

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Алматы энергетика және байланыс университеті»  
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы

А.А.Тұманова

**СУДЫ ДАЙЫНДАУДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІ**

Оқу құралы

Алматы 2010

УДК 621.182.12: 621.311.2 (075.8)

ББК 31.32. Я 73

К 15 Суды дайындаудың физика-химиялық әдістері:

Оқу құралы /А.А.Тұманова; АЭЖБУ. Алматы, 2010. – 80 бет.

ISBN 978 – 601 – 7098 – 06 - 3

Жылу электр стансалары мен өнеркәсіптік өндірістерде жылутасығыш ретінде қолданылатын судың өңдеуінде қолданылатын алдын-ала тазарту (коагуляциялау, ізбестеу, сүзу), ион алмасу, мембраналық (кері осмос, электродиализ, ультрасүзу), суды газсыздандыру, термиялық тұзсыздандыру әдістерінің негіздері қарастырылады.

5В071700 – «Жылуэнергетика» мамандығы бойынша барлық оқу түрінің бакалаврларына арналған оқу құралы.

Без. 31, кесте.1, әдеб. көрсеткіші. - 7 атау.

ББК 31.32. Я 73

ПІКІРБЕРУШІ: ҚазҰУ, техн.ғыл.докторы, проф. М.К.Наурызбаев.

АЭЖБУ, хим.ғыл.канд., доц. К.С.Идрисова.

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігінің 2010 жылғы баспа жоспары бойынша басылады.

ISBN 978 – 601 – 7098 – 06 - 3

© «Алматы энергетика және байланыс университетінің» КЕАҚ, 2011 ж.

## Кіріспе

Техникалық пайдалану ережелеріне сәйкес электр стансалары мен желілерінің су дайындау қондырғыларын пайдалану режимі мен су-химиялық режимі электр стансалардың және жылулық тораптар өндірістері қондырғыларының ішкі беттерінде қақтардың түзілуін болдырмай, коррозия процесіне ұшыратпай істеу қажет.

Қазіргі жылу электр стансаларының қондырғылары жоғары жылулық жүктемелерде істейді. Бұл өз кезегінде қызу беттерінде түзілетін қақ қалыңдығына қатаң шектер қояды. Мұндай қақтар электр стансаларының циклдарында жылу тасымалдау ретінде қолданылатын судың құрамындағы қоспалардан түзіледі. Сондықтан ЖЭС және АЭС сулы жылу тасымалдаушының жоғары сапасын қамтамасыз ету негізгі міндет болып табылады. Мұнымен қатар жоғары сапалы сулы жылу тасымалдаушы пайдалану таза буды алуға, қазандар, шығырлар және шық-қоректік трактінің конструктивті материалдарының жемірлену процестерін баяулатуда үлкен рөл атқарады.

Суды тазарту – бұл су құбыры торабына табиғи көзден келіп түсетін судың сапасын нормалармен бекітілген көрсеткіштерге дейін жеткізу мақсатындағы технологиялық процестердің кешені. Әр түрлі әдістерді қолдану кезінде суды өңдеу әдісін таңдау, технологиялық процестің жалпы сұлбесін құрастыру бастапқы судың сапасы мен құрамына, электр стансасының типіне, оның параметрлеріне, қолданылатын негізгі қондырғыларына (бу қазандарына, шығырларына), жылуландыру жүйесі мен ыстық сумен қамтамасыз ету жүйелеріне байланысты болады.

Ұсынылып отырған оқу құралында суды физика-химиялық өңдеудегі қолданылатын алдын-ала тазарту әдістерінің (коагуляциялау, ізбестеу, сүзу), ион алмасу, газсыздандыру, термиялық тұзсыздандыру, мембраналық әдістер (кері осмос, электродиализ, ультрасүзу) негіздері қарастырылды.

## 1 Суды жылуэнергетикада пайдалану

Сумен қамдау көздерінен алынатын су жылуэлектр стансаларында келесі мақсаттарда пайдаланылады:

- 1) технологиялық шикі зат ретінде буландырғыштарда, бу түрлендіргіштерде, бу өндіргіштерінде, қазандықтарда, қайнайтын типті ядролы реакторларда буды алуда;
- 2) бу шығырларында және басқа жылуалмастырғыш аппараттарында пайдаланылған буды шықтауда;
- 3) ЖЭС пен АЭС-дың әртүрлі агрегаттарын салқындатуда;
- 4) ыстық сумен қамтамасыз ету жүйелері мен жылу тораптарында, АЭС-дың I-ші долбарында жылутасығыш ретінде.

Электр және жылу энергиясын өндіруде су сапасына қойылатын талаптарды қамтамасыз ету үшін судың арнайы физика-химиялық өңдеуін жүргізу қажет. Табиғи суды тазартумен қатар электр стансаларында ағынды суларды қайта пайдалану мәселелерін де шешу қажет.

Суды технологиялық өңдеу процесінің жалпы сұлбасын құрастыру бастапқы судың құрамына, электр стансасының типі мен параметрлеріне, қолданылатын негізгі жабдықтарға, жылу және ыстық сумен қамтамасыз ету жүйесіне тәуелді.

Су дайындаудың мақсаты – талаптарына сәйкес келетін өңдеу әдістерін тандап, қазандықтарда өтетін ішкі процестерді ұйымдастыру нәтижесінде электр стансаларының үнемді және берік су режимін құрастыру.

