

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

Химия және химиялық технология факультеті

Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасы

**«Сұйықтар механикасы»
пәні бойынша**

**№ 4 зертханалық жұмыс
Жалған сұйылу қабатының гидравликасын зерттеу**

«6B05314 – Мұнайхимия және химмотология» білім беру бағдарламасы

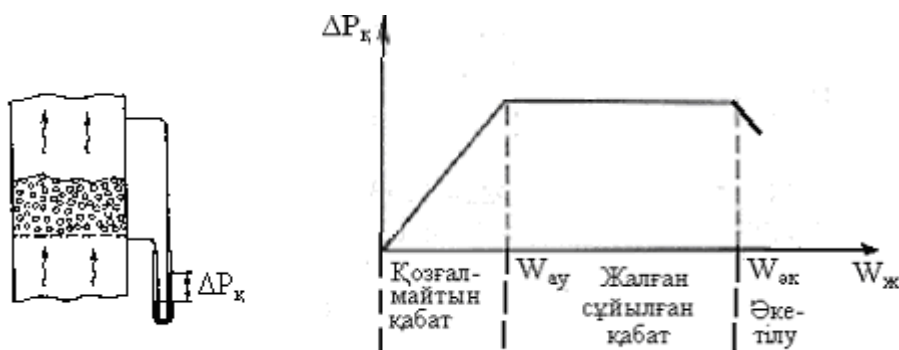
**Құрастырған:
х.ғ.к., доцент
Ешова Ж. Т.**

Алматы

Кіріспе

Химиялық технологияда газ немесе сұйықтық ұнтақталған қатты денелермен әрекеттескенде жүретін кейбір үдерістер, мысалы, кептіру, адсорбция, катализдік үдерістер жалған сұйылған қабаты бар аппараттарда жүргізіледі. Мұндай аппараттарда аталған үдерістер біршама жылдам жүреді.

Егер жылжымайтын қатты бөлшектердің қабаты арқылы төменнен жоғары қарай газ (немесе сұйықтық) ағынын жіберсе және газ ағынының жылдамдығын біртіндеп арттырса, онда газ ағынының жылдамдығы қандай да бір ауыспалы күй жылдамдығына жеткенде, түйіршікті қабаттың бөлшектері жалған сұйылу жағдайына ауысады. Аппаратта газ жылдамдығын ары қарай арттырса, жалған сұйылған қабаттың көлемі арта түседі. Жалған сұйылған көлемде қатты дене бөлшектерінің қарқынды араласауы жүріп, қайнап жатқан сұйықтыққа ұқсайды. Сондықтан оны жалған сұйылған немесе қайнаған қабат деп атайды. Газ жылдамдығын ары қарай арттырған сайын жалған сұйылған қабаттың көлемі ұлғая түседі. Газ ағынының белгілі бір жылдамдығында жалған сұйылған қабаттан бөлшектер газ ағынымен қоса әкетіле бастайды. Яғни, бөлшектердің пневмотасымалдануы жүреді. Газ ағынының мұндай жылдамдығы әкету жылдамдығы деп аталады.



1.1-сурет. Қабаттың гидравликалық кедергісін өлшеу

1.2-сурет. Газдың жалған жылдамдығынан бөлшектер қабатының гидравликалық кедергісінің тәуелділігі

Аппараттың көлденең қимасының ауданын f (м^2) арқылы, ал газдың көлемдік мөлшерін V ($\text{м}^3/\text{с}$) арқылы белгілейміз. Осы жағдайда бос аппараттың толық көлденең қимасына қатысты газ жылдамдығы немесе жалған жылдамдық шамасы $W_{\text{ж}}$ ($\text{м}/\text{с}$) өрнектеледі:

$$W_{\text{ж}} = \frac{V}{f}. \quad (1.1)$$

Қабат түйіршіктері аралығындағы газдың нақты жылдамдығын есептеу қиын және бұл шама жалған жылдамдық шамасынан әр уақытта үлкен болады.

