

4. КӨЛДЕНЕҢ БЕТТЕР МАҢЫНДАҒЫ ЕРКІН КОНВЕКЦИЯ. ШЕКТЕЛГЕН КЕҢІСТІКТЕГІ ЕРКІН КОНВЕКЦИЯ (жалғасы)

Көлденең пластина маңындағы еркін конвекция кезіндегі жылу беру. Релей санының шағын мәндері кезіндегі жылу беру. Қатпарлардағы және тұйық қуыстардағы еркін конвекция. Жылу өткізгіштіктің балама (эквивалент) коэффициенті.

4.1. Көлденең пластина маңындағы еркін конвекция кезіндегі жылу беру

Пластина (немесе плита) жылу беру бетімен жоғары немесе төмен қаратылуы мүмкін. Бағалау есебі үшін тік пластинаға арналған формуланы пайдалануға болады, сипатты мөлшері аз болып табылады, бұл ретте егер жылу бергіш бет жоғары қаратылатын болса, онда жылу беру коэффициенті 30 % көбейеді, ал егер жылу бергіш бет төмен қарай қаратылатын болса, 30 % азаяды.

Неғұрлым дәл нәтижелерді жоғары қарай қаратылған үстіңгі бетінің жылу бергіштігі мен көлденең пластинаның жылу бергіштігінің орташа коэффициенті үшін алуға болады, үстіңгі бетінің тұрақты температурасы [5]:

$Ra \leq 10^5$ кезінде

$$Nu_l = \frac{0,766Ra^{1/5}}{\left[1 + \left(\frac{0,322}{Pr}\right)^{11/20}\right]^{4/11}},$$

$Ra > 10^5$ кезінде

$$Nu_l = \frac{0,15Ra^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,322}{Pr}\right)^{11/20}\right]^{20/33}}.$$

Анықтаушы мөлшер мұнда пластина ауданының периметріне қатысы болып табылады, ал анықтаушы температура – шекаралық қабаттың температурасы.

Ауа үшін формулалар оңайлатылады:

$Ra \leq 10^5$ кезінде

$$Nu_l = 1,10Ra^{1/5},$$

$Ra > 10^5$ кезінде

$$Nu_l = 0,203Ra^{1/3}.$$

4.2. Релей санының шағын мәндері кезіндегі жылу беру

Экспериментте жіңішке сымдар үшін ($d = 0,2 - 1$ мм) жылу беру шарттары ерекше болатындығы анықталған. Сымның үстіңгі беті шағын болғандықтан, берілетін жылудың мөлшері де елеусіз. Шағын температуралық арындарда сымның айналасында жылытылған ауаның жылжымайтын үлбірі түзіледі. Бұл режим үлбірлік деп аталады, ол $Ra < 1$ кезінде анықталған, мұнда анықтаушы ретінде шекаралық қабаттың температурасы $t_{ш} = 0,5(t_c + t_k)$ болады. Бұл режим кезінде $Nu_{rd} = 0,5$, демек, $\alpha = 0,5 \cdot \lambda / d$. Жылу алмасу жылу өткізгіштікпен жүзеге асырылады, режим тұрақсыз.

$Ra < 500$ кезінде ауыспалы режим орын алады, ол келесі теңдеумен сипатталады [3]:

$$Nu_{rd} = 1,18Ra_r^{1/8}.$$

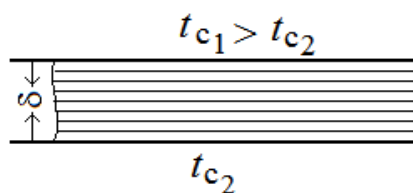
4.3. Қатпарлардағы және тұйық қуыстардағы еркін конвекция. Жылу өткізгіштіктің балама (эквивалент) коэффициенті

Алдыңғы бөлімдерде үлкен (шектелмеген) кеңістікте табиғи конвекция кезінде жылу алмасу жағдайлары қарастырылған. Бұл жағдайларда сұйықты жылыту және салқындату процестері елеулі арақашықтықта өтеді, ал жоғары көтерілетін және төмен түсірілетін нүктелер бір-біріне ешқандай да елеулі әсер етпейді. Шектелген көлемде шекаралық қабаттың қалыңдығы кеңістіктің өзінің мөлшерлерімен шамалас болады және жылыту мен салқындату процестерін тәуелсіз қарастыруға болмайды.