Су дайындаудың негізгі міндеттері:

- 1) бу түзуші және буды аса қыздыратын құбырлардың ішкі бетінде темір оксидтері мен кальций қосылыстарының, ал бу шығырларының ағынды бөлімінде – мыс, темір қосылыстарының, кремний қышқылы мен натрий шөгінділерінің түзілуін болдырмау;
- 2) ЖЭСдің негізгі және қосалқы жабдықтарының конструкциялық металдары су және бумен контактілегенде, сонымен қатар резервте болған кезде, оларды жемірленуден қорғау;

Тек қана электр энергиясын өндіретін жылуэлектр стансалары **шық электр стансалары (ШЭС)** деп аталады.

Шығырларда өңделген бу жылумен қамтамасыз ету жүйесінде қолданылса, мұндай ЖЭС **жылуэлектрорталығы (ЖЭО)** деп аталады.

ШЭС және ЖЭО айналымдарында пайдаланылатын судың түрлері:

а) **Бастапқы табиғи су ( $D_{басм}$ )** – сумен қамдау көздерінен алынған және су дайындау қондырғысына технологиялық шикі зат ретінде жіберілетін, сонымен қатар электр энергиясын алуда басқа мақсаттармен де қолданылатын су.

б) **Қосылатын су ( $D_{қос}$ )** – электр стансасының су-бу айналымындағы бу мен шықтың шығынын толықтыру үшін қолданылатын су. Бу өндіргіштерінде қоректі суға қосылатын су ретінде химиялық өңделген суды немесе дистиллятты (буландырғыштардың екіншілік бу шығы) қолдануға болады.

в) *Қоректік (газсыздандырылған) су ( $D_{қор}$ )* – буланып кеткен қазан суының шығынын толықтыру үшін бу өндіргіштеріне сорғылар арқылы жіберілетін су. Оның құрамы: шығырлардың шығы, жаңғыртулық және жылуландыру қыздырғыштардың шығы, сыртқы тұтынушылардан қайтатын шық және қосылатын сулардың қоспасы.

г) *Шығыр шығы ( $D_{ш.ш.}$ )* – құрамында аз ғана мөлшерде еріген заттары бар қоректік судың ең бағалы құрастырғышы. ЖЭС-та оның шығынын азайтудың барлық жағдайын жасау қажет.

д) *Сыртқы тұтынушылардан будың қайтатын шығы ( $D_{қайт}$ )* – бөгде қоспаларынан алдын-ала тазартылған қоректік судың құрама бөлігі ретінде қолданылады.

е) *Қазандық суы ( $D_{қаз}$ )* – бу өндіргіштерінде буланатын су (бу түрлендіргіштер мен буландырғыштарда буланатын суды концентрат деп атайды).

ж) *Үрлеу арқылы тазартылған су немесе үрленген шоғырма ( $D_{үр}$ )* – ЖЭС циклына үзбей келіп түсетін қоспалардың концентрациясын берілген деңгейде тұрақты ұстап туру үшін бу өндіргіштерден, буландырғыштардан және бу түрлендірушілерден шығарылатын су.

з) *Салқындататын (айналып келетін су) ( $D_{сал}$ )* – істеп шыққан буды шықтау үшін бу шығырларының шықтағыштарында қолданылатын су.

и) *Қосылатын қорекі суы ( $D_{қ.қ.}$ )* – айналып келулік жүйелік судың шығынын толықтыру үшін жылуландыру жүйесіне жіберілетін су.

ЖЭС пен АЭС-ті пайдалану кезінде станса ішілік бу мен шықтың шығындары пайда болуы мүмкін:

а) қазандықтарда – үзілмейтін және үзілетін үрлеу кезінде, сақтандырғыш қалпақтарды ашқанда, күл мен қождан тазартқанда, қыздырудың сыртқы бетін су немесе бумен жуған кезде, шашыратқыштарда сұйық отынды шашыратқанда;

б) шығырлы өндіргіштерде бу-ауа эжекторлар мен лабиринтті нығыздаулар арқылы;

в) сынама алу нүктелерінде;

г) күбілерде, сорғыштарда, құбырларда ыстық судың деңгейі асып төгілгенде, буланғанда, майлықтан өткенде.

Станса ішілік бу мен шық шығындары ЖЭС-тың жалпы бу өндірулігінен – 2-3%, ал АЭС-да – 0,5-10% құрайды. Бұл шығындарды қосылатын қорекі суын қосып толықтырады. Өндірістік ЖЭО-да бу мен шықтың сыртқы шығындары да болады. Сондықтан мұнда қосылатын судың мөлшері өндірілетін будың 10-50% шамасына барады.

## **1.1 Табиғи сулар қоспаларының жіктелуі**

Табиғи суларды әр түрлі нышандары бойынша жіктейді.

1) *Судың тұздылығы* бойынша: тұщы < 1 мг/кг, аз тұздалған 1-10 мг/кг, тұздалған > 10 мг/кг.

2) Су қоспаларының дисперстілік дәрежесі (немесе бөлшектердің ұсақтану дәрежесі) бойынша жіктелуі кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Су қоспаларының дисперстілік дәрежесі бойынша жіктелуі

№	Дисперстілік дәрежесі	Қоспалары
1.	< 1 нм	Шын еріген (иондар, молекулалар)
2.	1- 100 нм	Коллоидты дисперсті
3.	> 100 нм	Жүзгін (дөрекі) дисперсті

Табиғи сулардың лайлылығын қамтамасыздандыратын және механикалық қоспаларға жататын жүзгін дисперсті заттарға құм, топырақ, т.б. минералды және органикалық заттар жатады. Коллоидты дисперсті заттар бөлшектерінің мөлшері бойынша жүзгін дисперсті мен шын ерітілгендердің арасында болады. Олар қағаз сүзгісінен оңай өтсе, малдың және өсімдіктердің мембраналарынан өте алмайды. Табиғи суларда коллоидты-дисперсті заттарға кремний, алюминий, темір қосылыстары, өсімдіктер мен малдың ыдырауы нәтижесінде түзілетін органикалық заттар жатады. Шын еріген (молекулалық және ион-дисперсті) заттарға суда еріген тұздар, қышқылдар, сілтілер және газдар жатады.