Газ қысымының әлсіреуін немесе қабаттың гидравликалық кедергісін дифференциалды манометр көмегімен өлшей отырып, газдың түйіршікті қабат арқылы өтетін көлемдік мөлшерін арттырса (1.1-сурет), онда газдың жалған жылдамдығынан қабаттың гидравликалық кедергісінің тәуелділігін 1.2-сурет бойынша кескіндеуге болады.

Суретте (1.2-сурет) көрсетілгендей, жалған сұйылған қабат аймағында, газдың ауыспалы кезең жылдамдығынан $W_{\text{ау}}$ газды әкету жылдамдығына $W_{\text{өк}}$ дейінгі аралықта, қабаттың гидравликалық кедергісінің өзгерісі ΔP шамасы тұрақты болады.

Бөлшектердің жылжымайтын қабатының жалған сұйылған қабатқа ауысу кезеңі бөлшекке әсер ететін газ ағынының динамикалық күші (Р) шамасы бөлшектің салмағынан (G) көтеру күшін (А) алып тастаған мәнге тең болған жағдайда басталады:

$$P = G - A. \quad (1.2)$$

Шар тәріздес бөлшек үшін

$$P = \zeta \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{w^2 \rho_{op}}{2}, \quad (1.3)$$

$$G = \frac{\pi d^3}{6} \rho g, \quad (1.4)$$

$$A = \frac{\pi d^3}{6} \rho_{op} g, \quad (1.5)$$

мұндағы ζ – орта ағысының режиміне тәуелді, өлшем бірлігі жоқ кедергі коэффициенті; d – бөлшек диаметрі, м; w – бөлшектер аралығындағы ортаның нақты жылдамдығы, м/с; ρ – және ρ_{op} – бөлшектің және ортаның тығыздықтары, кг/м³; g – еркін түсу үдеуі, м/с².

Жоғарыдағы (1.4)-ші және (1.5)-ші теңдеулерден анықталады:

$$G - A = \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_{op}) g. \quad (1.6)$$

Егер орта газ болса, онда ортаның тығыздығын бөлшектің тығыздығымен салыстырғанда ескермеуге болады. Бұл жағдайда (1.2)-ші теңдеу жазылады:

$$P = G. \quad (1.7)$$

Қабаттың барлық бөлшектері жалған сұйылған жағдайға ауысқан мезетте қабат алдындағы газ қысымы аппараттың көлденең қимасының бірлік ауданына келетін бөлшек салмағынан асып түсуі қажет. Бұл жағдайда жазылады:

$$\Delta P_k = \frac{G_k}{f}, \quad (1.8)$$

мұндағы G_k – биіктігі H қабаттың барлық бөлшектерінің салмағы.

Жоғарыдағы (1.8)-ші теңдеуден көрініп тұрғандай, жалған сұйылған жағдай үшін ΔP_k шамасы тұрақты, яғни бұл шама газдың жалған жылдамығына $W_{ж}$ тәуелді емес. ΔP_k шамасының тұрақты болуы мынада: газдың көлемдік мөлшері мен жалған жылдамдығын арттырғанда бір мезгілде жалған сұйылған қабаттың көлемі мен бөлшектердің ара қашықтығы да артады. Сол себепті қабат кедергісі тәуелді болатын бөлшектер аралығындағы газдың нақты жылдамдығы тұрақты күйде қалады.

Жылжымайтын, сондай-ақ жалған сұйылған қабаттың қатты бөлшектерінің маңызды сипаттамасына кеуектілігі жатады. Кеуектілік ε – қабаттағы газдың көлемдік үлесі:

$$\varepsilon = \frac{V_k - V_{\phi}}{V_k} = 1 - \frac{V_{\phi}}{V_k}, \quad (1.9)$$

мұндағы V_k – қабаттың жалпы көлемі, м³; V_{ϕ} – қатты бөлшектер алатын көлем, м³.

