

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

Химия және химиялық технология факультеті

Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасы

«Сұйықтар механикасы»

пәні бойынша

№ 3 зертханалық жұмыс

Сұйықтықтардың ағын режимі

«6B05314 – Мұнайхимия және химмотология» білім беру бағдарламасы

Құрастырған:

Х.Ғ.К., доцент

Ешова Ж.Т.

Алматы

Kіріспе

Өртүрлі формадағы каналдар арқылы сұйықтықтар ағынының заңдылықтарын тәжірибе жүзінде зерттеу нәтижелері қозғалыс жағдайларына қарай ағын құрылымы әралуан болатынын көрсетті.

Құбыр арқылы ағынның шамалы ғана жылдамдығында ағын қабаттарының бір-бірімен реттелген сипаттағы қозғалысы байқалады. Мұндай ағын қабаттары бір-бірімен араласпайтын, реттелген қозғалыс *ламинарлы* немесе жылжымалы деп аталады. Ламинарлы режимде ағындағы жылдамдық пішіні параболлалық болады және оның мәні теория жүзінде анықталады. Қима бойынша сұйықтықтың орташа жылдамдығы ағынның ось бойындағы максималды жылдамдығының жартысын тең болады:

$$w_{op} = w_{max} / 2 \quad (1.1)$$

Практикада ортаның қарқынды араласуынан, бөлшектердің қозғалысы тез өзгертін ағындар көбірек орын алады. Мұндай қозғалыс *турбулентті* немесе құйынды деп аталады. Ағын ядросындағы турбулентті қозғалыс әр кезде қабырға маңындағы ламинарлы жылдамдықпен қатар жүреді және қима бойынша орташа жылдамдық максималды жылдамдықтың жартысына тең болады. Турбулентті режимде орташа жылдамдықтың максималды жылдамдыққа қатынасы (w_{op}/w_{max}) Рейнольдс сындарының функциясы болады.

Газдар мен тұтқыр сұйықтықтар ағындарын сандық сипаттау үшін Рейнольдс сындары қолданылады:

$$Re = \frac{w_{op} d \rho}{\mu} = \frac{w_{op} d}{\nu}, \quad (1.2)$$

мұндағы d – құбыр диаметрі, m ; ρ – орта тығыздығы, kg/m^3 ; w_{op} – қимадағы ағынның орташа жылдамдығы, m/s ; μ – тұтқырлықтың динамикалық коэффициенті, $Pa \cdot s$; $\nu = \mu/\rho$ – тұтқырлықтың кинематикалық коэффициенті, m^2/s .

Рейнольдс сындары инерция күштері мен ішкі үйкеліс күштері аралығындағы ара қатынасты сипаттайды.

Инерция күштері ағын жылдамдығымен және оның өрісімен, ал ішкі үйкеліс күштері ағынның тұтқырлығымен анықталады. Осы себепті инерция күштері басым ағындарға турбулентті қозғалыс тән де, ал ішкі үйкеліс күштері инерция күштеріне қарағанда басымырақ ағындарға ламинарлы қозғалыс тән болады.

Белгілі бір гидродинамикалық режимнен екінші бір режимге өту мезетіндегі Рейнольдс сындарының мәні *ауыспалы кезеңдегі мән* (Re_{ay}) деп аталады. Бір режимнен екінші режимге ауысқанда ағын сандық және сапалық өзгерістерге ұшырайды. Осының нәтижесінде гидравликалық кедергілер мен жылуалмасудың сипаттамалары өзгереді. Сол себепті ағын режимін зерттеу мен Рейнольдс сындарының ауыспалы кезеңдегі мәнін анықтаудың маңызы зор.

Ағынның барлық режимдеріне Рейнольдстің ауыспалы кезеңдегі екі мәндері сәйкес келеді. Қимасы дөңгелек құбырларда ағын режимін зерттеу нәтижелері Рейнольдстің ауыспалы кезеңдегі орташастатистикалық мәндері 2300 және 10^4 тең болатынын көрсеткен.

Рейнольдстің ауыспалы кезеңдегі мәні 2300 тең болғанда ламинарлы режим турбулентті режимге ауысады ($Re_{ay} \approx 2300$), ал $Re_{ay} \approx 10^4$ тең болғанда өрістеген турбулентті режим басталады.

