

PDFәл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

Химия және химиялық технология факультеті

Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасы

«Сұйықтар механикасы»

пәні бойынша

№ 1 зертханалық жұмыс

**Ауырлық күші әсерінен қатты
бөлшектердің сұйық ортада тұнуы**

«6B05314 – Мұнайхимия және химмотология» білім беру бағдарламасы

Құрастырған:

Х.Ғ.К., доцент

Ешова Ж.Т.

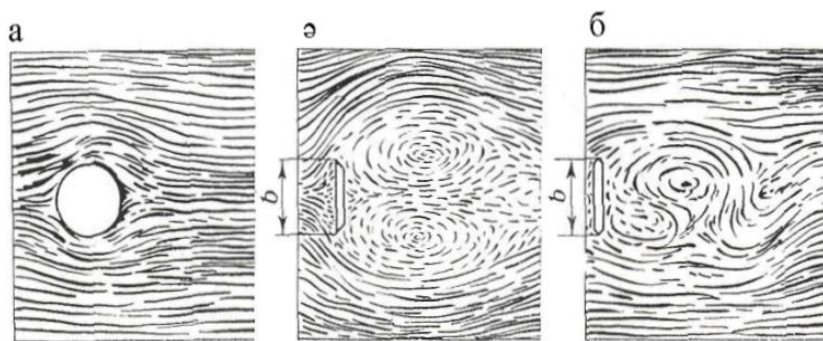
Алматы

№ 1 зертханалық жұмыс

АУЫРЛЫҚ КҮШІ ӘСЕРІНЕН ҚАТТЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ СҰЙЫҚ ОРТАДА ТҰНУЫ

Орта кедергісінің жалпы заңы

Техникада қатты бөлшектерді сұйық немесе газды ортада гидродинамикалық тұндыру процесі кеңінен тараған. Қатты бөлшектердің сұйық немесе газды ортада қозғалысының физикалық сипаттамалары жүйенің реологиялық қасиеттеріне ғана тәуелді емес, кедергі заңы мен тұндыру жағдайларына (1.1-сурет) байланысты басқа да көптеген факторларға тәуелді.



1.1-сурет. Әр түрлі режимде алуан пішінді денелердің тұнбаға түсуінің
сызба-нұсқасы: а – цилиндр; ә – ұштары өткір табақша ($Re = 10$);
б – ұштары өткір табақша ($Re = 250$); б – бөлшектің геометриялық өлшемі

Қатты бөлшектердің сұйықтық немесе газ ағынымен қозғалысында гидравликалық кедергілерді сан жүзінде анықтау үшін ең алдымен қозғалыс режимі мен кинетикалық энергияның әлсіреуі аралығындағы байланысты орнықтыру қажет.

Қозғалыстағы ағында болатын кедергі күшін жалпы түрде келесі теңдеумен сипаттауға болады:

$$F_k = C \frac{\rho w_0^2}{2} f, \quad (1.1)$$

мұндағы F_k – кедергі күші; f – қозғалыс бағытына перпендикуляр, қатты бөлшектің жазықтыққа түсірілген кескінінің ауданы; ρ – ортаның тығыздығы; w_0 – бөлшектен тысқары ортаның жылдамдығы; C – жалпы кедергі коэффициентінің мәнін білдіретін пропорционалдық коэффициент.

(1.1)-ші теңдеуді келесі түрде жазуға болады:

$$\frac{F_k}{f} = \frac{C \rho w_0^2}{2}, \quad (1.2)$$

Бұл (1.2)-ші теңдеу қозғалыстағы бөлшек жеңетін кедергілерге байланысты болатын қысымның өзгеруі (кедергі күшінің бөлшек қимасының бірлік

ауданына қатынасы) мен қозғалыс кедергісін жеңуге жұмсалатын кинетикалық энергияның үлесін сипаттайды.