Диаметрлері бірдей шар тәріздес бөлшектер үшін кеуектілік шамамен 0,4-ке тең болады. Жалған сұйылған қабат үшін кеуектілік газ мөлшерін арттырған сайын артады, себебі бұл жағдайда жалған сұйылған қабат көлемі де ұлғаяды. Жалған сұйылудың шектік жағдайында, яғни әкету жылдамдығында, $V_k \gg V_{\phi}$, кеуектілік мәні $\varepsilon = 1$ болады.

Сонымен диаметрлері бірдей шар тәріздес бөлшектер үшін жалған сұйылу күйі кеуектілік мәндері $\varepsilon = 0,4$ мәнінен ($W_{ж} = W_{ay}$ жағдайында) $\varepsilon = 1$ ($W_{ж} = W_{эж}$ жағдайында) мәні аралығыда болады. Пішіні көп қырлы шар тәрізді емес бөлшектер үшін жуықтатылған түрде шар тәріздес бөлшектерге арналған кеуектілік мәндерін алуға болады.

Жалған сұйылған қабаты бар аппараттардың есептеулерін жүргізу үшін қатты дене мен газдың физикалық қасиеттері, газдың жалған жылдамдығы мен қабаттың кеуектілігі аралығындағы тәуелділікті сипаттайтын теңдеу қажет. Мұндай эмперикалық теңдеулерді қарастырылатын үдеріске әсері бар барлық физикалық шамаларды қамтитын өлшем бірлігі жоқ айнымалы шамалар немесе ұқсастық сандар түріндегі тәуелділіктермен сипаттайды.

Кеуектілік (ε) мәнінің 0,4-тен 1 аралығында, шар тәріздес бөлшектердің жалған сұйылған қабаты гидравликасында есептеулер жүргізу үшін, Лященко мен Архимед ұқсастық сандары аралығындағы графикалық тәуелділік (қосымшадағы 1.4-сурет) әрі қолайлы, әрі көрнекті болып табылады:

$$Ly = f(Ar, \varepsilon), \quad (1.10)$$

мұндағы $Ly = \frac{w_{ж}^3 \rho_{op}^2}{\mu_{op} (\rho - \rho_{op}) g}$ – Лященко ұқсастық саны;

$$Ar = \frac{d^3 \rho_{op} (\rho - \rho_{op}) g}{\mu_{op}^2}$$
 – Архимед ұқсастық саны.

Егер орта газ болса, онда $\rho \gg \rho_{op}$ және бұл кезде Лященко мен Архимед ұқсастық сандарына арналған теңдеулер өрнектеледі:

$$Ly = \frac{w_{ж}^3 \rho_{op}^2}{\mu_{op} \rho g}, \quad (1.11)$$

$$Ar = \frac{d^3 \rho_{op} \rho g}{\mu_{op}^2}. \quad (1.12)$$

Инженерлік есептеулерде $W_{ay} \div W_{\partial k}$ аралығында жалған сұйылған қабатты орнықтырудың маңызы зор. Ол үшін W_{ay} және $W_{y.k.}$ шамаларын анықтау қажет. Бұл шамалар Тодес формулалары бойынша есептеледі:

$$Re_{ay} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}}, \quad (1.13)$$

$$Re_{y.k.} = \frac{Ar}{18 + 0,61 \sqrt{Ar}}, \quad (1.14)$$

$$W_{y.k.} = \frac{Re_{y.k.} \cdot \mu_{op}}{d_{\partial} \rho_{op}}, \quad (1.15)$$

