u_x \partial T/\partial x)$

$= \lambda[\partial^2 T/\partial r^2 + (1/r)\partial T/\partial r + \partial^2 T/\partial x^2]$

Сол жақта адвекция, оң жақта жылуөткізгіштік.

Қалыптасқан ағыс

$u_r = 0$, $u_x = u(r)$

Бойлық диффузия еленбесе:

$\rho c_p u \, \partial T/\partial x$

$= (1/r)\partial[\lambda r \, \partial T/\partial r]/\partial r$

Осьте $\partial T/\partial r = 0$.

Тұрақты жылу ағынындағы бойлық баланс

$$\dot{m} c_p \, dT_\beta/dx = 2\pi R_0 q''_к$$

$\dot{m} = \rho U_{орта} \pi R_0^2$. T_β — қимадағы энтальпия бойынша орташа температура.

$$dT_\beta/dx = 2q''_к/(\rho c_p U_{орта} R_0)$$

Қасиеттер мен шығын тұрақты болса, T_β құбыр бойымен сызықты өзгереді.

Жылулық қалыптасу температураның тұрақты болуын емес, профиль пішінінің сақталуын білдіреді.

Қабырға және сұйық температуралары

Қалыптасқан жылу беру

$q''_к = \alpha(T_к - T_\beta)$

$q''_к = const$ және $\alpha = const$ болса:

$T_к - T_\beta = const$

Қабырға мен орташа сұйық температуралары бірдей көлбеулікпен өседі.

