

№ 8 дәріс

Масса өтудің модифицирленген теңдеуі

Фазалардың әсерлесу беті қарапайым геометриялық есептеулермен анықталмайды. Сондықтан есептеу жұмыстарында масса өтудің негізгі теңдеуі модифицирленген (түрлендірілген) түрде қолданылады. Мұндай жағдайда аппараттың негізгі техникалық сипаттамалары ретінде көлемі, биіктігі немесе фазалардың әсерлесу деңгейлерінің саны қарастырылады.

Масса өту процесінің модифицирленген теңдеуін шығару үшін аппараттың негізгі техникалық сипаттамасы ретінде биіктігін қарастырайық. Ол үшін аппараттың биіктігін H м, көлденең қимасы ауданын f м², бірлік көлемдегі фазалар әсерлесуінің меншікті бетін σ м²/м³ арқылы белгілейік.

Осы жағдайда аппараттың бүкіл көлемінде фазалардың әсерлесу бетін былай өрнектеуге болады:

(1.1)

Фазалар әсерлесуінің барлық беттері үшін масса өтудің негізгі теңдеуі мен материалдық баланс теңдеулері негізінде мына теңдеуді жазуға болады:

(1.2)

мұндағы Δy_m – орташа қозғаушы күш.

Егер қозғаушы күш сұйық фазадағы таралатын заттың концентрациясы арқылы сипатталса, онда орташа қозғаушы күш өрнектеледі:

(1.3)

Егер қозғаушы күшті газ фазадағы заттың концентрациясы арқылы сипаттаса, орташа қозғаушы күш өрнектеледі:

(1.4)

(1.1, 1.4)-ші теңдеулерді (1.3)-ші теңдеуге қоятын болсақ:

(1.5)

Алынған теңдеуден аппараттың биіктігі анықталады:

(1.6)

Егер қозғаушы күш сұйық фазадағы таралатын заттың концентрациясы арқылы сипатталса, онда (1.6)-шы теңдеу жазылады:

(1.7)

Жоғарыдағы теңдеулердегі G мен L аппараттағы газ бен сұйықтық ағындары.

Алынған (1.6, 1.7)-ші теңдеулердегі интегралдың алдындағы көбейткіш бірлік тасымалдауға сәйкес келетін аппараттың биіктігін көрсетеді:

(1.8)

мұндағы h – бірлік тасымалдау биіктігі (БТБ).

Ал интеграл аппараттың белгілі бір бөлігіне сәйкес бірлік қозғаушы күшке келетін жұмыс концентрацияларының өзгерісін көрсететіндіктен, бірлік тасымалдау саны (БТС) деп аталады:

(1.9)

Интеграл графиктік интегралдау әдісімен анықталады. Бір бірлік тасымалдау саны аппараттың белгілі бір бөлігіндегі жұмыс концентрациясы өзгерісі орташа қозғаушы күшке сәйкес келетін аппарат бөлігіне сәйкес келеді.

Бірлік тасымалдау биіктігі мен бірлік тасымалдау санын ескеріп, жоғарыдағы (1.6, 1.7)-ші теңдеулерді былай жазуға болады

(1.10)

Фаза аралық масса алмасу

Фаза аралық масса алмасу бір мезгілде молекулалық және конвективті диффузиямен жүргізіледі. Конвективті диффузия – тасымалдағыш пен таралатын заттың қозғалыстағы бөлшектерімен орын ауыстыруы немесе тасымалдануы. Фаза массасында немесе фаза ядросында заттың тасымалдануы конвективті диффузия көмегімен, ал шекаралас қабаттарда заттың тасымалдануы молекулалық және конвективті диффузия көмегімен жүреді. Фазалардың бөлу бетінде молекулалық диффузияның әсері арта түседі де, зат массасының тасымалдануы молекула арқылы жүзеге асырылады.

Молекулалық диффузиямен заттың тасымалдануы Фиктің бірінші заңымен анықталады. Бұл заңға сәйкес қабат арқылы диффузияланған зат мөлшері концентрация градиентіне, уақытқа, диффузиялық ағыс бағытына перпендикуляр қабат бетіне тура пропорционал:

(1.1)

мұндағы M – диффузияланған зат мөлшері, кг (кгс); J – диффузия бағытындағы концентрация градиенті; F – заттың диффузиялануы жүретін қабат ауданы, τ – уақыт, с (сағ.); D – диффузия коэффициенті.

Диффузия коэффициенті диффузияланатын заттың, ортаның қасиеттеріне, температураға, қысымға тәуелді. Әрбір зат және белгілі бір орта үшін есептеулерде диффузия коэффициенті мәні анықтамалық әдебиеттерден алынады

Диффузия коэффициентінің өлшем бірлігі (1.1)-ші теңдеуден анықталады:

(1.2)

Конвективті диффузия

Конвективті диффузияда заттың тасымалдануы тасымалдағыш пен таралатын заттың қозғалыстағы бөлшектерімен жүзеге асырылады. Молекулалық диффузияға қарағанда конвективті диффузия арқылы масса алмасу процесінің қарқындылығы жоғары болады.