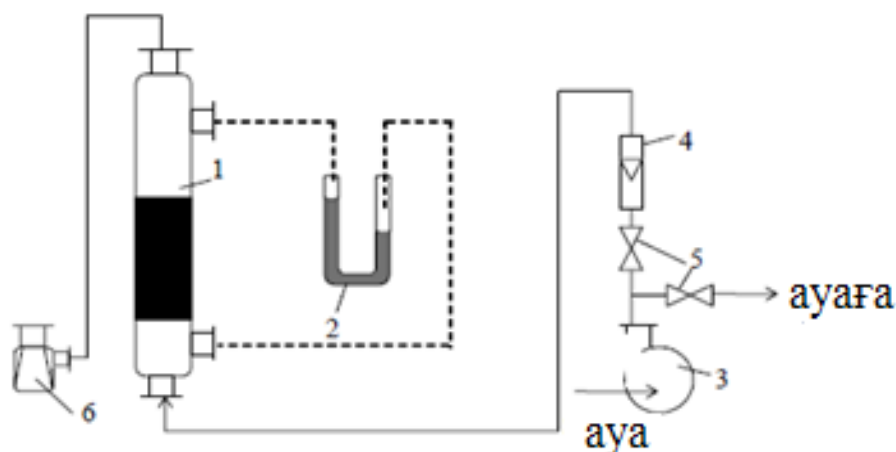
мұндағы d_y – аппарат диаметрі, м; μ_{op} – орта тұтқырлығының динамикалық коэффициенті, Па·с; $Re_{y.k.}$ – үйіріліп көтерілу мезетіндегі Рейнольдс саны; $W_{y.k.}$ – үйіріліп көтерілу жылдамдығы, м/с.

Жұмыстың мақсаты: Газдың жалған жылдамдығынан қабаттың гидравликалық кедергісінің тәжірибелік тәуелділігін алу. Газдың ауыспалы кезең жылдамдығын, бөлшектің орташа диаметрін, қабат салмағы мен бөлшектердің әкетілу жылдамдығын анықтау.

Қондырғының сипаттамасы

Жалған сұйылу қабатының гидродинамикасын зерттеуге арналған қондырғы 1.3-суретте көрсетілген. Қондырғының негізгі бөлігін тіреу торға кеуекті зат салынған шыны бағана ($d = 20 \times 1$ мм) (1) құрайды. Бағананың артында пневмотасымалдау режимінде бөлшектерді ұстап қалуға арналған ыдыс (6) орналастырылған.

Қондырғы ауаүрлегішпен (3), ауа мөлшерін анықтауға қажетті ротаметрмен (4) және бағанадағы қысымның өзгеруін өлшеуге арналған дифференциалды манометрмен (2) жабдықталған. Бағанаға ауаны жіберу бұрандамен (5) реттеледі.



1.3-сурет. Жалған сұйылу қабатының гидродинамикасын зерттеуге арналған қондырғының сызба-нұсқасы

Жұмысты орындау реті, өлшенген нәтижелерді өңдеу және есеп беру

1. Бұрандаман (5) реттелетін ауаның белгілі бір жұмсалыу мөлшерінде ротаметр (4) шкаласының 0,5 бөліктері арқылы бағанадағы (1) қысымның өзгеруі өлшенеді.

2. Алынған мәліметтерді 1.1-кестеге енгізіп, қысым айырымының жалған жылдамдықтан тәуелділік $\Delta P = f(W_{жс})$ графигін тұрғызады.

1.1-кесте

№	Ауа мөлшері $V, \text{м}^3/\text{с}$	Бағанадағы ауа жылдамдығы, $W_{жс}, \text{м}/\text{с}$	Бақыланған режим	Бағанадағы қысымның өзгерісі, $\text{мм су дең.}/\text{Па}$

3. $\Delta P = f(W_{жс})$ графигінен $W_{ау}$ анықтап, 1.11-формула бойынша $Lu_{ау}$ есептеп, $Lu = f(Ar, \varepsilon)$ тәуелділік графигінен (3-сурет) $\varepsilon = 0,4$ жағдайында Ar санын анықтап, 1.12-формула бойынша бөлшек диаметрін есептейді.

4. $\varepsilon = 1$ жағдайында Lu санын анықтап, бөлшектердің әкетілу жылдамдығын есептейді. Қабаттағы бөлшектердің салмағын анықтайды.

5. Бөлшектердің үйіріліп көтерілуін және әкетіле басталуын көзбен (3-4 рет) бақылап, осы мезеттердегі ауаның жұмсалыу мөлшері мен қабаттағы қысым өзгерісін өлшейді.