Толық кедергі күші қарсы кедергі мен үйкеліс күші кедергісінің қосындысынан құралатындықтан

$$F_{\text{е}} = F_{\text{е.е.}} + F_{\text{оéе}}, \quad (1.3)$$

жалпы кедергі коэффициентін де келесі теңдеумен өрнектеуге болады:

$$\zeta = \zeta_{\text{к.к.}} + \zeta_{\text{үйк}}, \quad (1.4)$$

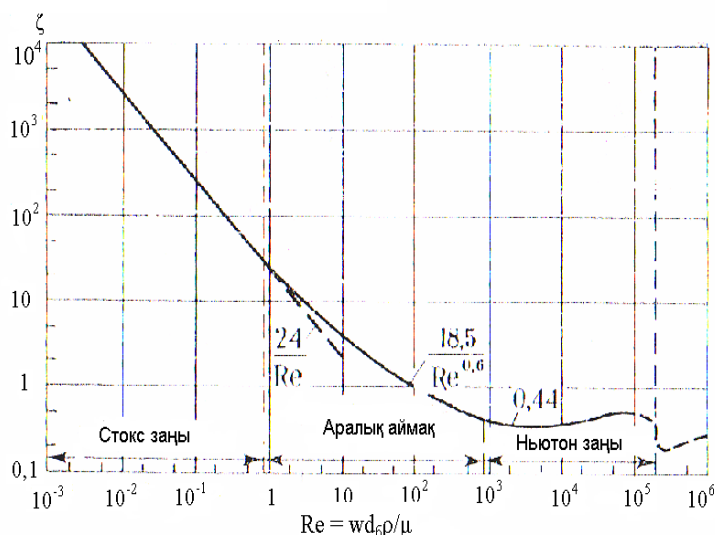
мұндағы $\zeta_{\text{к.к.}}$ – көбінесе пішін коэффициенті деп аталатын қарсы кедергі коэффициенті; $\zeta_{\text{үйк}}$ – үйкеліс коэффициенті.

Ламинарлы ағыста бөлшек ағынмен бір қалыпты айнала қозғалады да, энергия бұл жағдайда негізінен тек қана үйкелісті жеңуге жұмсалады. Турбулентті қозғалыста инерция күштері басым болып, жылдамдық артқан сайын тұнатын бөлшек бетінің пішініне тәуелді қарсы кедергінің мәні арта түседі. Рейнольдс ұқсастық саны белгілі бір мәнге жеткенде үйкеліс кедергісін ескермеуге болады және осы жағдайда энергияның негізгі шығыны қарсы кедергіні жеңуге жұмсалады. Соған сәйкес әр түрлі гидродинамикалық режимдерде кедергі коэффициентін есептеуге арналған теңдеуді тәжірибе мәліметтерін өңдеу арқылы гидродинамикалық ұқсастық сандары аралығындағы жалпылама тәуелділік түрінде сипаттауға болады.

Жалпылама тәуелділік сипатталады:

$$\zeta = f(\text{Re}). \quad (1.5)$$

Диаметрі d_0 шар тәріздес бөлшектің тұнуы үшін мұндай функцияның түрі көптеген тәжірибе нәтижелері негізінде 1.2-суретте келтірілген (бұл тәуелділікті Релей қисығы деп атайды).



1.2-сурет. Шар тәріздес бөлшектердің тұнбаға түсу режимінен кедергі коэффициентінің тәуелділік графигі

Тәжірибе нәтижелерін дәреже көрсеткіші түрінде сипаттауға болады $\zeta = A / \text{Re}^n$ (Стокс заңы үшін $A = 24$, ал $n = 1$).

Сылдырай ағатын ағын аймағында ($Re < 0,1$) кедергі күшінің әсері Стокс заңына бағынады. Навье-Стокс теңдеулер жүйесі мен шар тәріздес бөлшектер үшін біртұтас ағын теңдеуін аналитикалық шешу арқылы кедергі коэффициенті келесі теңдеуден анықталады:

$$\zeta = 24 / Re \quad (1.6)$$

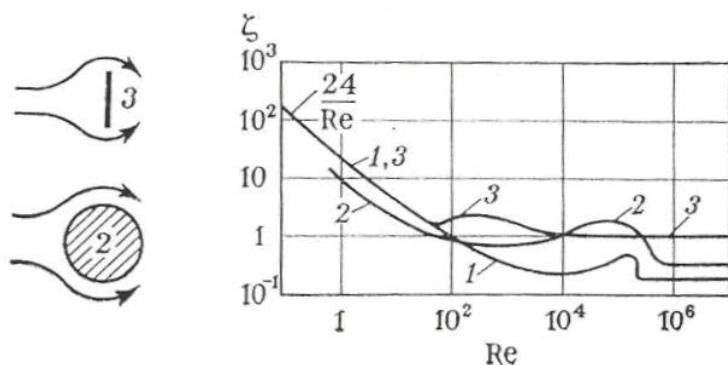
Логарифмдік координаталарда бұл тәуелділікке $24/Re$ тура бөлік сәйкес келеді. Шар тәріздес бөлшектердің айнала ағынында (немесе тұнуында) $\zeta = f(Re)$ графигінде ламинарлы ағыннан турбулентті ағынға өту ағынның құбырлардағы қозғалысындағы сияқты айқын білінбейді.

