

**әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті**

**Химия және химиялық технология факультеті**

**Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасы**

**«Сұйықтар механикасы»**

пәні бойынша

**№ 2 зертханалық жұмыс**

**Сүзу үдерісінің тұрақтыларын анықтау**

«6B05314 – Мұнайхимия және химмотология» білім беру бағдарламасы

Құрастырған:

Х.Ғ.К., доцент

Ешова Ж.Т.

**Алматы**

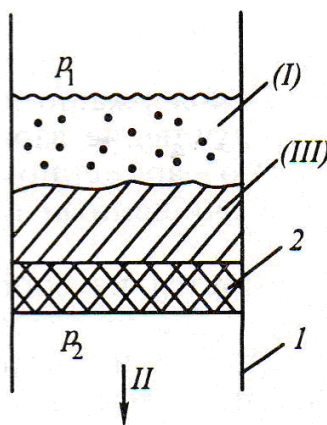
## № 2 зертханалық жұмыс

### Сүзу үдерісінің тұрақтыларын анықтау

#### Сүзу жылдамдығы

Жүйенің бір бөлігін өткізіп, екінші бөлігін ұстап қалатын кеуекті қалқа көмегімен (2.1-сурет) біртекті жүйелерді бөлу процесі сүзу деп аталады. Бұл процесте кеуекті қалқа сүзгіш, оның бетінде немесе ішінде ұсталылатын фазаны (дисперсті фаза) тұнба, ал бөгеттен өтіп кететін тұтас фазаны сүзінді деп атайды. Сүзу процесінде біртекті жүйенің бөлінуі салдарынан кеуекті қалқада жинақталатын тұнбаның өзі де біртіндеп сүзетін бөгетке айналады.

Сүзу процесі – гидродинамикалық процесс және қысым айырымы әсерінен (2.1-сурет) жүзеге асырылады:  $\Delta P = P_1 - P_2$ .



2.1-сурет. Сүзу процесінің жалпы сызба-нұсқасы.

1 – сүзгіштің корпусы, 2 – сүзетін қалқа;  
I – суспензия, II – сүзінді, III – тұнба

Сүзетін қалқаның екі жағында қысым айырымын компрессор, вакуум-насос көмегімен немесе бөлетін суспензияның гидростатикалық қысымын қолдану арқылы жасайды. Қысым айырымы вакуум-насос қолданғанда 0,5-0,9 кгс/см<sup>2</sup>, ал поршеньді ортадан тепкіш насостарды қолданғанда 5 кгс/см<sup>2</sup> дейін болады.

Тұнбаның ұсақ бөлшектерінің әсерінен сүзетін қалқа кедергілері жылдам артады. Сүзу процесіне гидродинамикалық факторлармен бірге (бөлшек беті, мөлшері, кеуектілігі), физика-химиялық факторлар да әсер етеді.

Суспензияда коллоидты немесе шайырлы қоспалардың болуы саңылауларды бітейді. Сонымен бірге сүзу процесіне қатты және сұйық фазалардың бөлу беті аралығында иондар қатысында пайда болатын электрокинетикалық потенциал да әсерін тигізеді.

Бөлшектердің мөлшері артқан сайын гидродинамикалық факторлардың әсері, ал керісінше жағдайда физика-химиялық факторлар әсері артады. Алайда сүзу процесіне әсері бар маңызды параметрлер – сүзетін қалқаның екі жағында пайда болатын қысым айырымдары мен суспензия температурасы.

Сүзу процесінің қарқындылығы бастапқы суспензия мен сүзетін бөгет аралығындағы физикалық әрекеттесуге тәуелді болатындықтан, кеуекті қалқа түрлері процесс нәтижесінде алынатын сүзінді мен тұнба сипаттамаларына сәйкес таңдап алынады. Сүзетін кеуекті қалқа ретінде сан алуан материалдар қолданылады. Мысалы, мақта-мата, синтетикалық, шыны, керамикалық, металдық бөгеттер әр түрлі жағдайларда сүзетін қалқа ретінде қолданылады.

