

Дәріс № 9

Сұйық орталарды араластыру

Сұйық орталарды, қатты паста тәрізді және сусымалы материалдарды араластыру – химиялық технологияда кең тараған процестердің бірі. Техникада көбінесе сұйық орталарды араластыру жиірек қолданылады.

Сұйық орталарды араластыру процесі – механикалық араластырғыш көмегімен ортаға берілетін импульс әсерінен сұйық орта көлемінің макроскопиялық элементтерінің көп қайтара салыстырмалы араласуы.

Сұйық орталарды араластыру келесі негізгі міндеттерді шешу үшін қажет: 1) жылу және масса беру процестерін қарқындату үшін; 2) сұйықтық көлемінде қатты бөлшектерді біркелкі тарату үшін (суспензия дайындауда); 3) сұйықтықты сұйықтықта біркелкі майдалап тарату үшін (эмульсия дайындауда); 4) газды сұйықтықта біркелкі тарату үшін (барботаж процесінде).

Араластырғыш құрылғылары бар аппараттар химиялық технологияда буландыру, кристалдандыру, абсорбция, экстракциялау тағы басқа процестерді жүргізу үшін кеңінен қолданылады.

Араластыру кезінде аппарат толтырылған ортада температура мен концентрация градиенттері минималды мәніне ұмтылады. Сондықтан араластырғыш құрылғылары бар аппараттар, мысалы, ағын құрылымы бойынша идеалды араластыру моделіне жақын келеді.

Сұйық орталарда араластыруды әртүрлі әдістермен жүзеге асыруға болады: араластырғыштың айналмалы немесе тербелмелі қозғалыстарымен (механикалық араластыру); сұйықтық қабаттары арқылы газдың барботажымен (пневматикалық араластыру); тұйықталған тізбек бойынша сұйықтықты насос көмегімен тасымалдау (айналдыра араластыру).

Араластыру процесі қарқындылығымен және тиімділігімен, сондай-ақ араластыруды жүргізуге қажетті энергия шығынымен сипатталады.

Араластыру қарқындылығы араластыратын сұйықтықтың бірлік массасына немесе бірлік уақытта араластыратын сұйықтықтың бірлік көлеміне берілетін энергия мөлшерімен анықталады. Араластыру қарқындылығы аппараттағы сұйықтық қозғалысының түрін анықтайды. Араластыру қарқындылығын арттыру әр уақытта энергия шығынын жоғарылатады. Алайда араластыру қарқындылығын арттырудан технологиялық тиімділік арасындағы тәуелділік белгілі бір аралықта ғана шектелген. Сондықтан араластыру қарқындылығын энергия шығынының минималды мәнінде технологиялық тиімділіктің максималды мәні болатын жағдайдан анықтайды..

Араластыру тиімділігі дегеніміз процесті жүргізу сапасын сипаттайтын араластыру процесінің технологиялық нәтижесі. Араластыру түріне қарай бұл сипаттаманы әртүрлі өрнектейді. Мысалы, жылу, масса алмасу және химиялық процестерді қарқынды жүргізу үшін араластыруды қолданғанда, процесс тиімділігін араластыру кезіндегі және араластыру жоқ жағдайдағы кинетикалық коэффициенттердің қатынасы түрінде қарастырады.

Механикалық араластыру

Араластырғышы бар аппараттағы сұйықтық қозғалысы

Өнеркәсіпте араластыру үшін негізінен айналмалы қозғалатын механикалық араластырғыштарды қолданады. Мұндай араластырғыштардың жұмысында сұйықтықтың айналмалы жылдамдығында үш өлшемді (тангенциалды, тарамдалған, аксиалды немесе ось бойынша) күрделі ағыны пайда болады. Араластырғыштардың барлық түрінде тангенциалды ағын ең алдымен пайда болады. Тангенциалды немесе айналмалы жылдамдықтың орташа мәні тарамдалған және ось бойынша қозғалыс жылдамдығының орташа мәнінен әлдеқайда жоғары.