3) Химиялық құрамы бойынша табиғи сулар қоспалары минералдық және органикалыққа бөлінеді.

Минералдық қоспаларға еріген газдар ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ), биохимиялық процестердің нәтижесінде түзілетін газдар ( $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ ), ағын суларымен әкелінетін газдар, катиодар мен аниондар ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $SiO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ) түрінде болатын тұздар, қышқылдар, негіздер жатады.

Топырақтар мен шымтезекті батпақтардан жуылып ашық суаттарға түсетін органикалық заттарды гумус заттарына жатқызады. Беттік суаттарда органикалық заттардың сандық және сапалық мөлшерінің артуына жеткілікті тазаланбаған тұрмыстық, өндірістік және ауыл шаруашылық науалары әсер етеді.

## 1.2 Су сапасының көрсеткіштері

Жылуэнергетикада қолданылатын су сапасына келесі көрсеткіштер жатады:

- 1) Жүзгін дисперсті заттар концентрациясы.
- 2) Шын ерітілген қоспалар концентрациясы.

3) Коррозиялық белсенді газдар концентрациясы.

4) Сутек иондарының концентрациясы (рН).

5) Технологиялық көрсеткіштер: құрғақ және қызартылған қалдық, тотығушылық, кермектілік, сілтілік, кремний мөлшері, меншікті электр өткізгіштік.

Жүзгін дисперсті заттар концентрациясын суды қағаз сүзгісі арқылы сүзіп, 378-383 К-де тұрақты массасына дейін құрғатып, өлшеп анықтауға болады. Іс жүзінде бұл көрсеткішті судың мөлдірлігі және лайлылығы арқылы анықтайды.

Жүзгін дисперсті заттардың көтеріңкі концентрацияларында мөлдірлікті түбінде сызықтарының қалыңдығы 1 мм болатын шрифт немесе крест орнатылған шыны бағанасындағы бақыланатын затты байқауға болатын су бағанының биіктігімен анықтайды. Жүзгін дисперсті заттардың азырақ концентрацияларында (<3 мг/кг) нефелометрлік әдісті қолданады. Бұл әдіс талданатын судың лайлылығын эталонмен салыстыруға негізделген. Мұнымен қатар жүзгін дисперсті заттар концентрациясын қызартылған және құрғақ қалдықтардың айырымынан анықтайды (яғни сүзілмеген және сүзілген судың 1 кг буландырып).

Судағы органикалық қоспалардың мөлшерін *судың тотығушылығымен* бағалайды. *Тотығушылық* - 1 кг судағы органикалық қоспаларды тотықтыру үшін күшті тотықтырғыш (әдетте  $\text{KMnO}_4$ ) шығынының мөлшері.

Шын ерітілген қоспалар концентрациясын (мг/кг, мг-экв/кг) химиялық талдау әдістерімен анықтайды. Талдаудың дұрыс өткізілуі электрбейтараптылық заңына негізделген, яғни судағы катиондар концентрацияларының қосындысы аниондар концентрацияларының қосындысына тең болуы:

$$\Sigma K_t = \Sigma A_n, [\text{мг-экв/кг}].$$

Талдау қателігі  $\leq 1\%$  болуы қажет. Катиондар мен аниондардың қосынды концентрациясы судағы тұз мөлшерін құрайды (сутек және гидроксид-иондар концентрациясын ескермей).

Судың кермектілігі жылу электр стансаларында пайдаланылатын судың негізгі көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Іс жүзінде табиғи суларда кальций және магний иондарының концентрациясы басқаларға қарағанда жоғары болғандықтан **кермектілік** деп судағы кальций және магний иондарының эквиваленттерінің молярлы концентрацияларының (нормальдіктерінің) қосындысын айтады. ИСО 6107-1-8:1996 стандарты бойынша **кермектілік** деп судың сабынмен көбік түзуге қабілеттілігін айтады.

Лезде бақылау кезінде кермектілік катионитті сүзгілерден кейінгі суларда, коагуляция мен ізбестеуді жүргізгенде мөлдірлеткіш суында және будың өндірістік тұтынушыларының конденсатында анықталады.

Жалпы кермектілікті кальций және магний иондарының қосынды

концентрациясы түрінде анықтайды:

$$K_{\text{ж}} = C_{\text{экв}}(\text{Ca}^{2+}) + C_{\text{экв}}(\text{Mg}^{2+}), [\text{мг-экв/кг}; \text{мкг-экв/кг}]. \quad (1)$$

Кальций кермектілігі кальций иондарының концентрациясына байланысты:

$$K_{\text{Ca}^{2+}} = C_{\text{экв}}(\text{Ca}^{2+}).$$

Магний кермектілігі магний иондарының концентрациясына байланысты:

$$K_{\text{Mg}^{2+}} = C_{\text{экв}}(\text{Mg}^{2+}).$$

Судың құрамындағы қосылыстардың табиғаты бойынша карбонатты  $K_{\text{к}}$  (уақытша) және карбонатсыз  $K_{\text{кс}}$  (тұрақты) кермектіліктерді ажыратады.