6. Бөлшектердің әкетіле басталуына сәйкес келетін ауаның жұмсалыу мөлшерінің орташа мәнінде жұмсалыу теңдеуі бойынша орташа үйіріліп көтерілу жылдамдығын $W_{у.к.т}$ және бөлшектердің үйіріліп көтерілу мезетіндегі Рейнольдс санын $Re_{у.к.т}$ есептейді. 1.14-формуладан $Re_{у.к.}$ мәнін есептейді (Архимед саны 3 п. анықталған)

7. Келесі ара қатынастан: $\frac{W_{у.к.т}}{W_{у.к.}} = \frac{Re_{у.к.т}}{Re_{у.к.}}$, $W_{у.к.}$ анықтап, тәжірибе нәтижесінде алынған мәнімен салыстыру.

8. Алынған мәліметтерді 1.2-кестеге енгізу.

1.2-кесте

№	Анықтайтын параметрлер	Мәндері
1	Бөлшек диаметрі d , мм	
2	Ауыспалы кезеңдегі жалған жылдамдық W_{ay} , м/с	
3	Тәжірибеден алынған әкетілу жылдамдығы $W_{әк}$, м/с	
4	Есептеу нәтижесінде алынған әкетілу жылдамдығы $W_{әк}$, м/с	
5	Қабаттағы бөлшектердің салмағы G , Н	

Зертханалық жұмыс бойынша есеп беру үшін келесі мәліметтер болуы қажет:

- Жұмыстың мақсаты мен орындалу реті. Қондырғының суреті мен сипаттамасы;
- W_{ay} , $W_{ү.к.}$ шамаларының есептелген мәндері (темпераураға тәуелді ауаның тығыздығы мен динамикалық тұтқырлығы коэффициентінің мәндері 3-кестеде келтірілген).
- $\Delta P = f(W_{жс})$ тәуелділік графигі.
- 1.1, 1.2- кестелер мәліметтері.
- ауаның температурасы (t), °C мен тұтқырлығы, (μ), Па·с.