Ағынның орныққан турбулентті ($5 \cdot 10^2 < Re < 2 \cdot 10^5$) аймағында үйкеліс кедергісін ескермеуге болады және осы жағдайда қарсы кедергінің күші арта түседі. Автомодельдік орныққанда (Re мәні бойынша) кедергі коэффициентін тұрақты деп есептеуге болады ($\zeta = 0,44$). $\zeta = f(Re)$ функциясындағы бұл аймаққа Ньютон заңы сәйкес келеді.

Стокс заңы бойынша $Re < 2$ жағдайында кедергі коэффициентінің мәні келесі формуладан анықталады:

$$\zeta = 18,5 / Re^{0,6} \quad (1.7)$$

Бұл эмперикалық формула Аллен теңдеуі деп аталады. Ауыспалы кезең ($2 < Re < 5 \cdot 10^2$) аймағы кедергінің Рейнольдс ұқсастық санынан азғантай тәуелділігімен сипатталады.



1.3-сурет. Өр түрлі пішінді бөлшектердің қозғалысы үшін ортаның кедергі коэффициенті:
1 – шар; 2 – цилиндр; 3 - диск

Қарастырылған ортаның кедергі заңы қатты шар тәріздес бөлшектердің ерікті қозғалысын сипаттайды. Пішіні шар тәрізді емес реалды бөлшектердің кедергісі (1.3-сурет) қосымша пішін факторына ψ (сфералылық коэффициенті) тәуелді болады.

Дұрыс емес пішінді бөлшектер үшін пішін факторы ψ реалды бөлшектікі сияқты көлемі дәл сондай шар бетінің f_u , бөлшек бетіне f қатынасы арқылы анықталады:

$$\psi = f_u / f = 4,878 V^{2/3} / f. \quad (1.8)$$

Шар беті көлемі бөлшек көлеміне тең келетін эквивалентті диаметр бойынша анықталады. Бұл шама сипатталады: $d_y = \sqrt[3]{6V_d / \pi}$.

Бұдан шар беті анықталады: $f_o = \pi(6V_a / \pi)^{2/3}$.

Сонымен, химиялық технология процестерінде өңделетін және пішіні мен мөлшері бойынша ерекшеленетін қатты бөлшектер үшін кедергі коэффициенті мынадай жалпылама тәуелділікпен сипатталады:

$$\zeta = f(\text{Re}, \psi). \quad (1.9)$$

Кейбір геометриялық денелер үшін пішін факторының мәні 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Кейбір геометриялық денелер үшін пішін факторының мәні

Бөлшек пішіні	Ψ	Бөлшек пішіні	Ψ
шар	1,00	Призма ($a \times a \times 2a$)	0,767
куб	0,806	цилиндр ($h = 10r$)	0,691
Цилиндр ($h = 3r$)	0,860	цилиндр ($h = 20r$)	0,580

мұндағы h – биіктік; r – радиус; a – ұзындық.

Сфера тәрізді емес бөлшектер үшін кедергі коэффициентін дөңгелек бөлшектерге арналған (1.6)-шы теңдеуге ұқсас теңдеу бойынша анықтауға болады:

$$\zeta = A / \text{Re}, \quad (1.10)$$

мұндағы $A = f(\psi)$.

Сфера тәрізді емес бөлшектердің ламинарлы айналып ағуы үшін келесі эмпирикалық теңдеуді қолдануға болады:

$$A = \frac{24}{0,843 \lg(\psi / 0,065)}. \quad (1.11)$$

Шар тәріздес бөлшектер үшін (1.11)-ші теңдеуден $A = 24$ ($\psi = 1$) және бұл жағдайда (1.10)-шы өрнек (1.6)-шы теңдеуге айналады.