Сұйықтықтың айналмалы жылдамдығы үшін Навье-Стокс тендеулер жүйесі келесі түрде жазылады:

(1.1)

Жазықтық бойынша немесе z осі бойынша айналмалы қозғалыс үшін (1.1)-ші тендеулер жүйесін былай жазуға болады:

(1.2)

Егер $r=0$ болса, онда $w=0$, сәйкесінше $C = 0$. Орныққан қозғалыста араластырып жатқан массаның ортаңғы аймағы үшін $w = \omega r$ (мұндағы ω – бұрыштық жылдамдық). Сонымен сұйықтықты айналдыра қозғалтатын ось бойына $0 < r < r$ аймағында радиусы r цилиндрлі құйын пайда болады. Мұндай аймақтан тыс айналмалы жылдамдық мәні тең: $w=C /r$, бұдан $C = \omega r$. Олай болса шет жақтағы аймақ үшін айналмалы жылдамдық мәні тең:

(1.3)

Айналдыра араластыратын араластырғышы бар аппараттағы сұйықтық қозғалысының айналмалы жылдамдығының теория жүзіндегі және тәжірибе нәтижесінде алынған қисықтарын салыстыру арқылы орталық құйын аймағы I мен шет жақтағы аймақтар II аралығында ауыспалы аймақтың болатындығын көруге болады (1-сурет):

1-сурет. Араластырғышы бар аппараттағы сұйықтық қозғалысының айналмалы жылдамдығының теория жүзіндегі және тәжірибе нәтижесінде алынған қисықтары: I – орталық цилиндрлі құйын аймағы; II – ауыспалы аймақ;
III – шеткі аймақ

Кез-келген құрылымды араластырғыштың жиілігі жоғары айналмалы қозғалысында пайда болатын ортадан тепкіш күш әсерінен араластырғыш қалқандарынан сұйықтық тарамдалып ағады. Сұйықтықтың бұл ағыны ыдыс қабырғасына жеткен мезетте екіге бөлінеді: бірі жоғары, екіншісі төмен қарай қозғалады.

Тарамдалған ағынның пайда болуы ауыспалы аймақта төмен қысымды аймақы тудырады да, осы аймаққа беткі және төменгі бөліктерден сұйықтықтың қозғалысын арттырады. Нәтижесінде ыдыстың жоғарғы бөлігінен жоғарыдан төмен араластырғышқа қарай ось бойынша ағын пайда болады. Сонымен, аппаратта орныққан ось бойынша ағын немесе орныққан айналым қалыптасады.

Араластырғышы бар аппараттағы бірлік уақыттағы айналып өтетін сұйықтық көлемі араластырғыштың маңызды сипаттамаларының бірі болып табылатын *насос эффектісі* деп аталады. Насос эффектісі жоғары болған сайын аппаратта араластыру процесі қарқынды жүреді. Араластырғыш әсерінен тарамдалған ағын басымырақ пайда болған жағдайында насос эффектісі келесі формуламен сипатталады:

(1.4)

Геометриялық ұқсас араластырғыштар үшін b/d қатынасы тұрақты шама болғандықтан, жоғарыдағы өрнекті былай жазуға болады:

(1.5)

Араластырғыш әсерінен ось бойынша ағын басымырақ пайда болған жағдайында насос эффектісі келесі өрнекпен сипатталады:

(1.6)

Насос эффектісінің араластырғыш құрылымы мен айналым жиілігіне тәуелділігі жоғары. Насос эффектісіне сұйықтық тұтқырлығы едәуір әсерін тигізеді. Тұтқырлық артқан сайын насос эффектісі кемиді де, араластыру процесінің қарқындылығы төмендейді.

Сұйық ортаны механикалық араластыру жағдайында араластырғыш үшін Рейнольдстің түрлендірілген ұқсастық саны өрнектеледі:

(1.7)

Ламинарлы қозғалыста ($Re < 10$) араластырғышы бар аппараттарда баяу қозғалатын ерікті айналымды үш өлшемді ағын пайда болады. Араластырғыш валының диаметрінен құйын диаметрі кіші болғандықтан орталық цилиндрлі құйындар пайда болмайды. Мұндай аппаратта шеткері және ауыспалы аймақтар түзіледі.

