

## ПИРОЛИЗ ҚУРИЛМАСИНИНГ ИССИҚЛИК АЛМАШИНУВИ ВА ИССИҚЛИК ЎТКАЗИШ ЖАРАЁНИНИ АНИҚЛАШ

*Холиқов Комил Нурмахматович*

*Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти*

*“Физика ва электроника” кафедраси катта ўқитувчиси*

**Аннотация.** Иссиқлик алмашинув суюқлик ёки газ қатлами орқали ҳам амалга ошиши мумкин. Вақтнинг айна momentiда кўриб чиқилаётган фазонинг барча нуқталаридаги температура қийматларининг йиғиндиси температура майдони дейилади. Ҳамма нуқталарида температура бир хил бўладиган сирт изотермик сирт дейилади. Иссиқлик оқимининг вектори доимо температуранинг пасайиш томонига йўналган бўлади. Температура градиенти –изотермик сиртга туширилган нормал бўйича йўналган вектордир. Кўп қатламли девор учун олинган формулалардан қатламлар орасида иссиқлик контакти яхши бўлгандагина фойдаланиш мумкин.

**Калит сўзлар.** Температура, Иссиқлик алмашинув, Суюқлик ва газлар, изотермик сирт, иссиқлик оқими, иссиқлик ўтказувчанлик, пиролиз реактори, труба, аппарат, корпус, двигател, цилиндр.

Иссиқлик ўтказувчанлик–бу температуралар фарқи борлиги туфайли туташ мухитда иссиқликнинг молекуляр узатилишидир. Иссиқлик алмашинувининг бундай усули, асосан, қаттиқ жисмларда битта жисмнинг ичида ҳам, шунингдек, бир –бирига тегиб турган иккита жисм орасида ҳам содир бўлади. Иссиқлик алмашинув суюқлик ёки газ қатлами орқали ҳам амалга ошиши мумкин. Суюқлик ва газлар иссиқликни жуда ёмон ўтказувчи ҳисобланади.

Температура майдони. Иссиқлик алмашинувининг бошқа турлари каби иссиқлик ўтказиш жараёни ҳам жисмнинг турли нуқталарида температура бир хил бўлмагандагина амалга ошади. Маълумки температура жисмнинг ҳолат параметри бўлиб, унинг исиганлик даражасини характерлайди. Вақтнинг айна momentiда кўриб чиқилаётган фазонинг барча нуқталаридаги температура қийматларининг йиғиндиси температура майдони дейилади. Температура майдони математикавий жиҳатдан координата функцияси билан ифодаланади.

$$t = f\pi r^2$$

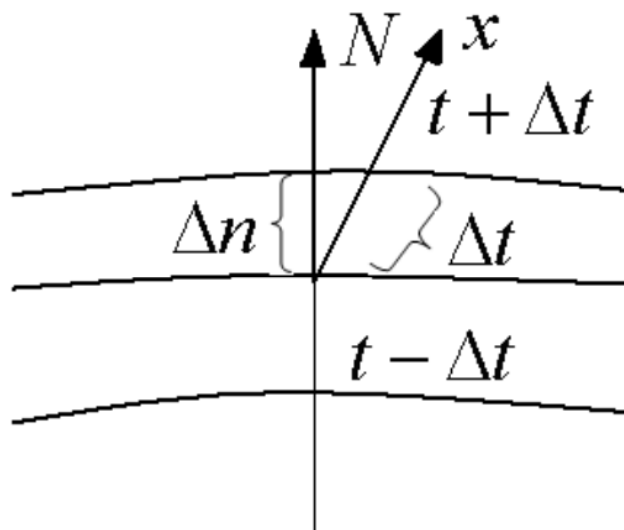
Температура майдони учта, иккита ва битта координатанинг функцияси бўлиши мумкин. Агар температура уч йўналишда ўзгарса, у ҳолда майдон уч ўлчамли дейилади. Икки ўлчамли ва бир ўлчамли майдонларнинг тенграмаси куйидаги кўринишда бўлади:

$$t = f(x, y); \quad \frac{dt}{dz} = 0, \quad (1)$$

$$t = f(x); \quad \frac{dt}{dy} = \frac{dt}{dz} = 0. \quad (2)$$

Температура градиен. Ҳамма нуқталарида температура бир ҳил бўладиган сирт изотермик сирт дейилади. Фазонинг айна нуқтасининг ўзида бир вақтда икки ҳил температура бўлиши мумкин эмаслиги учун турли изотермик сиртлар ҳеч вақт бир-бири билан кесишмайди. Уларнинг барчаси жисм сиртида тугайди ёки бутунлай унинг ичида жойлашади.