Турбулентті айналып ағуда кедергі коэффициенті тек қана пішін факторына тәуелді:

$$\zeta = 5,31 - 4,88\psi. \quad (1.12)$$

Шар тәріздес бөлшектер үшін ($\psi = 1$) (1.12)-шы теңдеуден алынады $\zeta = 0,43$.

Орта кедергісінің жалпы заңы осы ортада қатты бөлшектердің қозғалысы тудыратын күштердің табиғатына тәуелді емес.

Тұндыру жылдамдығы

Ұсақ дисперсті қатты бөлшектерді газ немесе сұйық ортада тұндырғанда, мысалы, газдарды тазартуда, суспензияларды бөлуде процестің негізгі сипаттамасы ретінде тұндыру жылдамдығы алынады.

Тұнбаға түсіру дегеніміз газда немесе сұйықтықта қатты немесе сұйық жүзгін бөлшектерді тұтас фазадан ауырлық күші, инерция күштері немесе электростатикалық күштер әсерінен бөлу процесі. Ауырлық күші әсерінен тұнбаға түсіру тұндыру деп аталады. Бұл процесс негізінен біртекті жүйелерді алдын-ала бөлу үшін қолданылады.

Ауырлық күші әсерінен төмен қарай қозғалған бөлшек өзінің жылдамдығын ортаның кедергісі ауырлық күшіне теңескенге дейін арттырады. Бұдан ары бөлшек тұрақты жылдамдықта бірқалыпты қозғалады. Бұл тұрақты жылдамдықты еркін тұндыру жылдамдығы W_m деп атайды.

Сонымен, бөлшек төмен түскен жағдайда оның қозғалысы үш кезеңнен құралады: 1) төмен түсудің бастапқы мезеті; 2) жылдамдығын арттырып қозғалу; 3) тұрақты жылдамдықпен бірқалыпты қозғалу. Жылдамдықтың $W = 0$ -ден $W = W_c = W_m$ мезетіне дейін артуы (W_c – соңғы жылдамдық) өте қысқа уақыт аралығында өтеді (мысалы, диаметрі 10 мкм, тығыздығы $\rho_d = 2700 \text{ кг/м}^3$ тозаң бөлшегі тұрақты жылдамдыққа 0,006 секунд ішінде жетеді), сондықтан техникалық есептеулер үшін дененің тек қана үшінші кезеңдегі қозғалысы қарастырылады.

Ауырлық күші әсерінен тұндыру жылдамдығын анықтау үшін әр түрлі пішіндегі бөлшектерді ламинарлы, ауыспалы кезеңдегі, турбулентті режимдерде тұндыруға арналған жалпылама теңдеуді қолданады:

$$W_m = \sqrt{\frac{4(\rho_d - \rho)gd_d}{3\rho\zeta}}, \quad (1.13)$$

мұндағы d_d – тұндыратын бөлшек диаметрі, м; ρ_d и ρ – бөлшек және орта тығыздықтары, кг/м^3 ; ζ – кедергі коэффициенті.

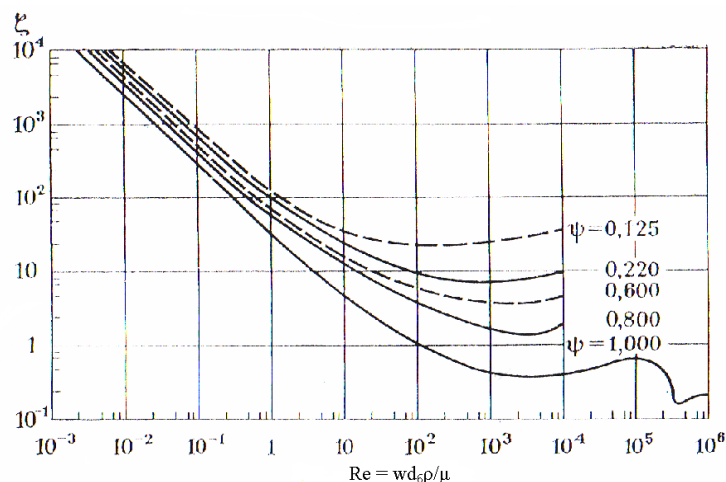
Кедергі коэффициентін 1.4-сурет бойынша анықтауға болады. Шар тәріздес жеке бөлшектің ламинарлы режимде тұндыру жылдамдығын келесі формуладан анықтауға болады:

$$W_m = \frac{d_d^2(\rho_d - \rho)g}{18\mu}. \quad (1.14)$$

(1.14)-ші теңдеу Стокс формуласы деп аталады және мына аймақта $10^{-4} < \text{Re} < 2$ қолданылады.