Ағын турбулентті қозғалысқа ауысқан сайын ($10 < Re < 10^5$) еріксіз айналым пайда болады да, аппаратта тек қана шеткері және ауыспалы аймақтар түзіліп қоймай, орталық цилиндрлі құйындар да пайда болады.

Орныққан турбулентті қозғалыс ($Re < 10^5$) жағдайында еріксіз айналым аппараттағы бүкіл массаның қарқынды үш өлшемді ағынын тудырады. Орталық цилиндрлі құйынды аймақ одан әрі жетіліп, шетекрі және ауыспалы аймақтарға да жетеді. Жоғарыда келтірілген әртүрлі режим үшін Рейнольдстің түрлендірілген ұқсастық санының мәндері араластырғыш пен аппараттың түріне, құрылымына тәуелді болады.

Араластыру процесіне жұмсалатын энергия мөлшері

Сұйықтықты айналдыра қозғалысқа келтіретін араластырғыш қалқанын қарастырайық (2-сурет). Ньютон заңына сәйкес кедергі күші тең:

$$(1.1)$$

Сұйықтық қозғалмайтын жағдайда және араластырғыштың айналым жылдамдығы $w = \omega r$ қалқан ұзындығы бойынша өзгертін болсын. Белгілі бір бет элементіне әсер ететін кедергі күші тең:

$$(1.2)$$

Осы жағдайда араластыруға жұмсалатын қуат тең:

(1.3)

немесе

(1.4)

Бұл өрнектегі (1.4-теңдеу) b шамасын араластырғыш диаметрінен үлес ретінде өрнектеуге болады:

Араластырғыш радиусы диаметрдің жартысына тең екендігін ескерсек, жазылады:

(1.5)

Жоғарыдағы теңдеудегі:

(1.6)

бұдан

(1.7)

Бұл шаманы қуаттың ұқсастық саны немесе Эйлердің түрлендірілген ұқсастық саны деп атайды (араластырғыштар үшін). Сондай-ақ бұл шаманы Эйлердің ортадан тепкіш ұқсастық саны деп атайды.

Себебі Эйлер ұқсастық саны тең:

Сұйық ортада араластырғыштың айналмалы қозғалысында гидравликалық кедергі тең:

Олай болса:

Бұдан сұйық орталарды араластыру процестері үшін гидродинамиканың жалпылама теңдеуі жазылады:

(1.8)

мұндағы араластыру процесі үшін Фруд ұқсастық саны:

Ауырлық күшінің әсері тым аз болса, онда (1.8)-ші теңдеу жазылады:

(1.9)

Кең тараған араластырғыштардың түрлері үшін Рейнольдс ұқсастық санынан араластырғыш қуаты арасындағы тәжірбие жүзінде алынған тәуелділік қисықтары әдебиетте келтірілген.

Араластырғыштардың құрылымдары

Араластырғыштарды айналу жылдамдығына қарай екі топқа бөледі: баяу қозғалатын (якорные, рамные: қалқандарының ұшындағы айналу жылдамдығы 1 м/с) және жылдам қозғалатын (пропеллерные, турбинные және басқалары айналу жылдамдығы 10 м/с).

Араластыруға арналған аппараттар көбінесе тігінен орналасқан араластырғышы бар ыдыс болып келеді. Араластырғыштың айналу осі аппарат осімен сәйкес келеді.

Тұтқырлығы біршама төмен сұйықтықтарды араластыру үшін баяу қозғалатын араластырғыштарды қолданады. Мұндай араластырғыштар үшін () қатынасы 1,05 – 1,25 шамалары аралығында болғандықтан суспензияларды араластыру үшін қолданады. Жылдам қозғалатын араластырғыштар үшін (). Мұндай араластырғыштар ось бойынша айналмалы ағынды тудыруға ықпал етеді.

Пневматикалық араластыру. Араластырудың мұндай әдісін сұйықтық арқылы газ немесе бу ағынын өткізу арқылы жүргізеді. Бу ағынын өкізгенде араластыру процесі бір мезгілде қыздыру процесімен қоса жүргізіледі. Ауа көмегімен араластыру процесін сығылған ауаны қолданып жүзеге асырады.