Агар бир қатор изотермик сиртлар текислик билан кесилса, унда изотермалар оиласи олинади. Улар ҳам изотермик сиртлар каби бир-бири билан кесишмайди, жисмнинг ичида узилиб қолмайди, балки жисм сиртида тугайди ёки унинг ичида жойлашади. Жисмнинг температураси изотермик сиртларни кесиб ўтадиган йўналишдагина ўзгаради (расм–1).



**1-расм.** Пиролиз реакторининг метал температурасини изотермик сиртларини кесиб ўтилиши.

Температура градиентини расмдан кўринадик, узунлик бирлигида температуранинг энг катта ўзгариши изотермик сиртга нормал  $n$  йўналишида бўлади. Температура ўзгариши  $\Delta t$  изотермадаги нормал бўйича масофа  $\Delta n$  га нисбати температура градиенти дейилади:

$$\lim \left( \frac{\Delta t}{\Delta n} \right)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{dt}{dn} = \text{grad} t \quad (3)$$

Температура градиенти –изотермик сиртга туширилган нормал бўйича йўналган вектордир. Унинг температурасининг кўтарилиши томонига йўналиши мусбат йўналиш ҳисобланади.

Фурье қонуни. Ихтиёрий сиртдан вақт бирилиги ичида ўтадиган иссиқлик миқдори  $Q$  иссиқлик оқими дейилади. Иссиқлик оқимининг вектори доимо температуранинг пасайиш томонига йўналган бўлади. Иссиқлик алмашинув интенсивлиги миқдорий жиҳатдан иссиқлик оқимининг вектори доимо температуранинг пасайиш томонига йўналган бўлади. Иссиқлик алмашинув интенсивлиги миқдорий жиҳатдан иссиқлик оқимининг зичлиги  $q$  билан ҳарактерланади.

Сирт бирлиги  $F$  дан вақт бирлиги  $\tau$  да ўтадиган иссиқлик миқдори иссиқлик оқимининг зичлиги ёки солиштирма иссиқлик оқими дейилади:

$$r = \frac{dQ}{F d\tau} \quad (4)$$

Иссиқлик миқдори доимо купрок қиздирилган заррачалардан камрок қиздирилган заррачаларга узатилиши сабабли иссиқлик оқими зичлиги  $q$  нинг вектори доимо температуранинг пасайиши томонига йўналган бўлади. Француз олими Фурье қаттиқ жисмлардаги иссиқлик ўтказувчанлик процессларини ўрганиб, иссиқлик оқимининг зичлиги температура градиентига пропорционал эканлигини аниқлади:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dn} = -gradt \quad (5)$$

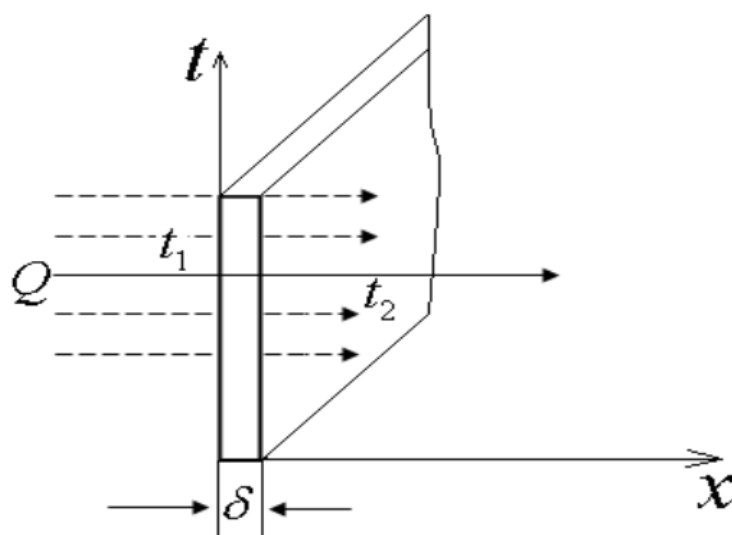
(5) нисбат иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонунини ифодалайди ва Фурье қонуни дейилади. (5) нисбатнинг ўнг қисмидаги минус ишора иссиқлик оқими билан температура градиентининг векторлари қарама-қарши томонга йўналганлигини билдиради. (5) ифодадаги пропорционаллик коэффициенти  $\lambda$  модданинг физикавий параметри бўлиб, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти дейилади. У модданинг қай даражада иссиқлик ўтказишини кўрсатади. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг ўлчамлиги (5) ифодадан аниқланади:

$$[\lambda] = \left[ q \frac{dn}{dt} \right] = \left[ \frac{\text{vatt} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{grad}} \right] = \left[ \frac{\text{vatt}}{\text{m} \cdot \text{grad}} \right]$$

Демак, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати сон жиҳатдан температура фарқи  $10^0$  С бўлганда деворнинг бирлик қатламидан ўтадиган солиштирма иссиқлик оқимига тенг.  $\lambda$  қанчалик катта бўлса, модда иссиқликни шунчалик яхши ўтказувчан бўлади.

Ясси бир қатламли девор.

2–расмда бир жинсли материалдан (ғишт, металл ёки иситилган бошқа материаллардан) ишланган, қалинлиги  $\delta$  бўлган ясси бир қатламли девор кўрсатилган. Материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\lambda$  температурага боғлиқ эмас, деб қабул қиламиз. Деворнинг ташқи сиртларида температуралар ўзгармас  $t_1 > t_2$  ҳолда девор сиртига перпендикуляр бўлган ўқ  $x$  йўналишдагина ўзгаради, яъни температура майдони бир ўлчамли, температура градиенти эса  $dt/dx$  га тенг.



2-расм. Реакторнинг ясси бир қатламли девор.

Девор орқали ўтадиган иссиқлик оқимининг зичлигини топамиз ва температура девор қалинлиги бўйича ўзгариш характерини аниқлаймиз. Девор ичида иккита изотермик сирт билан чегараланган, қалинлиги  $dx$  бўлган элементар қатламни ажратамиз. Бу қатлам учун Фурье тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}.$$

Ўзгарувчиларни бир–бирига бўлиб, қуйидагини оламиз:

$$dt = -\lambda \frac{q}{\lambda} dx.$$

Бу тенгламани интегралласак,

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C.$$

Интеграллаш доимийси  $C$  чегаравий шартлардан аниқланади:  $x=0$  бўлганда  $t=t_1$ . Бунда  $C=t_1$ , бинобарин, тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + t_1 \tag{7}$$

Бу тенгламадан кўриб чиқиладиган девор орқали ўтувчи иссиқлик оқимининг зичлигини аниқлаш мумкин. (6) тенгламага  $x=\delta$  қийматни қўйсак  $t=t_2$  бўлади, бундан

$$T = -\frac{q}{\lambda} (t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \tag{8}$$

Ясси деворда иссиқлик оқимининг зичлиги иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти  $\lambda$  температуралар фарқи  $(t_1-t_2)$  тўғри пропорционал ва девор қалинлиги  $\delta$  га тесқари пропорционал бўлади. Шунинг назарда тутиш керакки, иссиқлик оқими температуранинг абсолют қиймати билан эмас, балки унинг фарқи–иссиқлик оқими  $t_1-t_2=\Delta t$  билан аниқланади. (8) тенглама ясси деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини аниқлаш формуласидир. У тўртта катталиқни:  $q$ ,  $\lambda$ ,  $\delta$  ва  $\Delta t$  ўзуро боғлайди:

$$\lambda = \frac{q\delta}{\Delta t};$$

$$\Delta t = \frac{q\delta}{\lambda};$$

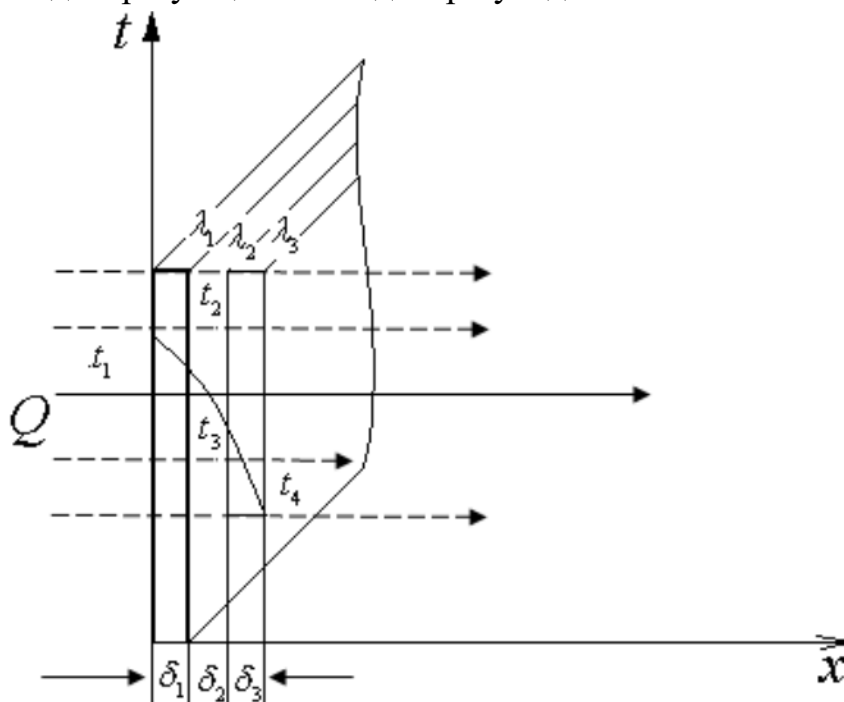
$$\delta = \frac{\lambda\Delta t}{q};$$

Исталган учта катталиқнинг қийматини билган ҳолда тўртинчисини ҳамма вақт топиш мумкин.  $\lambda/\delta$  нисбат деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги дейилади; унинг ўлчамлиги [Вт/(м<sup>2</sup>град)]. Агар (7) тенгликни бошқа кўринишда ёзсак, қуйидагича бўлади:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta/\lambda} \quad (9)$$

Девор қалинлигининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига нисбати  $\delta/\lambda$  деворнинг термик қаршилиги дейилади.

Ясси кўп қатламли девор. Амалда иссиқлик ўтказувчанлиги турлича бўлган материаллардан ясалган бир неча қатламли ясси девор орқали иссиқлик узатишнинг аҳамияти анча муҳим. Масалан, пиролиз реакторининг ташқи томонидан шлаклар билан, ички томонидан эса хом ашё қолдиқлари билан қопланган металл девори уч қатламли девор бўлади.



3–расм. Ясси уч қатламли девор.

Ясси уч қатламли девор (3–расм) орқали иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқлик узатилиш процессини кўриб чиқамиз. Бундай деворнинг барча қатламлари бир–бирга зич ёпишиб туради. Қатламларнинг қалинлиги  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  билан ҳар қайси материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти эса тегишлича  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ва  $\lambda_3$  билан белгиланади. Ташқи сиртларнинг температуралари  $t_1$  ва  $t_4$  ҳам маълум.  $t_2$  ва  $t_3$  температуралар номаълум. Кўп қатламли девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқлик ўтказиш процесси стационар режимда кўриб чиқилади, шу сабабли деворнинг ҳар қайси қатлами орқали

Ўтадиган солиштирма иссиқлик оқими  $q$  катталиги жихатидан ўзгармас ва барча қатламлар учун бир хил бўлади, лекин у ўз йўлида ҳар қайси девор қатламининг маҳаллий термик қаршилиги  $\delta/\lambda$  ни енгиб ўтади. Шу сабабли ҳар қайси девор қатлами учун (8) формула асосида қуйидагича ёзиш мумкин:

$$q = \left(\frac{\lambda_1}{\delta_1}\right) (t_1 - t_2),$$

$$q = \left(\frac{\lambda_2}{\delta_2}\right) (t_2 - t_3),$$

$$q = \left(\frac{\lambda_3}{\delta_3}\right) (t_3 - t_4),$$

Бу тенгламадан ҳар қайси қатламда температуранинг ўзгаришини аниқласа бўлади:

$$(t_1 - t_2) = \frac{q\delta_1}{\lambda_1},$$

$$(t_2 - t_3) = \frac{q\delta_2}{\lambda_2},$$

$$(t_3 - t_4) = \frac{q\delta_3}{\lambda_3},$$

(9) тенгликнинг чап ва ўнг томонини бир-бирига қўшиб, тўлиқ температура босимини ҳосил қиламиз; у ҳар қайси қатламда температуранинг ўзгаришлари йиғиндисидан иборат бўлади:

$$(t_1 - t_4) = q \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}.$$

Бу нисбатдан кўп қатламли девор оркали ўтадиган солиштирма иссиқлик оқими  $q$  нинг катталигини аниқлаш мумкин:

$$q = \frac{(t_1 - t_4)}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad (10)$$