$2300 < Re < 10^4$ аймағыда ағын ламинарлы әрі турбулентті қозғалысқа тән қасиеттерге ие болады да, *ауыспалы режимге* сәйкес келеді.

Алайда, көптеген себептерге тәуелді белгілі бір жағдайларда Рейнольдстің ауыспалы кезеңдегі мәндері жоғарыда келтірілген мәндерден ауытқуы мүмкін. Мысалы, құбырдың жиегін дөңгелектеуді, ішкі ауытқуларды азайтуды, басқа да тәсілдері қолдану арқылы

тәжірибе жүзінде турбулентті режимнің басталуын $Re_{ay} \approx 10^5$ дейін созуға болатындығы анықталған. Сонымен бірге азғана ішкі ауытқулар ағын режимінің күрт өзгеруін туғызған. Мұндай жағдайдағы қозғалыс орнықпаған болып келеді. Сондықтан орныққан режим жағдайына ауысуы қажет.

Ирек құбырлар үшін құбыр диаметрінің (d) ирек орамдардың диаметріне (D) қатынасына (d/D) тәуелді Re_{ay} мәні артады және бұл мән $7000 \div 8000$ құрайды.

Егер мөлдір горизонталь құбырдағы сұйықтықтың жұмсалыу мөлшерін өзгертсе және құбырдың осі бойынша боялған сұйықтықтың жұқа қабатын жылжытып енгізсе, онда әртүрлі ағын режимдерін және бір режимнің екінші режимге ауысу заңдылықтарын бақылауға болады.

Химиялық технологиядағы маңызды міндеттердің бірі – құбырлар мен аппараттар арқылы сұйық орталарды тасымалдауда үйкеліс күші әсерінен туындайтын қысымның әлсіреуін анықтау. Дөңгелек құбырлардағы қысымның әлсіреуін Дарси-Вейсбах теңдеуі бойынша есептейді:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w_{op}^2}{2}, \quad (1.3)$$

мұндағы λ – үйкеліс коэффициенті; l – құбыр ұзындығы, м; d – құбыр диаметрі, м; ρ – орта тығыздығы, кг/м³; w_{op} – қимадағы ағынның орташа жылдамдығы, м/с.

Дарси-Вейсбах теңдеуіндегі $\lambda \frac{l}{d}$ – шамасы үйкеліске шығындалған қысымның динамикалық қысымға қарағанда қанша есе ерекшеленетінін көрсетеді. Үйкеліске шығындалатын гидродинамикалық тегеурін ағын режиміне тәуелді болады. Қимасы дөңгелек құбырлардағы ламинарлы режим үшін келесі тәуелділік қолданылады:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1.4)$$

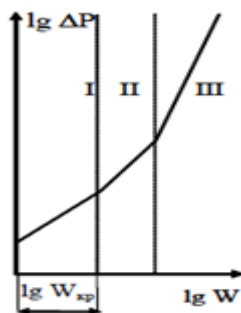
Бұндай жағдайларда үйкеліс коэффициентінің шамасы Рейнольдс санына кері пропорционалды және қабырғаның кедір-бұдырлығынан тәуелді емес.

Қимасы дөңгелек емес (квадрат, тік төртбұрыш, сақина) құбырладағы сұйықтықтың қозғалысында (1.4) формуладағы үйкеліс коэффициентінің мәні өзгеше болады, ал Re саны құбырдың балама диаметрі ($d_{эқв}$) бойынша есептеледі.

Ағын қозғалысының ауыспалы және турбулентті режимдерінде кедергі коэффициентінің мәні Re санына ғана емес, сонымен бірге қабырғаның кедір-бұдырлығынан да тәуелді болады. Мұндай жағдайларда үйкеліс коэффициентінің шамасын анықтау үшін эмперикалық және жартылай эмперикалық теңдеулерді қолданады. Тегіс құбырлар үшін мына жағдайларда: $Re = 10^4 \div 10^5$ үйкеліс коэффициентінің шамасын анықтау үшін Блазиус формуласы кеңінен қолданылады:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (1.5)$$

Бұл формула (1.5) бойынша ағындағы жылдамдық пішіні дәреже түрінде таралады.