Тұндыру режимін айқындауда, соған сәйкес тұндыру жылдамдығын есептеуде формуланы таңдау үшін құрамына тұндыру жылдамдығы W_m енетін Рейнольдс ұқсастық санының шамасын білу қажет. Сол себебі (1.13) және (1.14)-ші теңдеулерді жүйелі жуықтау әдісімен тұндыру жылдамдығын анықтауда қолдануға болады. Бұл дегеніміз есептеудің бірінші сатысында режим ламинарлы деп алып тұндыру жылдамдығын анықтау, ал содан кейін жылдамдық мәні бойынша Рейнольдс ұқсастық санын анықтау арқылы

тұндыру режимінің аймағын тексеру. Егер алынған нәтижелер сәйкес келмесе, есептеудің екінші сатысына көшу және ары қарай нәтижелер сәйкес болғанша есептеулер жүргізу.



1.4-сурет. Ортаның кедергі коэффициентінің ауырлық күші әсерінен тұнатын бөлшектің пішін факторынан және Рейнольдс санынан тәуелділігі

Алайда мұндай көп еңбекті қажет ететін есептеу әдісінің орнына тұндыру жылдамдығын анықтау үшін Лященко әдісімен (1.13)-ші теңдеуді түрлендіруге болады. Лященко әдісі (1.13)-ші теңдеуге $W_0 = Re \mu / (d_0 \rho)$ өрнегін қою арқылы алынған теңдеудің екі жағын да квадраттауға негізделген, бұдан келесі өрнекті жазуға болады:

$$\zeta Re^2 = \frac{4}{3} \frac{d_0^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}. \quad (1.15)$$

Алынған (1.15)-ші теңдеудің оң жағы Архимед ұқсастық санын сипаттайтындықтан, жазылады:

$$\zeta Re^2 = \frac{4}{3} Ar. \quad (1.16)$$

Архимед ұқсастық санының шамасын біле отырып (мөлшері белгілі бөлшекті тұндыру үшін), Лященко графигі бойынша (1.5-сурет) Рейнольдс ұқсастық санының мәнін анықтауға болады. Бұдан әрі тұндырудың зерттеліп отырған жылдамдығы анықталады.

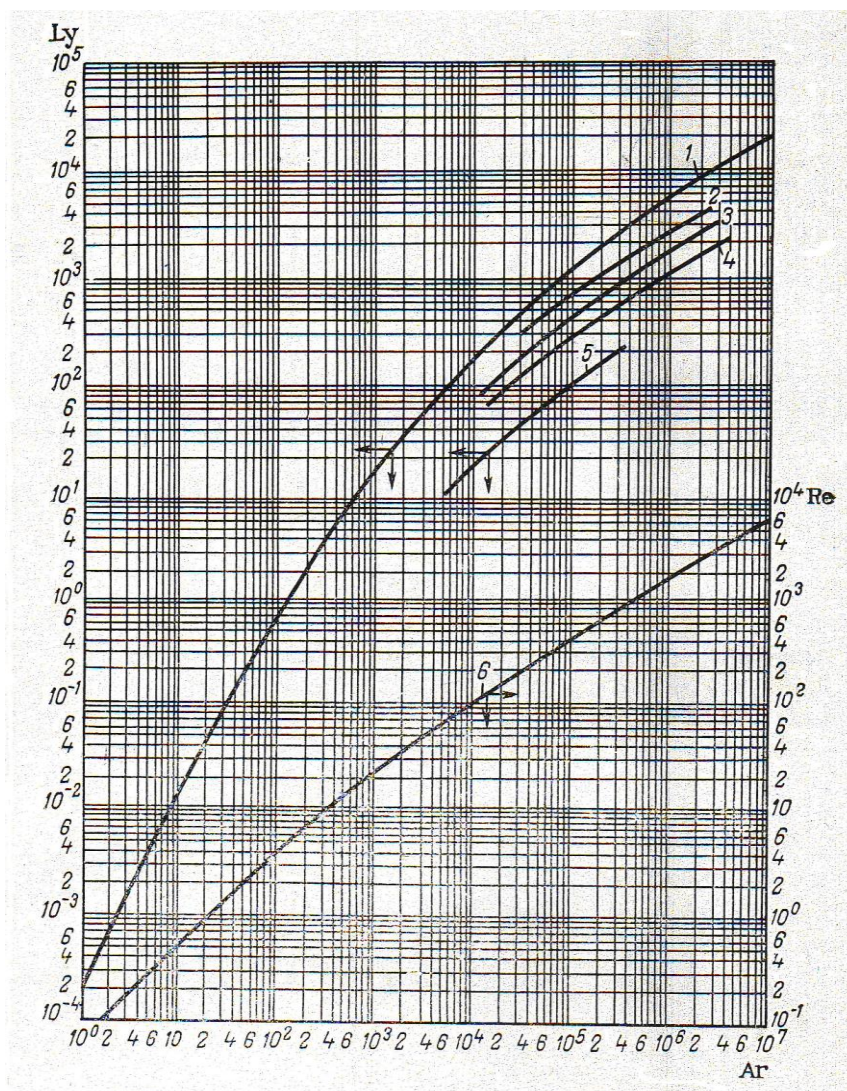
Кедергі коэффициентінің ζ шамасы тұндыру режиміне тәуелді, сондықтан бір тұндыру аймағының екінші тұндыру аймағына ауысуына сәйкес келетін Архимед ұқсастық санының шекаралық мәндерін анықтауға болады.