Сүзетін кеуекті қалқа мен тұнба қабаты саңылауларының мөлшері кішкентай болатындықтан, сондай-ақ саңылаулар арқылы сұйықтықтың қозғалысы өте баяу жүретіндіктен сүзу процесі ламинарлы жағдайда өтеді деп қарастырауға болады. Мұндай жағдайда сүзу жылдамдығы сүзетін кеуекті қалқаның екі жағында пайда болатын қысым айырымына тура пропорционал да, кеуек қалқа арқылы өткендегі сұйықтыққа әсер ететін жалпы кедергіге: тұнба қабатының гидравликалық кедергісі мен сүзетін кеуекті қалқаның кедергісіне және сұйық фазаның тұтқырлығына кері пропорционал тәуелділікте болады. Сүзу процесінде қысымдар айырымы мен тұнба қабатының гидравликалық кедергісі уақытқа тәуелді өзгертіндіктен, сүзу процесінің ауыспалы жылдамдығын дифференциалды теңдеу түрде сипаттайды:

$$W = \frac{dV}{Sd\tau}. \quad (2.1)$$

Жоғарыда айтылғандарды ескеретін болсақ, сүзу процесінің негізгі дифференциалды теңдеуін былай өрнектеуге болады:

$$\frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_o + R_{n.d.})} \quad (2.2)$$

мұндағы  $V$  – сүзінді көлемі, м<sup>3</sup>;  $S$  – сүзу беті, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – сүзу ұзақтығы, с;  $\Delta P$  – қысым айырымы, Па;  $R_o$  – тұнба қабатының кедергісі, м<sup>-1</sup>;  $R_{n.d.}$  – сүзетін бөгет кедергісі, м<sup>-1</sup>.

Бұл теңдеу бойынша сүзу процесі қозғаушы күшке тура, ал кедергіге кері пропорционал тәуелділікте болады. Жалпы кедергі тұнба кедергісі ( $\mu R_o$ ) мен сүзетін бөгет ( $\mu R_{n.d.}$ ) кедергілерінің қосындысынан құралады. Бұл екі кедергі көптеген ауыспалы мәндердің күрделі функциясы болып табылады. Мысалы, тұнба кедергісінің шамасы тұнбаның қатты бөлшектерінің меншікті беті үлкен, ал кеуектілігі кішкене болған сайын үлкен болады. Сондай-ақ тұнба кедергісінің шамасына бөлшектердің мөлшері мен пішіні де әсерін тигізеді.

Сүзу процесінде сүзетін бөгет кедергісін тұрақты деп қарастырады, ал тұнба кедергісі тұнба қабатының қалыңдығы артқан сайын сүзудің бастақы мезетіндегі нөл мәнінен сүзудің соңындағы максимал мәнге дейін артады.

Жоғарыдағы 2.2-ші теңдеуді интегралдау үшін тұнба қабатының кедергісі мен алынатын сүзінді көлемі арасындағы тәуелділікті орнықтыру қажет. Сүзінді мен тұнба көлемдерінің пропорционалдығы ескеріліп, тұнба көлемінің сүзінді көлеміне қатынасы  $x_0$  арқылы белгіленеді. Сонда тұнба көлемі  $x_0 V$  тең болады. Сонымен бірге тұнба көлемін сүзгіш бетінің тұнба

кабатының қалыңдығына көбейтіндісі түрінде де сипаттауға болады:  $h_0 S$ , мұндағы  $h_0$  – тұнба қабатының қалыңдығы. Олай болса:

$$x_0 V = h_0 S \quad (2.3)$$

Бұдан сүзетін бөгет бетіндегі тұнба қабатының қалыңдығы сипатталады:

$$h_0 = x_0 \frac{V}{S} \quad (2.4)$$

Тұнба қабатының кедергісін мынадай теңдікпен сипаттауға болады:

$$R_0 = r_0 h_0 = r_0 x_0 \frac{V}{S} \quad (2.5)$$

мұндағы  $r_0$  – тұнба қабатының меншікті көлемдік кедергісі,  $\text{м}^{-2}$ .

Бұл 2.5-ші теңдеуден шығатын қорытынды:  $r_0$  шамасы сұйық фаза ағынына әсер ететін қабат қалыңдығы 1 м тұнба кедергісін сипаттайды.