1.1-сурет. Қысым айырымының (ΔP) ағынның орташа жылдамдығынан (w_{op}) тәуелділігі:

I – ламинарлы режим, II – ауыспалы режим, III – турбулентті режим

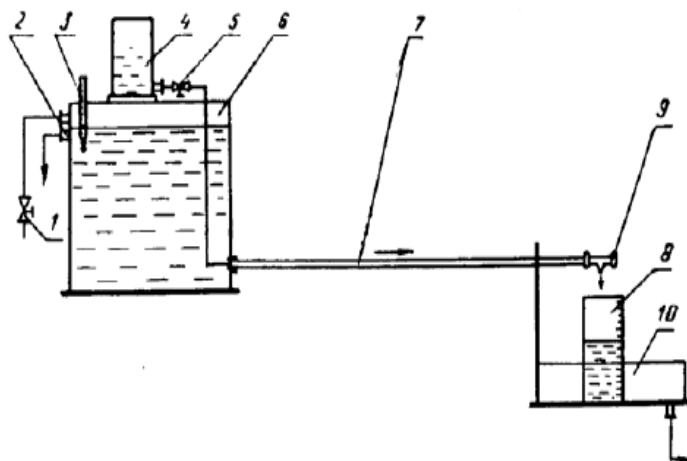
Егер қысым айырымының (ΔP) ағынның орташа жылдамдығынан ($w_{ор}$) тәуелділігін логарифмдік координаталарда қарастыратын болса, онда 1.1-суреттегі түзудің еңкіш бұрышы өзгертін нүктелерге сәйкес келетін шамалар, бір режимнің екінші режимге ауысатын Рейнольдстің ауыспалы кезеңдегі мәндеріне (Re_{ay}) сәйкес келеді.

Ауыспалы режим жағдайында үйкеліс коэффициенті графиктен (қосымшадағы 1.3-сурет) анықталады.

Жұмыстың мақсаты: сұйықтық қозғалысының сипатын және ағынның бір режимнен екінші режимге ауысуын көзбен шолып бақылау. Рейнольдс санының ауыспалы кезеңдегі мәнін (Re_{ay}) анықтау. Үйкеліске шығындалатын қысым мен ағынның орташа жылдамдығы аралығындағы тәуелділікті орнықтыру.

Қондырғының сипаттамасы

Ағын режимін анықтауды 1.2-суреттегі қондырғыда жүргізеді. Қондырғының негізгі бөліктері: сұйықтықтың қозғалыс режимін зерттейтін шыны түтік (7), тегеурінді ыдыс (6), бояғыш зат бар ыдыс (4), өлшеуге арналған ыдыс (8), бұранда (9), шүмек (5).



1.2-сурет. Сұйықтықтың қозғалыс режимі мен үйкеліс кедергісін зерттеуге арналған қондырғының сызба-нұсқасы

Су жүргізетін құбырдан су бұранда (1) арқылы тегеурінді ыдысқа (6) жіберіледі. Құйылатын штуцер (2) көмегімен тегеурінді ыдыстағы су тұрақты деңгейде ұсталынып тұрады. Тегеурінді ыдыстан су шыны түтік (7) арқылы қабылдағыш ыдыстағы (10) өлшегіш ыдысқа (7) келіп құйылады.

Судың жұмсалудың мөлшері бұранда көмегімен реттеледі. Шыны түтіктегі (7) ағын құрылымын көзбен шолып бақылау үшін бояғыш зат бар ыдыстан (4) жіңішке түтік көмегімен боялған су жіберіледі. Боялған судың ағу жылдамдығы шыны түтіктегі (7) ағын жылдамдығымен сәйкес келгенше боялған судың жұмсалудың мөлшері шөлмек (5) көмегімен реттеледі. Судың температурасы термометр (3) көмегімен өлшенеді.

Жұмысты орындау реті

1. Су жүргізетін құбырдағы бұранданы (1) ашып, тегеурінді ыдысты (6) құйылатын штуцер деңгейіне дейін сумен толтыру.
2. Ең соңғы бұранданы (9) ашып, судың минималды жұмсалудың орнықтырып, шөлмек (5) көмегімен бояғыш затты жіберу.
3. Бояғыш заттың жіберілуін реттеу арқылы ламинарлы режимге сәйкес келетін боялған ағыстың анық көрінісіне қол жеткізу.