Карбонатты кермектілік гидрокарбонат- және карбонат-иондарына эквивалентті кальций және магний иондарының концентрациясына тәуелді ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{MgCO}_3$ ). Егер  $K_{\text{ж}} > C_{\text{ж}}$  болса, онда  $K_{\text{к}} = C_{\text{ж}}$ , ал кері жағдайда

$$K_{\text{к}} = K_{\text{ж}}.$$

Карбонатсыз кермектілік деп күшті қышқылдар аниондарымен (хлоридтер, сульфаттар, нитраттар) байланысқан кальций және магний иондарының мөлшерін айтады ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ):

$$K_{\text{кс}} = K_{\text{ж}} - K_{\text{к}}. \quad (2)$$

Кермектіліктің мөлшеріне байланысты табиғи сулар былай жіктеледі: кіші кермекті су ( $K_{\text{кс}} < 1,5$  мг-экв/кг), орташа кермекті су ( $K_{\text{кс}} = 1,5-3,0$  мг-экв/кг), көтеріңкі кермекті су ( $K_{\text{кс}} = 3,0-6,0$  мг-экв/кг), жоғары кермекті су ( $K_{\text{кс}} = 6,0-12,0$  мг-экв/кг) және аса жоғары кермекті су ( $K_{\text{кс}} > 12,0$  мг-экв/кг).

**Судың сілтілігі** деп судағы әлсіз қышқылдар аниондары мен гидроксил иондарының қосынды концентрациясынан сутек-иондарының концентрациясын алып тастағандағы шаманы айтады.

Суда еріген затқа байланысты сілтіліктің бірнеше түрін ажыратады: гидраттық  $C_2$  ( $\text{OH}^-$  иондарының әсерінен), бикарбонаттық  $C_6$  ( $\text{HCO}_3^-$ ), карбонаттық  $C_{\text{к}}$  ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), фосфаттық  $C_{\text{фосф}}$  ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), силикаттық  $C_{\text{сил}}$  ( $\text{HSiO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ), гуматтық  $C_{\text{гум}}$  (гумин және фульвоқышқыл тұздары) және т.б.

Беттік және жер асты табиғи суларының сілтілігі әдетте олардың құрамындағы бикарбонаттардың және гуматтардың, яғни әлсіз қышқыл тұздарының болуымен түсіндіріледі. Na-катиондаумен жұмсартылған судың сілтілігі де бикарбонаттар және гуматтармен түсіндіріледі, ал ізбестеу әдісімен жұмсартылған судың немесе ізбестеу суының сілтілігі гуматтармен бірге



гидраттар және карбонаттардың болуына байланысты; қазандық сулардың сілтілігі олардың құрамындағы күйдіргіш сілтілердің, соданың, фосфаттардың және силикаттардың, сонымен қатар гуматтардың болуына байланысты.

**Меншікті электр өткізгіштік** деп ұзындығы 1 см және қимасының ауданы 1 см<sup>2</sup> зерттелетін су бағанасының кедергісін айтады. Су фазасының меншікті кедергісі еріген заттар табиғатына, концентрациясы мен температурасына тәуелді.

Меншікті электр өткізгіштік – меншікті электрлік кедергіге кері шама болып табылады:

$$\chi = 1/\rho, \quad (3)$$

мұнда  $\rho$  – судың меншікті электрлік кедергісі.

Ағын суларының электр өткізгіштігі олардың құрамына ғана емес, сонымен қатар температурасына да тәуелді болады. Бұл тәуелділік дәлірек түрде 2 дәрежедегі полином түрінде өрнектеледі:

$$\chi = \chi_0 (1 + \alpha t + \beta t^2), \quad (4)$$

мұнда  $\alpha$  мен  $\beta$  – еріген заттар табиғаты мен концентрациясына тәуелді коэффициенттер.

Электр өткізгіштігін өлшеуге негізделген суды талдау әдісі *кондуктометрия* деп аталады.

### 1.3 Жылутасығыш ластануының көздері

Жылутасығыш ластануының көздері:

- 1) бу мен шықтың ішкі және сыртқы шығындарын өтеу үшін қосылатын судың қосындылары;
- 2) жүйелік немесе салқындатылған судың бу шықтағышына сормасы;
- 3) ЖЭО-ға будың сыртқы тұтынушыларынан қайтатын ластанған шықтың қосындылары;
- 4) су тәртібін түзету үшін бу-су трактіне әдейі енгізілетін қосындылар (фосфаттар, гидразин, аммиак және т.б.);
- 5) конструкциялық материалдардың жемірлену өнімдері.

АЭС-да сонымен қатар ядролы отынның бөліну өнімдері түріндегі қосындылар болады. Су мен будың қосынды ластануына айтылып кеткен көздердің әсері жұмыс шарттары мен негізгі жылуэнергетикалық қондырғылардың типіне байланысты.

Шығыр шықтағыштарындағы салқындатылған судың сормасы вакуумда болатын бу қысымына қарағанда су жағының шығы жоғарырақ қысымда болуы себепші болады. Судың сормасы әдетте шықтанатын будың 0,005-0,003% мөлшеріне барады. Егер мұнда жемірлену процесі жүріп жатса, 0,01-0,02%-ға дейін жоғарылайды.

Жемірлену өнімдері суға коллоидті және жүзгін дисперсті түрлерінде өтеді.

Тектегіш контурларының суында әдетте хром, марганец, темір, кобальт, йод және т.б. элементтердің радионуклидтары кездеседі.

ЖЭС-да суды әртүрлі әдістермен өңдейді. Бұл әдістерді физикалыққа (реагентсіз) және химиялыққа (реагенттерді қолданатын) бөледі.

