

## № 1 дәріс

### Жылу алмасу үдерістері

Химиялық технологияда үдерістердің басым көпшілігі жылу алмасу арқылы жүзеге асырылады. Себебі қарастырылатын жүйе мен қоршаған ортаның арасында әрқашан жылудың тасымалдануы болып тұрады. Жылу алмасу үш түрлі әдіспен жүргізіледі: жылу өткізгіштік, конвекциямен және сәулелену арқылы.

Жылу алмасу үдерісінің негізгі қозғаушы күші – температуралар айырымы.

### Температуралық өріс

Жылу алмасу теориясының негізгі міндеттерінің бірі – белгілі бір ортада температураның таралуы мен жылу ағыны аралығындағы тәуелділікті орнықтыру. Кез-келген шаманың қолма-қол мәнінің жиынтығы берілген ортаның (дененің) барлық нүктелеріндегі осы шаманың *өрісі* деп аталады. *Қарастырылған ортадағы барлық нүктелер үшін берілген уақыт моментінде температуралар мәндерінің жиынтығы температуралық өріс деп аталады.*

Берілген нүктеде температура мәні нүкте координаталарына ( $x, y, z$ ) тәуелді және уақытқа байланысты өзгереді. Демек, температура шамасы координата мен уақыттың функциясы болып табылады:

(1.1)

мұндағы

Егер дене температурасы координата мен уақыттың функциясы болса, онда мұндай температуралық өріс стационар емес деп аталады және (1.1)-ші тендеумен өрнектеледі.

Егер дене температурасы уақыт бойынша өзгермей тек қана координатаның функциясы болса, онда ол стационар температуралық өріс болады. Мұндай температуралық өріс өрнектеледі:

(1.2)

Денедегі температура координата осінің бір, екі, үш бағытына қарай өзгере алады. Соған сәйкес температуралық өріс те бір, екі, үш өлшемді болады.

Мысалы, бір өлшемді өріс ретінде ұзындығы мен ені қалыңдығынан әлдеқайда үлкен қабырға арқылы жылудың тасымалдануын қарастыруға болады. Осы жағдайда стационар емес температуралық өріс өрнектеледі:

(1.3)

Стационар өріс үшін:

(1.4)

## Температуралық градиент

Кез-келген температуралық өрістегі денеде температурасы бірдей нүктелер болады. Егер осындай температурасы бірдей нүктелерді қосатын болсақ, онда өзара қиылыспайтын изотермиялық бет аламыз. Мұндай изотермиялық беттер өзінде тұйықталады немесе дене шетінде аяқталады. Демек, денедегі температура изотермиялардың қиылысу бағытында ғана өзгереді. Бірлік ұзындыққа келетін температураның ең үлкен айырымы изотермиялық бетке нормаль бағытта байқалады (1-сурет).

1-сурет. Температуралық градиентті анықтауға арналған сызба-нұсқа

Екі өзара жақын орналасқан изотермиялық беттің температураларының айырымы  $\Delta t$  болсын. Бұл екі беттің ең жақын арақашықтығы нормаль  $\Delta n$  бағытта болады. Екі бет өзара жақындаған сайын температура айырымының нормаль бойынша арақашықтыққа қатынасы өзінің шегіне қарай ұмтылады:

Нормаль бойынша изотермиялық бетке температураның туындысы температуралық градиент деп аталады. Температуралық градиент – вектор. Бағыты температураның арту бағытына сәйкес болады.

Жылудың тасымалдануы осы градиентке кері бағытта пропорционал жүреді.

### **Жылу өткізгіштіктің негізгі заңы**

Жылу өткізгіштік арқылы жылудың тасымалдануына дененің әр түрлі нүктелеріндегі температура айырымының болуы жатады. *Жылу ағынына перпендикуляр бірлік аудан арқылы  $dt$  уақытта тасымалданатын жылу мөлшері температуралық градиентке, бет ауданына, уақытқа тура пропорционал.* Бұл заң жылу өткізгіштіктің негізгі заңы, *Фурье заңы* деп аталады. Жылу өткізгіштіктің негізгі заңы өрнектеледі:

(1.5)

Минус таңбасы жылу ағыны бағытында температура мәнінің төмендейтінін көрсетеді. Температура градиентінің мәні теріс болады. (1.5)-ші теңдеудегі пропорционалдық коэффициент жылу өткізгіштік коэффициенті деп аталады. Ол заттың жылу өткізгіштік қабілеттілігін сипаттайды. Жылу өткізгіштік коэффициентінің өлшем бірлігі (1.5)-ші теңдеуден анықталады:

$$(1.6)$$

немесе

$$(1.7)$$

Қалыпты температура мен қысымда ең жоғарғы жылу өткізгіштерге металдар, ал ең төменгі жылу өткізгіштерге газдар жатады. Мысалы, мыс үшін  $\lambda = 394$  Вт/(м·К), ал ауа үшін  $0^\circ\text{C}$  температурада  $\lambda \approx 0,027$  Вт/(м·К).

Қатты денелердің жылу өткізгіштігі температураның сызықтық функциясы болып табылады:

$$(1.8)$$

мұндағы

Сұйықтықтардың жылу өткізгіштіктері  $0,093-0,698$  Вт/(м·К) аралықтарында болады. Температураны арттырған сайын көптеген сұйықтықтардың жылу өткізгіштігі төмендейді. Сұйықтықтардың жылу өткізгіштігіне қысым мәні әсер етпейді. Температура артқан сайын газдардың жылу өткізгіштігі артып, қысымға байланысты аз өзгереді.