4. Бұдан ары судың жұмсалыу мөлшерін арттырып, ламинарлы режимнің бұзылып, турбулентті режимге өтуін бақылау. Әрбір режим үшін судың жұмсалыу мөлшері мен температураы өлшеу. Өлшеуді 12-15 рет жүргізу және өлшеуді өрістеген турбулентті қозғалыста аяқтау. Судың жұмсалыу мөлшерін көлемдік әдіспен өлшегіш ыдыс (8) және секундомер көмегімен анықтау.

Тәжірибе нәтижелерін өңдеу

1. Шыны түтіктегі су қозғалысының орташа жылдамдығын жұмсалыу теңдеуі бойынша анықтау:

$$V = w_{op}F, \quad (1.6)$$

мұндағы V – судың көлемдік жұмсалыу мөлшері, $м^3/с$; F – шыны түтік қимасының ауданы, $м^2$.

2. Үйкеліс коэффициентін (1.3, 1.4) формулалар бойынша есептеу немесе графиктен (қосымшадағы 1.3-сурет) анықтау; Тегеуріннің шығындалуын (ΔP) Дарси-Вейсбах теңдеуі (1.3) бойынша анықтау.

3. Тегеуріннің шығындалуының (ΔP) ағынның орташа жылдамдығынан (w_{op}) тәуелділігін логарифмдік координаталарда көрсету және бір режимнен екінші режимге ауысу нүктелерін анықтау.

Зертханалық жұмыс бойынша есеп беру

Зертханалық жұмыс бойынша есеп беру үшін келесі мәліметтер болуы қажет:

- Жұмыстың мақсаты мен орындалу реті. Қондырғының суреті мен сипаттамасы;
- Re , λ , ΔP шамаларының есептелген мәндері (темпераураға тәуелді судың тығызды мен динамикалық тұтқырлығы коэффициентінің мәндері 1.2 кестеде келтірілген).
- 1.1-кесте түріндегі тәжірибе нәтижелерінің өлшенген және есептелген мәліметтері;
- Тегеуріннің шығындалуының (ΔP) ағынның орташа жылдамдығынан (w_{op}) логарифмдік координаталардағы тәуелділік графигі: $lg \Delta P = f(lg w_{op})$ және графиктен анықталған Re_{ay} мәндері.
- Судың температурасы (t), $^{\circ}C$ мен тұтқырлығы, (μ), $Па \cdot c$.

1.1-кесте

Көлем, $V, м^3$	Уақыт, τ, c	Жұм- салы, $V, м^3/с$	Жыл- дамдык, $w, м/с$	Re	Бақы- ланған ағын режимі	Үйкеліс коэффи- циенті, λ	Қысым шығыны, $\Delta P, Па$

Бақылау сұрақтары

1. Сұйықтық қозғалысының негізгі режимдері. Ағын қозғалысының сипаты.
2. Ламинарлы қозғалыстағы ағынның орташа жылдамдығын қалай анықтайды?
3. Турбулентті режим жағдайында ағынның орташа жылдамдығы мен максималды жылдамдығының ара-қатынасы қандай?
4. Рейнольдс сындары дегеніміз не? Оның физикалық мәні қандай?
5. Құбыр түріне қарай (қимасы дөңгелек, ирек құбыр) Рейнольдстің ауыспалы кезеңдегі мәндері қандай шамаларды көрсетеді?
6. Сұйықтық қозғалысының сипаты қалай өзгереді:
 - суды глицеринге/ауаға өзгерткенде;
 - ағынның температурасын көтергенде/төмендеткенде;

- құбыр диаметрін өзгерткенде.

7. Балама (эквивалентті) диаметр дегеніміз не? Дөңгелек емес (квадрат, тік төртбұрыш, сақина) қималар үшін оны қалай есептейді?

Ұсынылатын әдебиеттер

1. Ешова Ж.Т., Акбаева Д.Н. Химиялық технологияның негізгі үдерістері мен аппараттары: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2021. Б. 4-43.
2. Рейнольдс А. Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях: Пер. с англ. М.: Энергия, 1979.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Химия, 1974.
4. Процессы и аппараты химической технологии: практикум для студентов химического факультета специальности 240403.65 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» / сост. В.Н. Носенко, О.А. Реутова, А.А. Дюсембаева. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2006. – 100 с.