Реагентсіз әдістер суды өңдеу процесінің бөлек этаптары ретінде немесе өзіндік әдістер ретінде қолданылады. Химиялық әдістер арқылы жұмсартылған және терең тұзсыздандырылған суды алады.

Физикалық әдіс суды қыздыру арқылы сапалы дистиллятты алуға мүмкіндік береді, бірақ мұнда химиялық өңделуі өткізілген жұмсартылған су қолданылады.

Бу-шығыр қондырғыларының долбарын сумен толтыру үшін және шығындарды толқтыру үшін тек қана терең тұзсыздандырылған су қолданылады. Мұндай суды физикалық және химиялық әдістермен алуға болады.

Су дайындау қондырғыларын пайдалану кезінде өңделетін судың 5-20% шығынының мөлшерінде ақаба сулар пайда болады. Оларды су қоймасына ағызу үшін құрамындағы қоспаларды шекті мүмкін шоғырына дейін тазарту қажет.

## 2 Суды алдын-ала тазарту

Суды тазартудың ең бастапқы этапы – алдын-ала тазарту – су дайындау қондырғыларында (СДК) жүргізіледі. Бұл этапта судан жүзгін және коллоидті заттары бөлініп, бикарбонатты сілтілігі төмендейді. Алдын-ала тазарту көбінесе тұндыру әдістерімен жүргізіледі, яғни қоспалар судан тұнба түрінде бөлініп шығады. Тұндыру әдістеріне коагуляция, избестеу және магнезиалды кремнийсыздандыру жатады. Бұл процестер мөлдірлеткіштерде химиялық реагенттерді қосу арқылы жүзеге асады. Мөлдірлеткіште судың біріншілік тазартылуы, ал тұнбадан суды ең соңғы тазартуда сүзу әдісі (реагентсіз) қолданылады.

### 2.1 Суды коагуляциялау

Коллоидты қоспалар - қатты фаза мен су арасында бөлу беті бар көптеген молекулалардан тұратын агломераттар. Сүзу материалы көлеміндегі кеуек мөлшері мен коллоидты бөлшектер мөлшері қатынасына байланысты коллоидты бөлшектер сүзгіш материалдарында (құм, сүзу қағазы) ұсталып қалмайды.

Табиғи сулардағы коллоидты жүйелердің *агрегативті* (яғни коллоидты бөлшектер мөлшерінің) *тұрақтылығы* болады. Коллоидты бөлшектердің кіші мөлшерлеріндегі агрегативті тұрақтылығы *седиментациялық тұрақтылыққа* (яғни ерітіндінің бүкіл көлемінде коллоидты бөлшектер концентрациясының

тұрақтылығына) әкеледі.

Суды байланыстыру қабілеттілігіне байланысты коллоидты заттар *гидрофобты* және *гидрофильдіге* бөлінеді. Үлкен электрлік заряды бар гидрофобты коллоидтар – топырақ, құм бөлшектері, метал (алюминий, темір) оксидтерінің зольдері – судың молекулаларын нашар байланыстырады. Гидрофильды коллоидтар судың түсін қамтамасыз етеді. Бұлар суаттарға ағын суларымен түседі, су молекулаларының үлкен мөлшерін байланыстыра алады, электрлік зарядының мәні шамалы болады.

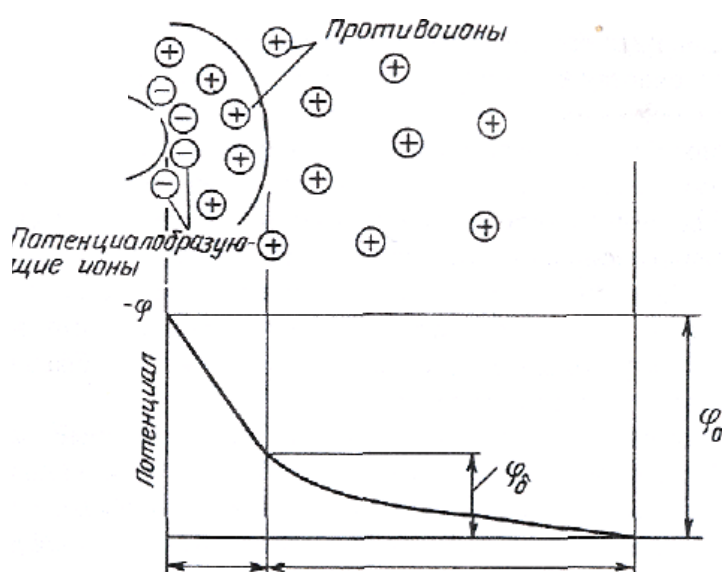
Агрегативті тұрақтылығынан айырылғанда коллоидты бөлшектер бір біріне жабысады. Молекула аралық тартылыс күштерінің әсерінен коллоидты бөлшектердің жабысуынан жүзгін макрофазасы (флокулалары) түзіліп, судан бөлінуінің физика-химиялық процесін *коагуляция* деп атайды.

Суды дайындауда коллоидты бөлшектердің өзара коагуляциясына негізделген процесс қолданылады. Ол үшін суға оң зарядталған бөлшектері бар коллоидты ерітінді түзетін коагулянттар деп аталатын реагенттерді қосады. Бұл реагенттер коллоидті жүйенің тұрақтылығын бұзып, бөлшектердің іріленуіне әкеледі.