Тұнба қабаты кедергісінің мәнін (2.5-ші теңдеу) 2.2-ші теңдеуге қоятын болсақ, алынады:

$$\frac{dV}{S d\tau} = W = \frac{\Delta P}{\mu \left( r_0 x_0 \frac{V}{S} + R_{\text{н.а.}} \right)} \quad (2.6)$$

Бұдан егер, сүзетін бөгет кедергісінің шамасын ескермесе ( $R_{\text{н.а.}} = 0$ ), 2.4-ші теңдеуді ескеріп, соңғы теңдеуден анықталады:

$$r_0 = \frac{\Delta P}{\mu h_0 W} \quad (2.7)$$

Тұтқырлық мәні, тұнба қалыңдығының мәні, жылдамдық мәні бірге тең болған жағдайда тұнба қабатының меншікті көлемдік кедергісі қозғаушы күшке тең болады  $r_0 = \Delta P$ .

*Сонымен, тұнбаның меншікті кедергісі сан жүзінде тұтқырлығы 1 Па·с сұйық фазаны 1 м/с жылдамдықпен қалыңдығы 1 м тұнба қабаты арқылы сүзуге қажетті қысым айырымы мәніне тең. Қатты сығылатын тұнбалар үшін меншікті кедергі мәні  $10^{12} \text{ м}^{-2}$  және одан да жоғары шамаға дейін жетеді.*

Сүзудің бастапқы мезетінде  $V = 0$  деп алып, сүзетін бөгет бетінде тұнба қабаты түзілмегенге дейінгі жағдайда 2.6-шы теңдеуден сүзетін бөгет кедергісінің мәнін анықтауға болады:

$$R_{\text{н.а.}} = \frac{\Delta P}{\mu W} \quad (2.8)$$

Тұтқырлық пен жылдамдық мәндері бірге тең болған жағдайда сүзетін бөгет кедергісі қозғаушы күшке тең болады  $R_{\text{н.а.}} = \Delta P$ . Бұл дегеніміз, *сүзетін бөгеттің кедергісі сан жүзінде тұтқырлығы 1 Па·с сұйық фазаны сүзетін бөгеттен 1 м/с жылдамдықпен сүзуге қажетті қысым айырымы мәніне тең. Көптеген сүзетін бөгеттер үшін кедергі мәні  $10^{10} \text{ м}^{-1}$  шамасына дейін жетеді.*

## Қысым айырымының тұрақты мәніндегі сүзу теңдеуі

Қысым мен температураның тұрақты мәндерінде белгілі бір сүзетін бөгет үшін 2.6-шы теңдеудегі сүзінді көлемі мен уақыттан басқа барлық шамалар тұрақты болады. Осы теңдеуді 0-ден  $V$ -ге және 0-ден  $\tau$  аралығына дейін интегралдасақ, алынады:

$$\int_0^V \mu \left( r_0 x_0 \frac{V}{S} + R_{\dot{n}.a.} \right) dV = \int_0^{\tau} \Delta P S d\tau \quad (2.9)$$

немесе

$$\mu r_0 x_0 \frac{V^2}{2S} + \mu R_{\dot{n}.a.} V = \Delta P S \tau \quad (2.10)$$

Соңғы теңдеудің екі жағын  $\mu r_0 x_0 / 2S$  шамасына бөлетін болсақ, алынады

$$V^2 + 2 \frac{R_{\dot{n}.a.} S}{r_0 x_0} V = 2 \frac{\Delta P S^2}{\mu r_0 x_0} \tau \quad (2.11)$$

Алынған 2.11-ші теңдеу сүзу уақытының сүзінді көлеміне тікелей тәуелді екендігін көрсетеді. Теңдеуді көлем бойынша шешіп, сүзінді көлемінің сүзу уақытына тәуелділігін анықтауға болады. Бұл теңдеуді сығылатын және сығылмайтын тұнбалар үшін қолданады, себебі қысым айырымының тұрақты мәнінде  $r_0$ ,  $x_0$  шамалары тұрақты болады.