Сондықтан конвективті диффузияның практикалық маңызы өте зор. Конвективті диффузияда затты беретін фазадан фазалардың бөлу бетіне (немесе фазалардың бөлу бетінен затты қабылдайтын фазаға) тасымалданатын зат мөлшері фазалардың әсерлесу бетіне, уақытқа, жеке қозғаушы күшке, яғни бөлу беті мен фазадағы таралатын заттың концентрацияларының айырымына тура пропорционал:

(1.1)

мұндағы F – фазалардың әсерлесу беті, m^2 ; τ – уақыт, с (сағ); Δc – процестің жеке қозғаушы күші; β – масса беру коэффициенті.

Масса беру коэффициентінің өлшем бірлігі (1.1)-ші теңдеуден анықталады. Халықаралық бірлік жүйесінде (СИ):

(1.2)

мұндағы қ.к.б. – қозғаушы күш бірлігі.

Процестің қозғаушы күші көлемдік концентрацияларының айырымы арқылы өрнектелсе, масса беру коэффициентінің өлшем бірлігі – $[m/c]$.

Процестің қозғаушы күші салыстырмалы салмақтық (кг/кг) концентрацияларының айырымы арқылы өрнектелсе, масса беру коэффициентінің өлшем бірлігі – $[kg/m^2 \cdot c]$.

Процестің қозғаушы күші парциалды қысымдардың айырымы арқылы өрнектелсе $\Delta p = p - p_{m-m}$ н/м², масса беру коэффициентінің өлшем бірлігі – $[c/m]$.

Конвективті масса алмасудың ұқсастық сандар теңдеулері

Масса беру коэффициенті көптеген айнымалы шамалардың функциясы болып табылады. Бұл айнымалылардың аралығындағы тәуелділік ағыстағы массаның тасымалдануы молекулалық және конвективті диффузиямен жүзеге асырылатын масса алмасудың дифференциалды теңдеуімен сипатталады:

(1.1)

Бұл теңдеу диффузияның шекаралық жағдайларымен толықтырылады. Фазадан фазалардың бөліну шекарасына қарай тасымалданатын зат мөлшері конвективті диффузия теңдеуімен анықталады:

Фазалардың бөліну бетінде осы зат мөлшері екінші фазаға молекулалық диффузия арқылы тасымалданып, молекулалық диффузия теңдеуімен анықталады:

Осы екі теңдеулерді салыстырсақ:

(1.2)

Алынған теңдеу (3.44) фазалардың бөліну шекарасындағы жағдайлардың математикалық өрнектелуін сипаттайды.

Конвективті масса алмасудың дифференциалды теңдеулерінің көптеген жағдайда аналитикалық шешімін табу мүмкін емес.

Сондықтан ұқсастық теориясы әдісімен олардан бір фазалы ағыстағы масса өтудің ұқсастық сандар теңдеулерін алады да, осы теңдеулерден масса беру коэффициентін анықтайды. Ұқсастық теориясы әдісімен (1.2)-ші теңдеуден фазалардың шекарасындағы заттар алмасуын сипаттайтын, өлшем бірлігі жоқ ұқсастық саны алынады:

(1.3)

Бұл алынған ұқсастық саны шекаралас бөліктердегі жылу алмасу процесін сипаттайтын Нуссельт ұқсастық санына ұқсас болғандықтан, оны да осылай белгілейді:

(1.4)

мұндағы Nu' – Нуссельттің диффузиялық ұқсастық саны; β – масса беру коэффициенті; l – белгілі бір сызықтық өлшем, м; D – диффузия коэффициенті, m^2/s .

Диффузиялық процестің екінші ұқсастық санын конвективті масса алмасудың дифференциалды теңдеуінен алады. Қарапайым түрде тек қана x осі үшін жазуға болады:

(1.5)

Алынған өрнектен өлшем бірліксіз комплекс алынады:

(1.6)

Алынған комплекс Пекле диффузиялық ұқсастық саны деп аталады:

(1.7)

мұндағы Pe' – Пекле диффузиялық ұқсастық саны; w – сұйықтық қозғалысы жылдамдығы, м/с.

Пекле ұқсастық саны қозғалыстағы ортада заттардың алмасуын сипаттайды және бұл ұқсастық сан Пекле жылулық ұқсастық санына ұқсас. Диффузиялық ұқсастық гидродинамикалық ұқсастықпен байланысты. Функционалдық тәуелділікке аппараттың әртүрлі геометриялық өлшемдерінің қатынасын көрсететін $\Gamma = l_1/l_0$ геометриялық ұқсастық симплексі де енгізілуі қажет:

(1.8)

Пекле ұқсастық санының орнына ұқсас Прандтль жылулық ұқсастық санын қолдануға болады:

(1.9)

Нуссельт диффузиялық ұқсастық санына белгісіз шама масса беру коэффициенті кіретіндіктен, анықталмайтын параметрге жатады. Сондықтан оны анықталатын ұқсастық сандардың функциясы ретінде жазуға болады:

(1.10)

Дәреже көрсеткіштері мен тұрақтысының мәндері тәжірибе жүзінде анықталады. Масса беру коэффициентінің мәнін Нуссельт диффузиялық ұқсастық санынан анықтайды:

(1.11)