Коагуляцияның негізгі тағайындалуы – судан органикалық қоспаларды бөліп алу. Мұнымен қатар, коагуляция кезінде жүзгін дисперсті қоспаларының концентрациясы, судың түстілігі төмендейді және суды реагенттік әдіспен жұмсарту кезінде кальций карбонаты мен магний гидроксидін тұндыру шарттары жақсартылады. Коагуляция процесінің сапасын бастапқы және өңделген судың түстілігі, мөлдірлігі, тотығушылығынан бақылайды.

Коллоидты жүйенің агрегативті тұрақтылығы коллоидты бөлшек пен су арасындағы бөлу бетінде қос электрлік қабаттың түзілуі мен потенциалдың секіруімен түсіндіріледі.

Артық энергиясы бар коллоидты бөлшектің бетінде *потенциал тұзуші иондар* орналасады (1 – сурет).

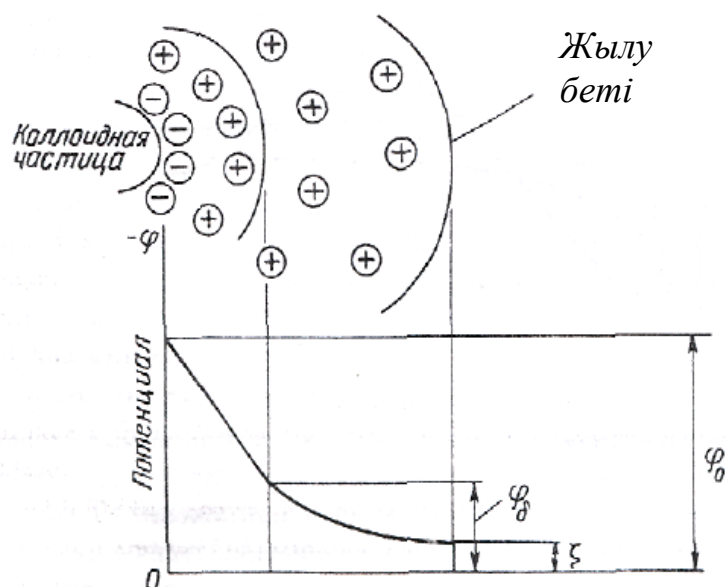


1 сурет – Қозғалмайтын коллоидты бөлшектің құрылымы

Потенциал түзуші және қарама-қарсы иондар коллоидты бөлшектің айналасында қос электрлік қабатты түзеді. Коллоидты бөлшектің шекарасында қос электрлік қабаттың потенциалы ( $\varphi_0$ ), ал қос электрлік қабаттың диффузиялық бөлімінің шекарасында  $\varphi_\delta$  потенциалы түзіледі.

Коллоидты бөлшек қозғалмаған кезде бөлшектің қос электрлік қабатпен комплексі электрбейтарапты болады. Дисперсті фазаның бөлшегі қос электрлік қабатпен бірге мицелланы түзеді. Мицелланың ішкі бөлігін негізгі заттың агрегаты құрайды. Оның бетінде потенциал анықтаушы иондар орналасады. Агрегат потенциал анықтаушы иондармен бірге мицелланың ядросын түзеді. Ядро қос электрлік қабаттың тығыз бөлігінің қарама қарсы иондарымен гранулануы түзеді. Диффузиялық қабаттың қарама қарсы иондарымен қоршалған зарядталған гранула электр бейтарапты мицелла болады.

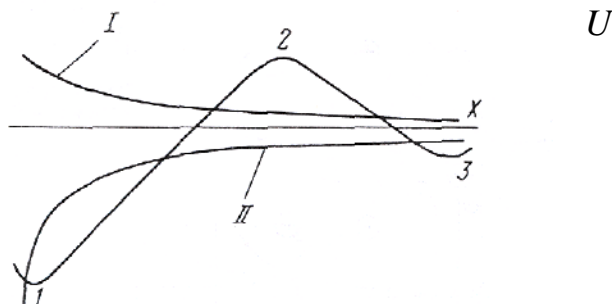
Коллоидты бөлшектің сұйықтықтағы броун қозғалысы кезінде жылжу беті бойында қос электрлік қабат түзіледі. Бөлшек диффузиялық қабат иондарының бір бөлігін ұстап қалады, ал диффузиялық қабаттың қалған иондары ерітіндіде қалады (2 – сурет). Жылжу бетінде қозғалыстағы коллоидты бөлшек пен оны қоршаған орта арасында потенциалдар айырымы пайда болады. Осы жылжу бетіндегі потенциал электрокинетикалық потенциал немесе  $\zeta$  (дзета)-потенциал деп аталады.



2 сурет – Қозғалыстағы коллоидты бөлшектің құрылымы

Табиғи судағы коллоидты бөлшектер үшін  $\zeta$  -потенциал жуықтағанда -70 мВ құрайды.  $\zeta$  -потенциалдың мәні диффузиялық қабатпен ерітіндідегі қарама қарсы иондардың концентрациясына тәуелді. Коллоидты бөлшектің бетінде таңдамалы адсорбциялануға қабілеттілігі бар көп валентті қарама қарсы иондардың жеткілікті мөлшерін коллоидты жүйеге қосқанда  $\zeta$  -потенциалдың мәні нөлге ұмтылады да, одан кейін бөлшектің қайта зарядталуы мүмкін, яғни заряд таңбасы қарама қарсыға ауысады.

Коллоидты мицеллалар суда бөлшектерді ыдыстың түбіне түсіун мәжбур ететін ауырлық күш әсерінен, сонымен қатар броун қозғалысынан пайда болатын диффузиялық күштердің әсерінен болады. Диффузиялық күштердің әсерінен бөлшектер сұйықтың бүкіл көлемі бойынша біркелкі таралуға ұмтылады.