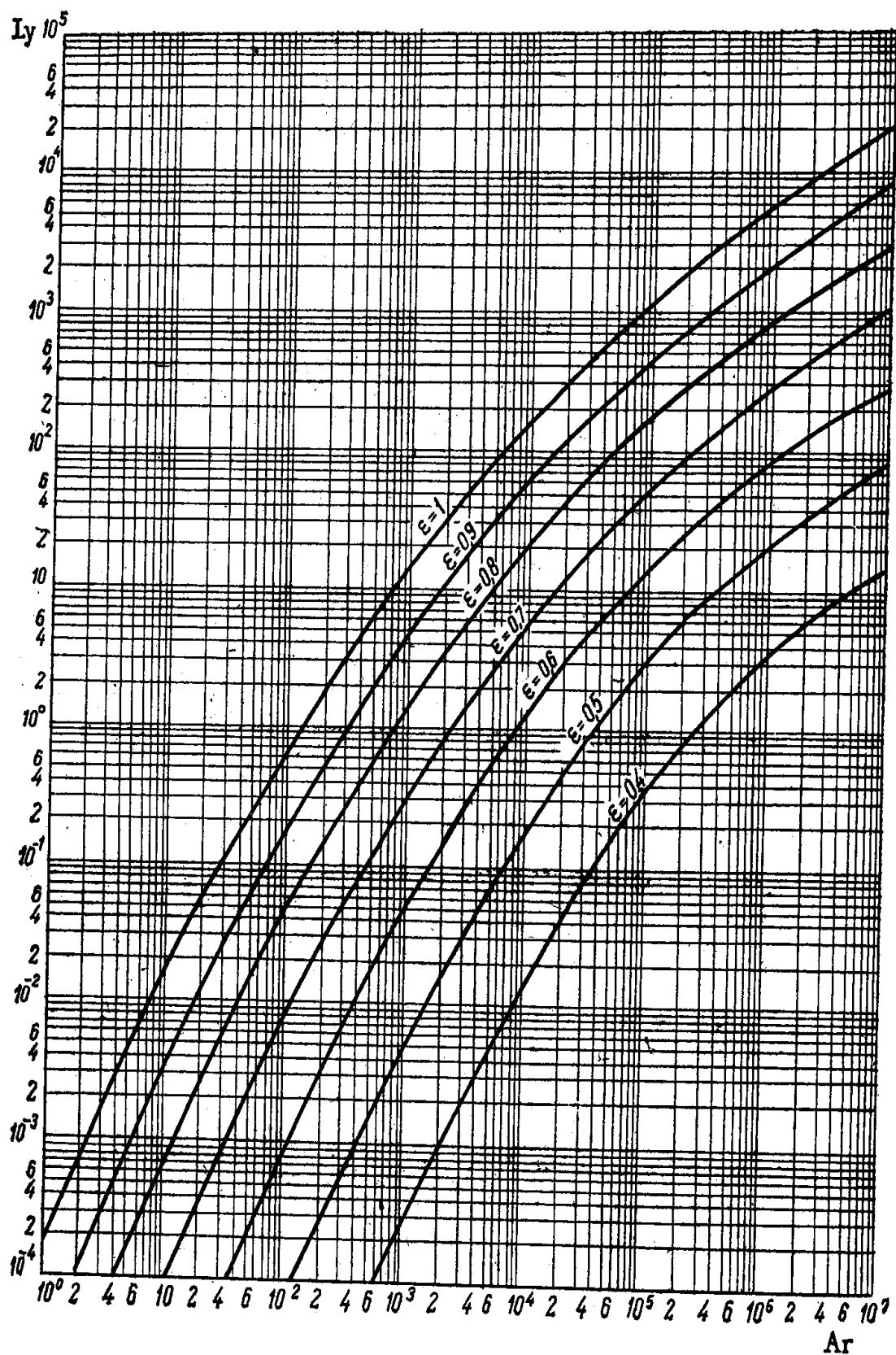
Өзін-өзі тексеру сұрақтары

1. Газдың жалған, нақты, ауыспалы кезең жылдамдығы дегеніміз не?
2. Қабаттың кеуектілігі дегеніміз не? Жалған сұйылған қабаттың кеуектілігі қандай аралықта өзгереді?
3. Жылжымайтын және жалған сұйылған қабатта газдың жалған жылдамдығы артқан сайын нақты жылдамдығы қалай өзгереді?
4. Газ мөлшерінен қабаттың кеуектілігінің тәуелділігі қандай сипатта болады?
5. Әсер ететін күштердің қандай қатынасында қатты бөлшектер жалған сұйылған жағдайға ауысады?
6. Ауыспалы кезең жылдамдығы мен әкету жылдамдығының мәндері қандай шамаларға тәуелді?
7. Неліктен ауаның жалған жылдамдығын арттырған сайын жылжымайтын қабаттың гидравликалық кедергісі артып, ал жалған сұйылған қабаттың кедергісі тұрақты болып қалады?
8. Қабаттың кеуектілігіне бөлшектердің мөлшері қалай әсер етеді?
9. Жылжымайтын қабаттың салмағын біле отырып, жалған сұйылған қабаттың гидравликалық кедергісін қалай есептейді?
10. Технологиялық үдерістерді ұйымдастыру үшін жалған сұйылған қабаттың негізгі артықшылығы қандай?

Әдебиеттер

1. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии / Под ред. П. Г. Романкова. Л.: Химия, 1975. С. 83–90.
2. 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.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. С. 106–111.
4. Павлов К.Ф. и др. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. С. 104–109.

5. Ешова Ж.Т., Акбаева Д.Н. Химиялық технологияның негізгі үдерістері мен аппараттары: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2021. Б. 52–56.



1.3-сурет. Шар тәріздес бөлшектер үшін Архимед ұқсастық санынан және қабаттың кеуектілігінен Лященко ұқсастық санының тәуелділігі