(10) тенгламадан кўп қатламли деворнинг умумий термик қаршилиқларининг йиғиндисига тенг, деган хулоса келиб чиқади:

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}.$$

$n$  қатламли девор учун (10) формула қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$q = \frac{(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_L}{\lambda_L}} \quad (11)$$

(9) ва (10) формулалар асосида номаълум температуралар  $t_2$  ва  $t_3$  нинг қийматларини топиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= t_1 - \frac{q\delta_1}{\lambda_1} \\ \text{ёки} \quad t_3 &= t_2 - \frac{q\delta_2}{\lambda_2} = t_1 - q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \\ t_3 &= t_4 + \frac{q\delta_3}{\lambda_3} \end{aligned} \right\}$$

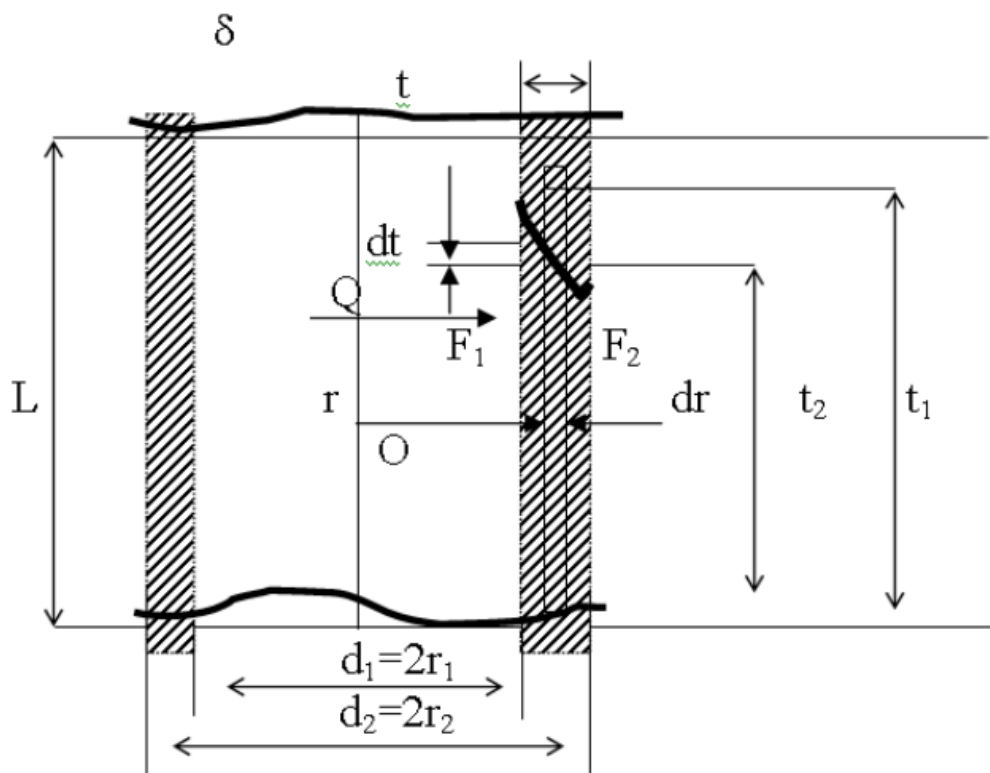
$\lambda = \text{const}$  бўлганда деворнинг ҳар қайси қатламида температураларнинг тақсимланиши чизигий қонунга бўйсунди, бу (11) тенгламадан кўриниб турибди. Умуман кўп қатламли девор учун температура эгри чизиги синиқ чизик кўринишида бўлади (3-расмдаги  $t_1$ ,  $t_4$  чизик).