Сүзу жылдамдығының теңдеуі (2.6-шы теңдеу) қысым айырымының тұрақты мәнінде сүзінді көлемі артқан сайын, соған сәйкес сүзу уақыты артқан сайын сүзу жылдамдығының кемитіндігін көрсетеді.

### Сүзу теңдеуіндегі тұрақтыларды анықтау

Сүзу теңдеуіндегі (2.11-ші теңдеу) тұрақтыларға тұнба көлемінің сүзінді көлеміне қатынасы, тұнбаның меншікті көлемдік кедергісі мен сүзетін бөгет кедергісі мәндері жатады. Химиялық өндірістерде кездесетін бөлшектерінің мөлшері 100 мкм кіші болып келетін тұнбалар үшін бұл тұрақты шамаларды тәжірибе жүзінде анықтайды. Қысым айырымының тұрақты мәнінде сүзу теңдеуіндегі тұрақтыларды анықтау әдісін қарастырайық. Мұндай әдіспен анықталған тұрақтылардың мәндері жоғары дәлдікпен ерекшеленеді. Ол үшін сүзу жылдамдығы теңдеуін түрлендіріп, келесі түрде жазылады:

$$\frac{\tau}{V} = AV + B \quad (2.12)$$

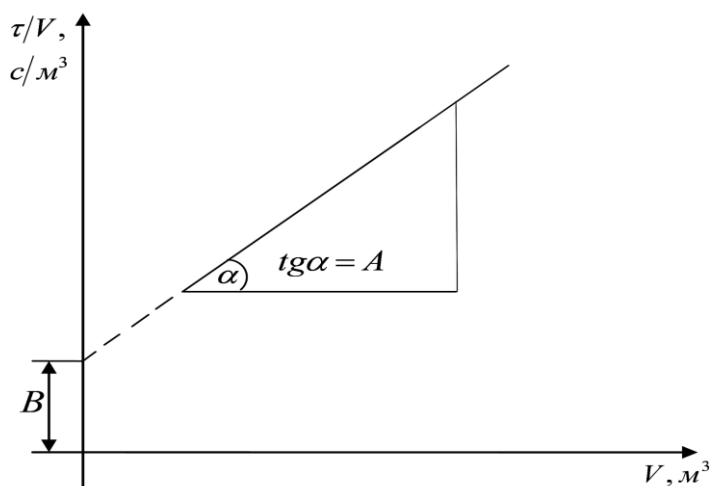
мұндағы

$$A = \frac{\mu r_0 x_0}{2 \Delta P S^2} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{\mu R_{\dot{n}.a.}}{\Delta P S} \quad (2.14)$$

Температура мен қысым айырымының тұрақты мәндерінде 2.13, 2.14-ші теңдеулердің оң жағындағы барлық шамалар тұрақты болады. Сондықтан  $A$

және  $B$  мәндері де тұрақты болады да, 2.12-ші теңдеу түзу сызықты теңдеуді сипаттайды. Түзу сызықты тәуелділікті  $V - \tau/V$  координаталарына тәжірибе жүзінде анықталған мәндерін сәйкесінше белгілей отырып тұрғызады. Түзудің ордината осімен қиылысқан мәні  $B$  тұрақтысын береді, ал түзуге салынған үшбұрыштың еңкіш бұрышының тангенсі (қарсы жатқан катеттің іргелес жатқан катетке қатынасы)  $A$  тұрақтысының мәнін береді (2.2-сурет). Табылған  $A$  мен  $B$  мәндері бойынша 2.13, 2.14-ші теңдеулерден тұнбаның және сүзетін бөгеттің кедергілерін анықтайды. 2.13-ші теңдеудегі  $x_0$  тұнба көлемі ( $V_0$ ) мен сүзінді көлемінің ( $V$ ) өзара қатынасын сипаттайды:  $x_0 = V_0 / V$ .



2.2-сурет. Сүзетін бөгет пен тұнбаның меншікті кедергілерін анықтауға арналған тәуелділік графигі

**Жұмыстың мақсаты:** температура мен қысым айырымының тұрақты мәндерінде сүзу процесін қолданып, суспензияны бөлу, сүзу жылдамдығы теңдеуіндегі тұрақты шамаларды: сүзетін бөгет пен тұнбаның меншікті кедергілерін анықтау.