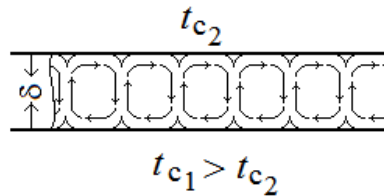
Егер сұйықтың көлемі үлкен болмаса, онда осы көлемде орналасқан басқа денелерде немесе аталған дене бөлшектерінде туындайтын еркін қозғалыстар қарастырылатын ағынға әсер етуі мүмкін. Бұл қозғалыстарды бөлу және оларды жеке қарастыру қиын, ал кейде мүмкін болмайды. Қозғалыс және жылу беру бұл ретте сұйықтың түріне тәуелді болады, оның температурасы және температуралық арыны, кеңістіктің пішіні мен мөлшеріне де тәуелді болады.

Жылу алмасу процестері табиғи конвекция кезінде шектелген кеңістікте техникалық қосымшалар қатарында кездеседі. Осы процестермен байланысты: құбырлар желісінің, ғимараттардың, пештер мен сыйымдылықтардың газ қабаттарының көмегімен жылылықты оқшаулау; температуралық өрістерді қалыптастыру және дыбыстан ұшқыр ұшақтардың, зымырандардың және ғарыштық ұшу аппараттарының бактары мен бөліктеріндегі жылуды тасымалдау; радиоэлектрондық құрылғылардағы жылу алмасу; кеуекті денелер мен ортадағы жылуды тасымалдау. Тұйықталған кеңістікте қалатын жылытылған сұйықтармен жұмыс істеу кезінде, сондай-ақ сұйылтылған газдарды ұзақ сақтау кезінде криогенді техникада табиғи конвекция кезінде жылу алмасу процестері геодезияда тәжірибелік мәнге ие болады.

Екі жалпақ қабырғалармен түзілген көлденең саңылауларда процесс жылытылған және суық үстіңгі беттердің орналасуымен және олардың арасындағы арақашықтықпен анықталады. Егер жоғарғы қабырғаның температурасы төменгі қабырғаның температурасынан көп болса, сұйықтың еркін ағысы болмайды. Бұл жағдайда жылу жоғарғы қабырғадан төменгі қабырғаға жылу өткізгіштікпен немесе сәулеленумен беріледі. Сұйықтың температуралары тік бағытта өсе отырып, көлденең қабаттарда тұрақты болады (4.1-сурет). Осының бәрі тығыздығы температураның артуымен азаятын сұйықтар үшін дұрыс болады. Егер төменгі қабырғаның температурасы, жоғарғы қабырғаның температурасына қарағанда жоғары болса, онда белгілі бір жағдайларда саңылауларда конвекциялық ток туындайды (4.2-сурет). Аз тығыздыққа ие сұйықтың ыстық бөлшектері жоғары қарай ауысуға тырысады. Саңылауларда өзара кезектестірілетін жоғары көтерілетін және төмен түсетін ағындар пайда болады. Ағын өрісінде Бенар ұяшықтары деп аталатын алты қырлы ұяшықтары бар құрылымға ие. Мұндай ағыс ретсіз турбулентті ағыс басталғанға дейін орын алатын болады.



4.1-сурет. Сұйықтың температуралары тік бағытта



4.2-сурет. Конвекциялық токтар

Шмидттің еңбектері бойынша $1700 < Ra < 3 \cdot 10^3$ кезінде еркін конвекция критерийлік теңдеумен сипатталады:

$$Nu = 0,0012 \cdot Ra^{0,9}.$$

Конвекция туындаған кезде сұйық ұяшықтың ортасында көтеріледі және оның перифериясына түседі. Ауамен тәжірибелерде сурет бағыты бойынша қарама-қарсы ағыс байқалады. Бұл ерекшеліктер сұйықтар мен газдар үшін температураға тұтқырлық тәуелділігінің әр түрлі сипатымен байланысты. Газдардың тұтқырлығы температураның көтерілуімен өседі, ал бұл уақытта сұйықтарда бұл тәуелділік кері болып табылады. Конвекцияның туындауы кезінде бастапқы ауытқулардың таралу бағыты, өз кезегінде, қабаттың ішіндегі тұтқырлықтың қалай өзгеретіндігіне тәуелді болады.

Дамыған ламинарлы конвекция режимі Ra неғұрлым жоғары мәндері кезінде туындайды. $3 \cdot 10^3 < Ra < 2,5 \cdot 10^4$ диапазоны үшін жылу беру келесі теңдеумен сипатталады:

$$Nu = 0,24 \cdot Ra^{0,25}.$$

Бұл диапазонда Ra сандары шектердің изотермиялығын сақтау кезінде кезектестірілетін ұзын біліктер түріндегі ағыстың екі өлшемді құрылымы болуы мүмкін, олардың симметрия осьтері саңылаудың қабырғаларына параллель болады. Бұл ретте Ra кешені мәндерінің ұлғаю шамасы бойынша кезектесетін жоғары көтерілетін және төмен түсетін токтардың қабат қалыңдығына қатысы 2-ден 2,8-ге дейін ұлғаяды.