Тұндырудың ламинарлы режимі аймағында ($Re < 2$, яғни Стокс заңымен сипатталатын жағдайда) $\zeta = 24 / Re$ және бұл мезетте (1.14), (1.16)-шы теңдеулер өрнектеледі:

$$Re = Ar / 18 \text{ немесе } Re = 0,056 Ar. \quad (1.17)$$

Ньютон заңы орындалатын аймақта (Re ұқсастық санының автотомельді жағдайында) $\zeta = 0,44$, соған сәйкес (1.16)-шы теңдеу өрнектеледі:

$$Re = 1,74 \cdot Ar^{0,5} \quad (1.18)$$



1.5-сурет. Ly және Re ұқсастық сандарының Ar санынан тәуелділігі:
1, 6 – шар тәріздес бөлшектер; 2 – дөңгелектенген; 3 – қырлы;
4 – сопақша; 5 – жұқалап қатпарланған бөлшек үшін

Ауыспалы кезең аймағында Архимед ұқсастық санының жоғарғы шектік мәні $Re = 500$ мәніне сәйкес келеді және келесі теңдеуден есептеледі

$$Re = 0,152 \cdot Ar^{0,715} \quad (1.19)$$

Ауыспалы режимде Архимед ұқсастық санының мәні мына аралықта болады:
 $36 < Ar < 8,3 \cdot 10^4$.

Жеке бөлшектің тұндыру жылдамдығын жуықтап есептеу үшін Ar және Re ұқсастық сандарын байланыстыратын интерполяциялық жартылай эмпирикалық тәуелділік өрнектеледі:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,61Ar^{0,5}} \quad (1.20)$$

Шар тәріздес емес бөлшектерді тұндыру процесінің жуықталған есептеулерін былай жүргізуге болады:

А) Егер шар тәріздес емес бөлшектің тұндыру жылдамдығын анықтау қажет болса, онда алдымен көлемі белгілі бөлшектің эквивалентті диаметрін анықтайды:

$$d_y = \sqrt[3]{6V / \pi} = 1,24 \sqrt[3]{M / \rho_a}, \quad (1.21)$$

мұндағы V – бөлшек көлемі, м^3 ; M – бөлшек массасы, кг ; ρ_o – бөлшек тығыздығы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Бұдан кейін Архимед ұқсастық санының шамасын анықтайды

$$Ar = \frac{d_y^3 (\rho_a - \rho) g \rho}{\mu_i^2}, \quad (1.22)$$

мұндағы μ_i – ортаның тұтқырлығы, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Архимед санының шамасына сәйкес 1.5-сурет көмегімен шар тәріздес бөлшекке арналған қисық бойынша Лященко ұқсастық санының мәнін табады. Бұдан ары пішіні шар тәріздес емес бөлшектің тұндыру жылдамдығын есептейді:

$$W_o = \varphi' \cdot \sqrt[3]{Ly \mu_o (\rho_a - \rho) g / \rho^2}, \quad (1.23)$$

мұндағы φ' – бөлшек пішінін ескеретін коэффициент.