Газдардың жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі мына формуламен анықталады:

(1.9)

мұндағы

### **Жылу өткізгіштіктің дифференциалды теңдеуі**

Фурье теңдеуі бойынша жылу мөлшерін табу үшін температуралық градиент мәнін, жылу өткізгіштік коэффициентін білу қажет, яғни температураның таралуын білу керек. Мұны тек қарапайым денелер (жазық бет, құбыр) үшін ғана орындауға болады. Ал жалпы түрде температураның таралуын жылу өткізгіштіктің дифференциалды теңдеуін шешу арқылы анықтауға болады. Бұл теңдеуді энергияның сақталу заңы негізінде математикалық физика әдістерін қолданып алады. Жалпы түрде жылу өткізгіштіктің дифференциалды теңдеуі өрнектеледі:

(1.10)

Егер процесс кезінде уақыт бойынша температура өзгермесе, онда процесс орныққан болып, (1.10)-шы теңдеу келесі түрде жазылады:

$$(1.11)$$

(1.10)-шы теңдеудегі көбейткіш  $a$  – температура өткізгіштік коэффициент деп аталады. Өлшем бірлігі  $m^2/c$ .

Жылу беру процесінде (1.10)-шы теңдеу жылу өткізгіштік арқылы денелерді қыздыру мен салқындату жағдайларын зерттегенде негізгі теңдеу болып табылады. Сонымен бірге бұл теңдеу жылу өткізгіштік арқылы жылу беру процесінің жалпы түрін сипаттайтындықтан жылу өткізгіштік арқылы жылу таралу процесінің математикалық моделі болып саналады. Нақты бір жағдайға байланысты бұл теңдеуді ұқсастық теориясы элементтерін қолданып бірге шешу қажет.

### **Стационар режимде жазық қабырғаның жылу өткізгіштігі**

Жылу өткізгіштік коэффициенті тұрақты және  $\lambda$ -ға тең қалыңдығы  $\delta$  біртекті қабырғаны қарастырайық (2-сурет). Температураның мәні тек қана  $x$  осі бойынша өзгереді.

**2-сурет.** Жазық қабырғаның жылу өткізгіштігін анықтайтын теңдеуге арналған

**3-сурет.** Бір қабатты цилиндрлі қабырғаның жылу өткізгіштігін анықтайтын теңдеуге арналған



Қабырғаның сыртқы беттеріндегі температура мәндері тұрақты жағдайда ұсталынып тұрады. Ішкі қыздыру көздері жоқ. Осындай жағдайда Фурье заңына сәйкес  $\tau$  уақыт ішінде қабырғаның  $F$  беті бойынша жылу өткізгіштік арқылы тасымалданатын жылу мөлшері өрнектеледі:

(1.12)

Бұдан айнымалы мәндерді бөлеміз:

(1.13)

$Q = \text{const}$  жағдайында (1.13)-ші теңдеуді интегралдасак:

(1.14)

Интегралдау тұрақтысы шекаралық жағдайлардан анықталады:

(1.15)

Алынған (1.15)-ші теңдеу есептеулер жүргізу үшін мынадай түрде де қолданылады:

(1.16)

Жазық қабырға бойымен жылу өткізгіштік арқылы берілетін жылу мөлшері қабырғаның жылу өткізгіштік коэффициентіне, оның бетіне, уақытқа және қабырға сырты температураларының айырымына тура пропорционал да, қабырғаның қалыңдығына кері пропорционал болады.

Көп қабатты жазық қабырға арқылы орныққан жылу ағынының жылу өткізгіштігін есептейтін формула негізінде жазылады. Жалпы түрде теңдеу өрнектеледі:

(1.17)

мұндағы

### **Цилиндрлі қабырғаның жылу өткізгіштігі**

Ұзындығы, ішкі, сыртқы диаметрлері белгілі біртекті цилиндрлі қабырғаны қарастырайық (3-сурет). Жылу өткізгіштік коэффициенті тұрақты болсын. Цилиндрдің ішкі және сыртқы температуралары тұрақты және ( ) болсын. Температура тарамдалған бағытта ғана өзгереді.

Осындай цилиндрлі қабырғадан қалыңдығы  $dr$ , радиусы  $r$  сақиналы қабатты бөліп қарастырайық. Фурье заңына сәйкес мұндай қабат арқылы өтетін жылу мөлшері тең:

(1.18)

Айнымалыларды бөлеміз:

(1.19)

Алынған теңдеуді интегралдасақ:

(1.20)

немесе

(1.21)

бұдан

(1.22)

Алынған (1.22)-ші теңдеу орныққан жылу ағыны үшін біртекті цилиндрлі қабырғаның жылу өткізгіштігін сипаттайды.

Осы теңдеуге сәйкес көп қабатты цилиндрлі қабырға арқылы орныққан жылу ағынының жылу өткізгіштігі сипатталады:

(1.23)

мұндағы  $d_1$  және  $d_2$ ,  $d_2$  және  $d_3$ ,  $d_3$  және  $d_4$  және т.б. – әрбір цилиндрлі қабаттардың ішкі және сыртқы диаметрлері.