Кўп қатламли девор учун олинган формулалардан қатламлар орасида иссиқлик контакти яхши бўлгандагина фойдаланиш мумкин. Агар қатламлар орасида кичкина ҳаво зазори пайдо бўлганда ҳам термик қаршилик сезиларли даражада ортади, чунки ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлиги жуда кичикдир:

$$[\lambda_{\text{хаво}} = 0,023 \text{ Вт/(м.град)}]$$

Агар бундай қатлам бўлиши муқаррар бўлса, у ҳолда ҳисоблашларда бу қатлам кўп қатламли деворнинг қатламлидан бири сифатида қаралади.

Цилиндрик девор. Иссиқлик машиналари ва иссиқлик алмашинув аппаратлари деворларининг сиртлари, кўпинча, концентрик жойлашган иккита цилиндрлик сирт (трубалар, аппаратларнинг корпуслари, двигателларнинг цилиндрлари ва шунга ўхшашлар) билан чегараланган бўлади. Цилиндрик деворда ҳам иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқликнинг узатилиши ясси девордаги иссиқлик узатилиши қонунлари бўйича амалга ошади. Бу ерда фарқ шундаки, ясси деворда сиртларнинг юзаси бир хил бўлади, цилиндрлик деворда эса ички сиртнинг юзаси, ташқи сиртнинг юзасидан доимо кичик бўлади. Цилиндрнинг девори қанчалик қалин бўлса, яъни ташқи ва ички диаметрлари орасидаги фарқ қанчалик катта бўлса, ташқи ва ички сирт юзаларининг фарқи ҳам шунчалик катта бўлади (4 –расм).



4-расм. Цилиндрик бир қатламли девор.

4- расмда узунлиги  $l$  бўлган труба пироллиз реакторининг бўлаги кўрсатилган. Трубанинг ташқи ва ички сиртлари  $F_1$  ва  $F_2$  нинг температуралари тегишлича  $t_1$  ва  $t_2$ . Температура радиал йўналишда камаяди. Иссиқлик оқими  $Q$  ичкаридан ташқарига томон труба сиртига нормал бўйича (унинг кесимлари радиуслари бўйлаб) йўналган. Унинг қиймати деворнинг барча қатламлари учун бир хиллигича қолади. Трубанинг ташқи ва ички диаметрлари тегишлича  $d_1$  ва  $d_2$  га тенг.

Ясси девор учун чиқарилган Фурье формуласидан (4) дан фойдаланиш учун девор ичида радиуси  $r$  ва қалинлиги  $dr$  бўлган элементар цилиндрик қатлам ажратамиз. У ҳолда ажратилган шу қатламни ясси девор сифатида қараш мумкин. Унинг  $\tau$  вақт ичида  $Q$  миқдор иссиқлиги ўтадиган чекка сиртларини унинг юзасига тенг, улар орасидаги температуралар фарқи  $dt$  ни эса чексиз кичик дейиш мумкин. Элементар қатлам учун (3) формула қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} F \tau$$

Трубанинг узунлигини  $l$  билан белгилаймиз, у ҳолда Фурье формуласида  $F$  қийматни  $2\pi r l$  ифода билан алмаштириш мумкин.  $l = 1$  м ва  $\tau = 1$  сек, деб қабул қилиб, труба узунлигининг бир метрига нисбатан олинган солиштирма иссиқлик оқими  $q'$  ни топамиз:



$$q'' = -\lambda \frac{dt}{dr} 2\pi r$$

бундан

$$dt = -\frac{q'}{2\pi\lambda} \cdot \frac{dr}{r} \quad (12)$$

(12) тенгликни интеграллаб ва қатор ўзгартиришлар киритиб, цилиндрик девордан ўтувчи иссиқлик оқимини (труба узунлигининг 1 м га нисбатан) аниқлаш формуласини оламиз:

$$q' = \frac{\pi(t_1-t_2)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{\pi(t_1-t_2)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (13)$$