Тәжірибе арқылы анықталған φ' коэффициентінің мәні 2-кестеде берілген.

2-кесте. Әр түрлі пішіндегі бөлшектер үшін φ' коэффициентінің мәні

Архимед ұқсастық саны	Бөлшек пішіні				
	Шар тәріздес	Дөңге-лек-тенген	Қырлы	Сопакша	Жұқалап қатпарланған
15 000	1	0,805	0,68	0,61	0,45
20 000	1	0,8	0,678	0,595	0,441
40 000	1	0,79	0,672	0,59	0,433
100 000	1	0,755	0,65	0,564	0,42
200 000	1	0,753	0,647	0,562	0,408
400 000	1	0,74	0,635	0,56	0,392

Ә) Егер дұрыс емес пішінді бөлшектің белгілі тұндыру жылдамдығы бойынша мөлшерін анықтау қажет болса, онда алдымен Лященко ұқсастық санының шамасын есептейді:

$$Ly = \frac{W_m^3 \rho_o^2}{\mu_o (\rho_o - \rho_o) g}. \quad (1.24)$$

Ары қарай 1.5-суреттен шар тәріздес бөлшектерге арналған қисық бойынша Архимед ұқсастық санының шамасын анықтайды да, бұдан кейін эквивалентті диаметрді есептейді:

$$d_y = \varphi'' \sqrt[3]{\frac{Ar \mu_i^2}{(\rho_a - \rho_i) \rho_i g}}, \quad (1.25)$$

мұндағы φ'' – бөлшек пішінің ескеретін коэффициент.

Тәжірибе арқылы анықталған φ'' коэффициентінің мәні 3- кестеде берілген.

3-кесте. Әр түрлі пішіндегі бөлшектер үшін φ'' коэффициентінің мәні

Лященко ұқсастық саны	Бөлшек пішіні				
	Шар тәріздес	Дөңгелектенген	Қырлы	Сопақша	Жұқалап қатпарланған
13	1	—	—	—	2,09
130	1	1,21	1,495	1,865	2,92
260	1	1,34	1,64	2,03	3,34
580	1	1,44	1,7	1,18	3,68
2600	1	1,61	1,96	2,5	—
5000	1	1,76	—	—	—

Жұмыстың мақсаты: А) бөлшектің диаметріне, пішініне және бөлшек пен сұйықтықтың физикалық қасиеттеріне тәуелді жеке бөлшектің тұндыру жылдамдығын анықтау. Ә) Тәжірибе жүзіндегі тұндыру жылдамдығы бойынша бөлшек пішіні және бөлшек пен сұйықтықтың физикалық қасиеттеріне тәуелді эквивалентті диаметрді есептеу. Тәжірибе мен есептеу нәтижелерін салыстыру.

Жұмыстың жоспары

1. Жұмыспен танысу.
2. Сұйықтықтарды дайындау
3. Тәжірибеге керекті құрал-жабдықтарды дайындау.
4. Тұндыру процесін жүргізу.
5. Нәтижелерді талқылап, есептеулерін жүргізу.
6. Тәжірибе нәтижелері бойынша есеп беру.

Жұмысқа керекті құрал-жабдықтар

1. Шыны цилиндрлер.
2. Секундомер.

Керекті реактивтер

1. Домалақ және дұрыс емес пішінді бөлшектер.
2. Сұйықтықтар (глицерин, су) ерітінділері.

Қондырғының құрылысы. Қондырғы әр түрлі сұйық-тықтармен толтырылған үш шыны цилиндрлерден ($d_{ц} \geq 50$ мм) тұрады. Сұйықтықтардың физика-лық қасиеттері белгілі. Әрбір цилиндрдің жоғарғы және төменгі бөліктерінде тұндыру процесіндегі бөлшектердің өтетін жол аралықтарын

анықтайтын белгілері болады. Секундомермен осы екі аралықтағы жолды бөлшектердің қанша уақытта өтетіндігін өлшей отырып, олардың тұндыру жылдамдығын анықтауға болады.

Бөлшектердің сұйықтықтағы жылдамдығының бастапқы үдеуін ескермеу үшін цилиндрдің жоғарғы жағындағы белгіні сұйықтықтың беткі деңгейінен 30÷40 мм төменгі жерге белгілейді.