### Жұмыстың жоспары

1. Жұмыспен танысу.
2. Суспензияны дайындау.
3. Қондырғыны құрастыру.
4. Сүзі процесін жүргізу.
5. Нәтижелерді талқылау.
6. Тәжірибе нәтижелерін өңдеп, есеп беру.

### Жұмысқа керекті құрал-жабдықтар

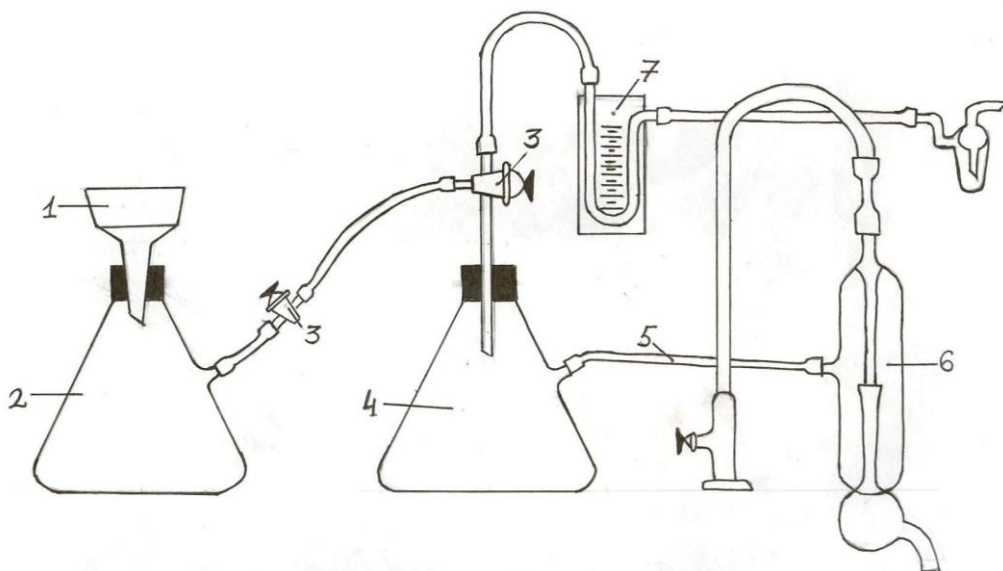
1. Вакуум насосы.
2. Бюхнер воронкасы.
3. Бунзен колбасы.

4. Сүзгіш қағазы.
5. Химиялық колба.
6. Шыны түтіктер.
7. Резина түтіктер.

### Керекті реактивтер

1. Избес тастың судағы суспензиясы.
2. Саз балшықтың судағы суспензиясы.

**Тәжірибені жүргізу әдістемесі.** Сұйық пен қатты фазалардың белгілі бір қатынастарында (мысалы, 1:2; 1:3; 1:4; 1:5; 1:8) избес тасының судағы немесе саз балшықтың судағы суспензиясы дайындалады. 2.3-суреттегідей қондырғы жинастырылады.



2.3-сурет. Сүзу қондырғысының құрылысы:

- 1 – Бюхнер воронкасы; 2 – Бунзен колбасы; 3 – екі, үш бағытты крандар;
- 4 – сақтандырғыш ыдыс; 5 – вакуумдық резина түтігі; 6 – су ағыны насосы;
- 7 – дифференциалды монометр (вакуумметр)

Екі бағытты кранды (3) жауып, су ағыны насосын іске қосып, дифференциалды монометрдегі (7) сынап деңгейін белгілі мәнге орнықтырады. Бюхнер воронкасының түбіне оның өлшеміне сәйкес келетін сүзгіш қағазын дайындап, оның диаметрін өлшеп, воронкаға орналастырады. Суспензияны үздіксіз араластыра отырып, воронкаға (1) құяды және воронканы сүзу процесі аяқталғанша үздіксіз толтырып отырады. Сүзу процесінде сүзінді қабылдайтын Бунзен колбасына (2) алғашқы тамшы тамған сәтте секундомерді іске қосып, сүзу уақытын өлшейді. Екі бағытты кранды ашып, дифференциалды монометрдегі сынап деңгейін орныққан