3 сурет – Коллоидты бөлшектердің арасында әрекеттесудің сомарлы энергиясы

Коллоидты бөлшектер әрекеттесуінің сомарлы энергиясы  $U$  электростатикалық тебіліс энергиясы мен молекула аралық тартылыс энергиясынан тұрады (3 – сурет). Коллоиды бөлшектер арасында әрекеттесудің сомарлы энергиясының олардың арасындағы ара қашықтығынан ( $x$ ) тәуелділік қисығында екі энергетикалық минимум (1, 3) және бір максимум (2) (потенциалдық барьер) бар.

Коллоидты бөлшектер арасында кіші және үлкен ара қашықтықтарда тартылыс энергиясы басым болады (1, 2 күйі). Бұл энергия коагуляцияны, яғни коллоидты бөлшектердің жабысуын қамтамасыз етеді. Қос электрлі қабаттың қалыңдығына сәйкес болатын коллоидты бөлшектер арасында орташа қашықтықтарда тебіліс энергиясы басым болады (3-ші күйі). Бұл энергия бөлшектердің жабысуын болдырмайды. Адсорбциялық қабаттың потенциалы  $\varphi_\delta > -20$  мВ болған кезде біртекті коллоидты жүйенің агрегативті тұрақтылығын қамтамасыз ететін потенциалдық барьер пайда болады. Табиғи сулардың коллоидты жүйелерінің  $\zeta = -70$  мВ.  $\varphi_\delta > \zeta$  болғандықтан, табиғи сулардың коллоидты жүйелері жоғары потенциалдық барьермен және үлкен агрегативтік тұрақтылықпен сипатталады.

Коллоидты жүйеге электролитті қосу арқылы коагуляцияны қамтамасыз етуге болады (*электролиттік коагуляция*). Процес кезінде қос электрлі қабат қысылады да  $\zeta$ -потенциалдың абсолюттік мәні төмендейді. Адсорбциялық қабаттағы қарама қарсы иондардың сомарлы заряді потенциал түзуші иондардың зарядына тең болғанда,  $\zeta$ -потенциал нөлге теңеседі де коагуляция өте қарқынды өтеді.  $\zeta = 0$  болған жағдайда коллоидты жүйенің күйі *изоэлектрлік күйі* деп аталады. Бұл *изоэлектрлік күйге сәйкес келетін рН* мәні *изоэлектрлік нүктенің рН* деп аталады ( $pH_{из}$ ).

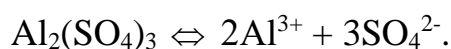
Табиғи суларды электролитті қосу арқылы коагуляциялау (тұзсыздандыру) судағы тұз мөлшерінің жоғарлауына әкеледі. Бұл өз кезегінде судан иондалған қоспаларды толық не жарым-жартылай бөліп алудың келесі сатысында суды тазарту процесінің техника-экономикалық көрсеткіштерін төмендетеді.

Қосылатын суды тазарту кезінде әртекті дисперсті жүйелердің өзара коагуляциясын – *гетерокоагуляцияны* қолданады. Ол үшін тазартылатын суға коагулянт, яғни жасанды коллоидты ерітіндіні түзуге қабілеттілігі бар минералды тұздың ерітіндісі қосылады. Табиғи сулардың коллоидты бөлшектері әдетте теріс зарядты болғандықтан, минералды тұзды бұл тұздың түзген жасанды коллоидты ерітінді бөлшектері оң зарядталған болатындай етіп таңдайды. Өңделетін табиғи суға коагулянтты қосқан кезде табиғи судың теріс зарядталған коллоидты бөлшектері коагулянттың оң зарядталған коллоидты бөлшектерімен бейтарапталып, бір біріне жабысып тұнбаға түсетін үлшектерге дейін іріленеді.

Табиғи сулар коллоидты бөлшектерінде қарама-қарсы иондар ретінде көбінесе натрий немесе калий катиондары болады. Бұл катиондар судағы катиондарға алмасады. Коллоидты бөлшектің бір валентті қарама қарсы иондары суда болатын екі валентті кальций және магний иондарына алмасқанда коллоидты жүйелердің агрегативті тұрақтылығы төмендейді. Бұл тұрақтылық үш валентті катиондардың әсерінен одан бетер төмендейді. Сондықтан қалқымаларды үш валентті металдар тұздарымен коагуляциялау ең үлкен әсер береді.

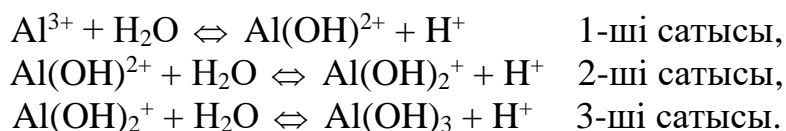
Табиғи суды органикалық қоспалардан тазартқанда коагулянт ретінде алюминий сульфатын (глинозем)  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , темір сульфатын (темір купоросын)  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , алюминий оксихлоридін  $Al_m(OH)_nCl_{3(m-n)}$  қолданады. Коагуляция және ізбестеу процестерін қосарлана жүргізгенде коагулянт ретінде темір сульфатын қолданады.

Өңделетін суға алюминий сульфатын қосқан кезде  $Al_2(SO_4)_3$  диссоциациялануы жүреді:



Алюминий иондары суды ластайтын коллоидты бөлшектердің адсорбциялық қабатындағы қарама-қарсы иондарымен алмасу реакциясына түседі. Коллоидты бөлшектердің алмасу қабілеттілігі біткенде коагуляция процесі аяқталады.