Тәжірибені жүргізу әдістемесі. Шар тәріздес және дұрыс емес пішінді бөлшектерді цилиндрдегі сұйықтық бетіне жайлап тастайды. Секундомермен жоғарғы және төменгі белгілер аралығындағы қашықтықты бөлшектердің қанша уақытта өтетіндігін өлшейді. Әрбір бөлшектің сұйықтықта шөгу уақытын анықтауды үш-төрт рет қайталайды. Егер тәжірибе барысында бөлшек цилиндр қабырғасына жанасатын болса немесе бөлшекке ауа көпіршіктері жабысатын болса, онда ондай тәжірибе нәтижесі есепке алынбайды. Бұдан кейін әрбір бөлшектің массасын аналитикалық таразыда өлшейді. Тәжірибе нәтижелерін есеп беру кестесіне енгізеді.

Ұқсастық сандарын (Re , Ar , Ly) есептеу үшін тұндыру жылдамдығы W_T мен бөлшек диаметрінің орташа мәндері алынады.

Есеп беру кестесі

Бөл- шек	τ , сек	M , кг	ρ , кг/м ³	W_T , м/с	Re	Ar	Ly	$W_{с.}$, м/с	d_{y_1} , м	d_{y_2} , м

Тәжірибе нәтижелерін өңдеп, есеп беру. Әрбір өлшем-дегі тұндыру жылдамдығын есептейді. Бөлшек массасы бойынша эквивалентті диаметрін анықтайды. Тәжірибе мәліметтерінен алынған жылдамдық мәні бойынша Лященко ұқсастық саны шамасын есептейді. Табылған шама бойынша 1.5-суреттен Архимед ұқсастық санының шамасын анықтап, эквивалентті диаметрді есептейді. Пішін коэффициентін ескеретін мәнді Лященко ұқсастық саны бойынша 3-кестеден анықтайды.

Тәжірибеден алынған бөлшек массасы арқылы анықталған эквивалентті диаметр мәні бойынша Архимед ұқсастық санының шамасын есептейді. Табылған шама бойынша 1.5-суреттен Лященко ұқсастық санының шамасын анықтап, тұндыру жылдамдығын есептейді. Пішін коэффициентін ескеретін мәнді Архимед ұқсастық саны бойынша 2-кестеден анықтайды. Тәжірибе және есептелген нәтижелерді салыстырып, қорытынды жасап, есеп беру кестесін толтырып, жұмысты тапсырады.

Өзін-өзі тексеру сұрақтары

1. Қозғалыстағы ағында болатын кедергі күшін жалпы түрде қалай сипаттайды?

2. Толық кедергі күші қандай кедергілерден құралады?
3. Кедергі коэффициентін анықтауға қажетті жалпылама теңдеу қалай сипатталады?
4. Пішіні домалақ емес бөлшектер үшін кедергі коэффициентін анықтауға қажетті жалпылама теңдеу қалай сипатталады?
5. Тұнбаға түсіру дегеніміз не? Тұнатын бөлшектерге қандай күштер әсер етеді?
6. Рейнольдс ұқсастық саны теңдеуіне тұнатын бөлшекке қатысты қандай шамалар кіреді?
7. Тұнудың қандай кезеңдері белгілі?
8. Домалақ емес бөлшектердің тұну жылдамдығын қалай анықтайды?
9. Егер тұну жылдамдығы белгілі болса, бөлшек диаметрін қалай анықтайды?
10. $Ly = f(Ar)$ тәуелділігіне тұндырылатын бөлшектердің пішіні қалай әсер етеді?
11. Қандай график арқылы кез келген кезеңге сәйкес тұндыру жылдамдығы мен бөлшек диаметрінің жуықталған шамаларын есептейді?

Әдебиеттер

1. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. –Л.: Химия, 1982. С. 118-132.
2. Справочник химика. V том. –М.: Химия, 1966. 972 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. С. 95-101.
4. Мустахимов Б.К. Химиялық технологияның процестері және аппараттарындағы жұмыстардың теориясы мен істелуі. –Алматы: Қазақ ұлттық техникалық университеті, 2000. Б. 22-25.
5. Ешова Ж.Т., Акбаева Д.Н. Химиялық технологияның негізгі үдерістері мен аппараттары: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2021. Б. 30-43; 82-85.