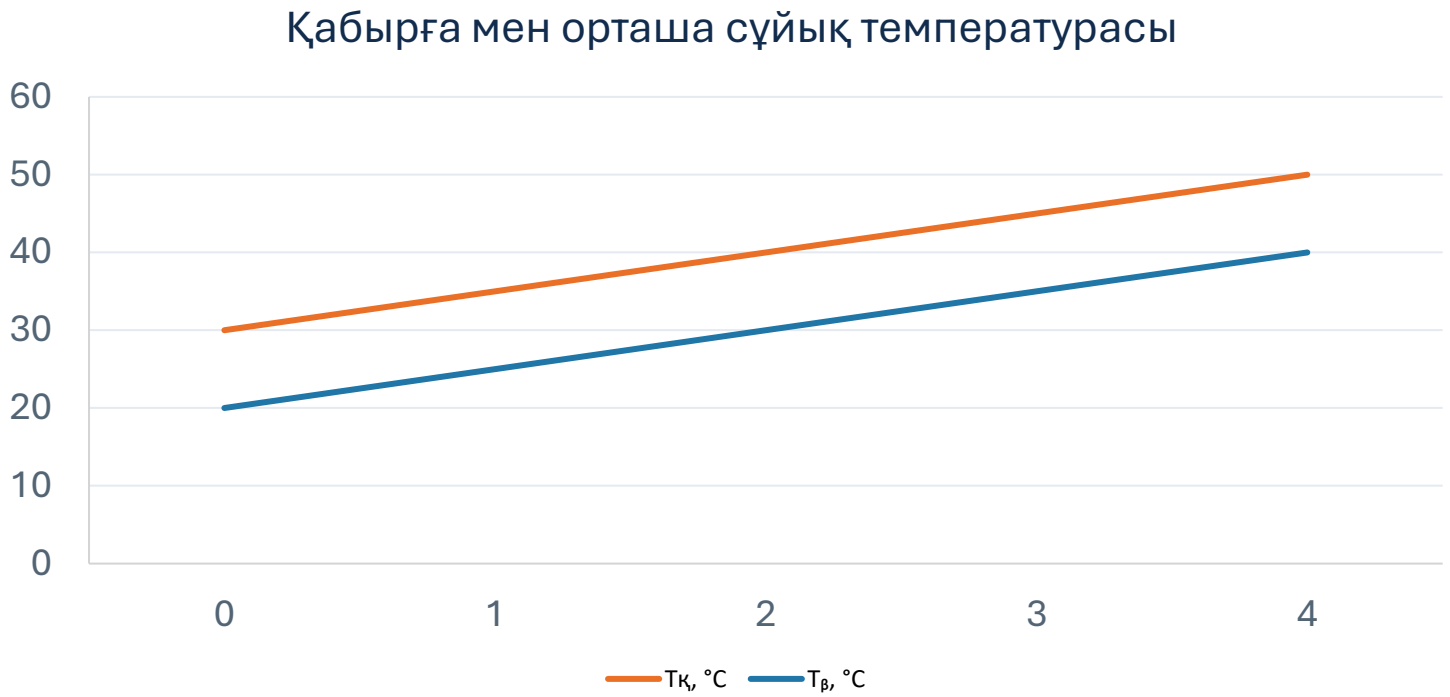
Радиалдық профиль

$T(r,x) = T_\beta(x) + \Phi(r)$

$\partial T/\partial x = dT_\beta/dx$

$\Phi(r)$ бойлық координатаға тәуелсіз. Бұл жазылу тұрақты $q''_к$ жағдайына қатысты.

Бойлық температуралардың өзгерісі



Көлденең ось: x, м; тік ось: T, °C.

Оқу сұлбасы: $T_β = 20 + 5x$, $T_қ = 30 + 5x$. Мәндер нақты экспериментті көрсетпейді.

Тұрақты айырма

$T_қ(x) - T_β(x) = q''_к/α$

Екі сызық параллель.

Жылулық қалыптасқан ағыста да сұйық қызуын жалғастырады.