Ra кешенінің неғұрлым жоғары мәндерінде ағыс үш өлшемді болады және турбулентті режимге ауысу белгілері пайда болады. $2,5 \cdot 10^4 < Ra < 3 \cdot 10^4$ диапазонында келесі формула дұрыс болады:

$$Nu = 0,3 \cdot Gr^{0,16} \cdot Pr^{0,21}.$$

$Ra > 3 \cdot 10^4$ кезінде

$$Nu = 0,1 \cdot Gr^{0,31} \cdot Pr^{0,36}.$$

Оптикалық өлшемдер турбулентті режимнің сұйықтың ұзын көлденең қабатында $Ra > 5 \cdot 10^4$ кезінде пайда болады.

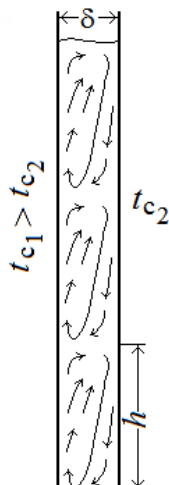
Барлық берілген формулаларда Грасгоф саны келесі жолмен анықталады:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \delta^3}{\nu^2} \cdot (t_{c1} - t_{c2}),$$

мұнда сипатты мөлшер δ – қатпардың қалыңдығы, ал ортаның физикалық қасиеттері қатпардағы орташа температураға жатқызылған $t_{c.r} = 0,5(t_{c1} + t_{c2})$.

Жоғарыда берілген формулалар төмен жағынан жылытылатын ұзын көлденең қабаттар үшін дұрыс болады. Шектеулі ұзындықтағы қабаттар үшін бүйір қабырғаларының болуы конвекцияның пайда болу жағдайларын анықтайтын Ra кешені мәнінің артуына әкеледі. Бүйір қабырғалар әсерінің арқасында жылуды тасымалдау қарқындылығы қабат арқылы төмендейді.

Қабырғалардың арасындағы δ арақашықтыққа тәуелсіз тік саңылауларда сұйықтың циркуляциясы әр түрлі өтуі мүмкін. Егер арақашықтық үлкен болса, онда жоғары көтерілетін және төмен түсетін ағындар өзара кедергісіз қозғалады. Бұл жағдайда қозғалыс шектелмеген көлемдегідей сипатқа ие болады. Егер қабырғалардың арасындағы арақашықтық аз болса, онда өзара кедергілердің салдарынан ішкі циркуляциялық контурлар туындайды (4.3-сурет). Контурлардың биіктігі h саңылаудың енімен, сұйықтың түрімен және процестің қарқындылығымен анықталады. Белгілі бір жағдайларда жылуды қабырғалар арасында тасымалдау жылу өткізгіштік теңдеулері бойынша есептелуі мүмкін. Ауытқулар тек саңылаулардың ұштарында, шамамен қабырғалардың арасындағы арақашықтыққа тең биіктікте орын алады. Тәжірибелік есептеулерде әдетте жылу ағынын сұйық қабаты арқылы анықтау керек.



4.3-сурет. Ішкі циркуляциялық контурлар

Есептеу тәжірибесінде жылуды саңылаулар арқылы тасымалдаудың күрделі процесін жылу

өткізгіштік процесімен ауыстыру қабылданған $q = \frac{\lambda_{\text{экв}}}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2})$, мұндағы δ – саңылау

қалыңдығы; t_{c1} және t_{c2} – үстіңгі беттің температуралары; $\lambda_{\text{экв}}$ – жылу өткізгіштіктің балама (эквивалент) коэффициенті, ол $\lambda_{\text{экв}} = \lambda \cdot \varepsilon_{\text{экв}}$ формуласы бойынша есептелуі мүмкін, мұндағы λ – саңылаудағы сұйықтың жылу өткізгіштігінің нақты коэффициенті; $\varepsilon_{\text{экв}} = 0,18 \cdot \text{Ra}_{\text{ст}}^{0,25}$ формуласы бойынша жуықтап есептелетін конвекция коэффициенті [3]. Барлық физикалық параметрлер белгілі $t_{c, \Gamma} = 0,5(t_{c1} + t_{c2})$ температурасы кезінде таңдалады