Трубанинг узунлик бирлигига нисбатан олинган иссиқлик оқими  $q'$  иссиқлик оқимининг чизиғий зичлиги дейилади. (13) тенгликнинг ўнг қисмидаги касрнинг махражи чизиғий термик қаршилиқ дейилади ва  $R\lambda$  билан белгиланади:

$$R\lambda = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (14)$$

(14) формуладан кўриниб турибдики, цилиндрик реактор девор учун термик қаршилиқ  $R\lambda$  аниқлаш анча мураккаб. Шу сабабли тақрибий ҳисоблаш учун цилиндрик реактор деворининг термик қаршилиги ясси деворнинг анча оддий формуласи билан аниқланади:

$$R\lambda = \frac{\delta}{\lambda} \quad (15)$$

Диаметрлар нисбати  $d_2/d_1$  қанчалик кичик бўлса, термик қаршилиқни соддалаштирилган формула (15) бўйича ҳисоблашдаги хато шунчалик кам бўлади.  $d_2/d_1 = 2$  бўлганда (15) формула хатоси 4 % га тенг бўлиши,  $d_2/d_1 = 1,5$  да эса хато 1,4% гача камайиши аниқланган. Одатда трубади иссиқлик алмашилиш аппаратларида труба диаметрининг нисбати 1,5 дан кам бўлмайди. Шунинг учун бундай ҳолларда иссиқлик ўтказувчанликни ҳисоблашда ясси девор формуласидан фойдаланиш мумкин.

### АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ:

1.G.N. Uzakov, H.A. Davlonov, K.N.Xoliqov. Applied Solar Energy, 2020, Vol. 54, No. 6, pp. 481–484. © Allerton Press, Inc., 2019.

2.UZAKOV, G. N.; DAVLONOV, H. A.; HOLIKOV, K. N. Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters. Applied Solar Energy, 2018, 54: 481-484.

3. Узаков, Г. Н., Давлонов, Х. А., Хужакулов, С. М., Холиков К. Н. (2019, май). Оценка энергетической эффективности пиролизной установки для систем топливоснабжения теплиц. В материалах XIII международной научно-практической конференции «Международные тенденции в науке и технике» (т. 1, с. 33-35).

4. Узаков Г.Н., Давлонов Х.А., Холиков К.Н. «Гелиотехника» международный научный журнал № 5 сон, 2018 йил ст. 65–69.
5. Узаков Г.Н., Раббимов Р.Т., Давлонов Х.А., Узакова Ю.Г. Применение пиролиза биомассы для получения альтернативных топлив. - Ташкент: Фан, 2015. –120 с.
6. Uzakov G.N., Davlonov K.A. Modeling of the heat and moisture balance of the helio-greenhouse with the pyrolysis heating installation and the heat energy utilization// European science review. Vienna, Austria,. 2018, No. 7-8, pp, 262-267.
7. Uzakov G.N., Davlonov K.A. Modeling of the heat and moisture balance of the helio-greenhouse with the pyrolysis heating installation and the heat energy utilization// European science review. Vienna, Austria,. 2018, No. 7-8, pp, 262-267.
7. Узоқов Ғ.Н., Давлонов Х.А., Раббимов Р.Т. Исследование термической переработки биомассы для получения альтернативного топлива// Гелиотехника. Тошкент. 2017 йил. №3-сон. 34-38 б.
8. Узоқов Ғ.Н., Давлонов Х.А. Қуёш иссиқхоналарининг пиролиз қурилмалари ва иссиқлик утилизаторлари иситиш тизимининг энергетик таҳлили// Фарғона политехника институти илмий-техника журналари. Фарғона. 2018 йил. Махсус сон. 86-91 б.
9. Давлонов Х.А., Хатамов И. Алиярова Л.А. Пиролиз қурилмалари қуёш иссиқхонаси иситиш тизимининг энергетик ва техник-иқтисодий самарадорлигини ҳисоблаш// Инновацион технологиялар журналари. Қарши. 2019/4(36)-сон. 49-56 б.
10. Nurmahmatovich Kholikov Komil. "Getting fuel by pyrolysis device and using it." Central asian journal of social sciences and history 2.2 (2021): 103-105.
11. Nurmahmatovich, Kholikov Komil. "Renewable energy is a traditional energy production technology." Galaxy International Interdisciplinary Research Journal 10.2 (2022): 407-409.
12. Nurmahmatovich, Kholikov Komil. "General information about bioenergy products." British Journal of Global Ecology and Sustainable Development 10 (2022): 121-124.
13. Nurmahmatovich, Kholikov Komil. The influence of the main technological parameters on the pyrolysis process. 2022.
14. Нурмахматович, Холиков Комил. Возобновляемая энергетика – традиционная технология производства энергии. Международный журнал междисциплинарных исследований Galaxy, 10 (2), (2022). 407–409.
15. Кузнецов Б.Н. Катализ химических превращений угля и биомассы. – Новосибирск: Наука, 1990.