Лайон интегралының өлшемсіз шамалары

$$R = r/R_0;\ W = u/U_{орта}$$

$$2\int_0^1 WR\,dR = 1$$

$$J(R) = \int_0^R W(\xi)\xi\,d\xi$$

$$1/Nu_d = 2\int_0^1 J^2(R) / \{[1 + \lambda_т(R)/\lambda]R\}\,dR$$

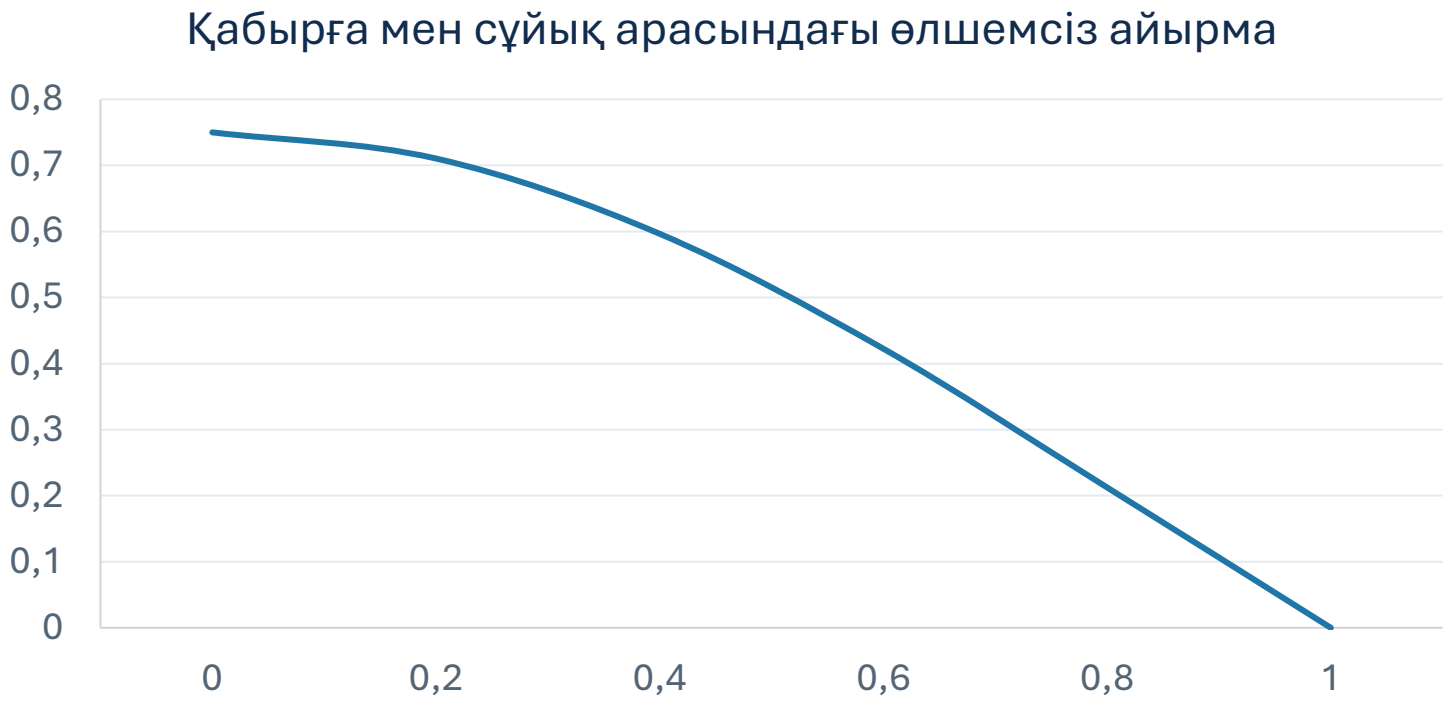
Орташа температура

$T_\beta = 2\int_0^1 TWR\,dR$

Бұл — массалық шығынмен өлшенген орташа.

Қарапайым аудандық орташа жалпы жағдайда басқа мән береді.

Ламинарлы температура өрісі



Көлденең ось: R; тік ось: S

Тұрақты q"қ жағдайындағы ламинарлы шешім. Оқу графигі.

Профильді түсіндіру

$S = (Tқ - T)/(q"қR_0/\lambda)$

$S = ¾ - R^2 + ¼R^4$

Қабырғада S = 0.

Осьте сұйық қабырғаға қарағанда салқынырақ.

Ламинарлы ағыс үшін интегралды есептеу

$$W = 2(1 - R^2); \quad J(R) = R^2 - \tfrac{1}{2}R^4$$

W = u/Uорта. $J(R) = \int_0^R W(\xi)\xi\, d\xi$. Пуазейль профилі қолданылды.

$$1/Nu_d = 2\int_0^1 J^2(R)/R\, dR = 11/48$$

Сондықтан Nu_d = 48/11 ≈ 4,36. Бұл нәтиже тұрақты қабырғалық жылу ағынына қатысты.

Тқ = const жағдайында басқа шешім алынады: Nu_d ≈ 3,66.

Турбулентті тасымал және интегралдың шектері

Турбулентті аналог

$\lambda_{тиім}(r) = \lambda + \lambda_т(r)$

$\lambda_т = \rho c_p a_т$

Орташаланған энергия теңдеуінде радиалдық турбулентті тасымал қосымша диффузиямен модельденеді.

Қажетті ақпарат

Жылдамдық профилі W(R) және $\lambda_т(R)$ моделі қажет.

$\lambda_т$ материал қасиеті емес, ағысқа тәуелді.

Өзгермелі қасиеттер, бастапқы учаске және аралас конвекция бөлек қарастырылады.

Есептеу мысалы және өзіндік тексеру

$$\alpha = Nu_d\lambda/d = 4{,}36 \cdot 0{,}60/0{,}020 \approx 131\ Вт/(м^2 \cdot К)$$

Оқу мысалы: қалыптасқан ламинарлы ағыс, $q''_к = const$, $\lambda = 0{,}60$ Вт/(м·К), $d = 0{,}020$ м. Егер $q''_к = 1000$ Вт/м^2 болса, $T_к - T_\beta \approx 7{,}64$ К.

Қорытынды

Лайон интегралы жылдамдық пен радиалдық жылу тасымалын байланыстырады. Nu = 4,36 мәні нақты модель шарттарынан шығады. Оны барлық құбыр ағысына бірдей қолдануға болмайды.

Бақылау сұрақтары

1. T_β қалай орташаланады?
2. $\lambda_т$ нені сипаттайды?
3. Nu = 4,36 қашан дұрыс?