мәнде болуын қадағалайды. Сүзіндінің қандай да бір көлемі сүзілгеннен кейін мысалы, әрбір 20 мл сайын секундомердің көрсетуін зертханалық дәптерге жазып отырады. Сүзу процесі аяқталып, сүзіндінің соңғы тамшысы тамған сәтте секундомерді өшіреді. Оның соңғы көрсеткішін жазып алады. Екі бағытты кранды (3) жауып, су ағыны насосын өшіреді. Бунзен колбасына жинақталған сүзінді көлемі мен Бюхнер воронкасына жинақталған тұнба қалыңдығын өлшеп, нәтижелерін есеп беру кестесіне жазып алады. Барометр көрсеткішінен атмосфералық қысым мәнін анықтайды. Суспензияны дайындауға алынған судың температурасын өлшейді.

#### Есеп беру кестесі

Фаза-лар қатынасы	Уақыт, $\tau$ , с	Көлем, $V$ , м <sup>3</sup>	$\tau/V$ , с/м <sup>3</sup>	$\Delta P$ , Па	$A$ , с/м <sup>6</sup>	$B$ , с/м <sup>3</sup>	$r_0$ , 1/м <sup>2</sup>	$R_{фк}$ , 1/м

**Тәжірибе нәтижелерін өңдеп, есеп беру.** Алынған тәжірибе нәтижелері бойынша уақыттың көлемге қатынасын анықтап, табылған мәндер бойынша тәуелділік графигін тұрғызады. Ол үшін ордината осінен  $\tau/V$  қатынасы мәндерін, ал абсцисс осінен сүзінді көлемінің мәндерін анықтайды. Алынған нүктелер арқылы түзу сызық жүргізеді. Түзу сызықтың ордината осімен қиылысқан тұсындағы мәні  $B$  шамасын береді. Түзуге салынған үшбұрыштың еңкіш бұрышының тангенсі (қарсы жатқан катеттің іргелес жатқан катетке қатынасы)  $A$  шамасының мәнін береді. Табылған  $A$  және  $B$  шамаларының мәндері бойынша сүзетін бөгет пен тұнбаның меншікті кедергілерін есептеп, қорытынды жасайды.

#### Өзін-өзі бақылау сұрақтары

1. Сүзу үдерісі дегеніміз не?
2. Сүзу үдерісінің қозғаушы күші қандай шама?
3. Сүзетін бөгет ретінде қандай материалдар қолданылады?
4. Сүзу үдерісіндегі жалпы кедергілер қандай шамалардан құралады?
5. Сүзу үдерісінің жылдамдығын анықтайтын теңдеуді қалай алады?
6. Тұнбаның меншікті көлемдік кедергісінің физикалық мәні неде?
7. Сүзетін бөгет кедергісінің физикалық мәні не?
8. Тұнбаның меншікті кедергісі мен сүзетін бөгет кедергісі шамалары қандай мәндерді көрсетеді?
9. Қысым айырымының тұрақты мәнінде сүзу теңдеуі қалай сипатталады?
10. Қандай жағдайда сүзу жылдамдығы шамасы төмендейді?
11. Сүзу теңдеуінің тұрақтыларына қандай шамалар кіреді?
12. Сүзу теңдеуінің тұрақтыларын қалай анықтайды?



13. Тәжірибені жүргізуге қандай қондырғы қолданылады?
14. Тәжірибені қалай жүргізеді?
15. Тәжірибе барысында қандай шамаларды анықтау қажет?
16. Есеп беру кестесіне қандай шамалар кіреді?

### **Әдебиеттер**

1. Ешова Ж.Т., Акбаева Д.Н. Химиялық технологияның негізгі үдерістері мен аппараттары: оқу құралы. – Алматы: Қазақ университеті, 2021. Б. 82-92.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. –М.: Химия, 1973. С. 191-197.
3. Мустахимов Б.К. Химиялық технологияның процестері және аппараттарындағы жұмыстардың теориясы мен істелуі. –Алматы, 2000. Б. 26-29.