Диссоциация және ион алмасу процестерімен қатар аз еритін алюминий гидроксидінің түзілуіне әкелетін суға қосылған алюминий сульфатының артық мөлшерінің гидролизі өтеді:



Нәтижесінде гетерокоагуляция процесіне әкелетін нашар еритін алюминий гидроксиді  $Al(OH)_3$  қосылысының коллоиды түзіледі.

Жалпы түрінде:



Гидролиз процесі өтуінің тереңдігі судың рН-на байланысты.

$pH > 7,5$  ортада тек  $Al(OH)_3$  түзіледі,

$pH < 7,5$   $Al(OH)_3$ ,  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al(OH)^{2+}$  түзіледі.

$Al(OH)_2^+$  және  $Al(OH)^{2+}$ -иондары сульфат-иондарымен қосылып, алюминийдің орта тұздарының нашар еритін қосылыстарын түзеді:

$pH \approx 7$  ортада –  $Al_2(OH)_4SO_4$ ,

$pH = 5,5$  –  $AlOHSO_4$ .

Бұл қосылыстар  $pH = 5,5 - 7,5$  аралығында  $\zeta$ -потенциалы кіші мәніндегі коллоидті ерітіндіні түзеді.

Сонымен, суды  $Al_2(SO_4)_3$  тұзымен коагуляциялағанда ортаның  $pH = 5,5 - 7,5$  болу керек.  $Al(OH)_3$  қосылысының  $pH_{из} = 7,6 - 8,2$  құрайды.

$pH < 4,5$  мәнінде алюминий сульфатының гидролизі аз ғана жүреді, алюминий гидроксиді түзілмейді, ал суға енгізілген алюминий ерітіндіде  $Al^{3+}$  катиондары түрінде қалады.

$SO_4^{2-}$  иондарының әсерінен бірінші кезеңде түзілетін  $Al^{3+}$  иондарының электролиттік коагуляциясы жүреді.

Алюминий сульфаты гидролизінде бөлінетін сутегі иондары судың рН төмендетуіне байланысты  $pH_{из}$  мәнін ығыстырып коагуляция процесін нашарлатады. Бір мезгілде сутегі иондарының артық мөлшері алюминий сульфаты гидролизін тоқтатады. Осы себептен сутегі иондарын реакциядан шығарып тұру қажет. Табиғи суларды тазартқанда сутегі иондар судың бикарбонат-иондарымен ( $HCO_3^-$ ) әрекеттесіп шығарылады.

Егер судағы бикарбонат-иондарының мөлшері жеткіліксіз болса, гидролиз кезінде бөлінетін сутегі иондарын ( $H^+$ ) байланыстыру үшін суға ізбес, сода немесе натрий гидроксидін қосады.

Табиғи сумен коагулянттың қарама қарсы зарядталған коллоидты бөлшектерінің әрекеттесуі гетерокоагуляцияға әкеледі. Электролиттік коагуляция мен гетерокоагуляция нәтижесінде микроүлпектер түзіліп, су коллоидты қоспалардан тазартылады. Ары қарай микроүлпектер бір біріне жабысып, жүзгін дисперсті қоспаларды іліп алады да диаметрі 0,5-3,0 мм, тығыздығы 1,001-1,1 г/см<sup>3</sup> үлпектер (*флокулалар*) түріндегі коагуляциялық құрылымды түзеді. Микроүлпектерден түзілген флокулалар ауырлық күші әсерінен тұнбаға түсіп судан бөлінеді.

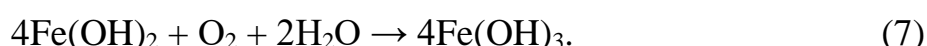
Коагуляция процесін ізбестеумен қатар жүргізгенде коагулянт ретінде темір сульфатын ( $FeSO_4$ ) қолданады:



Суда еріген кезде темір сульфаты диссоциацияланып, екі валентті темір иондарын түзеді. Диссоциациядан кейін темір катиондары өңделетін судағы коллоидты бөлшектердің қарама қарсы иондарының бір бөлігіне алмасады да темір сульфатының гидролизі жүреді.

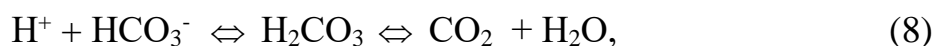
Екі валентті темірдің гидролизі өте баяу  $pH < 8$  мәнінде өтеді және  $Fe(OH)_2$  үлпектері  $pH > 9$  мәнінде ғана түзіледі. Табиғи суда еріген оттегі жеткілікті мөлшерде болғандықтан  $Fe(II)$   $Fe(III)$ -ке дейін тотығады.

$Fe(III)$  гидролизі мен темір гидроксиді коллоидтарының түзілуі  $pH > 3,5$  ортада жүреді. Ерігіштік көбейтіндісі мәнін қолданып, коагуляцияны  $FeSO_4$  реагентімен жүргізу  $Fe(OH)_3$  коллоидты үлпектерінің түзілуін қамтамасыз ету қажет. Іс жүзінде су тазартуда  $Fe(II)$  суда еріген оттегімен  $Fe(III)$ -ке дейін тек  $pH > 8$  болғанда тотығады:



Коагуляцияны  $FeSO_4$  реагентімен  $pH > 8$  ортада жүргізу үшін суды сілтілендіру қажет. Осы себептен  $FeSO_4$  реагентін көбінесе судың  $pH$  мәні жоғары болған жағдайда қолданады, мысалы суды реагенттермен жұмсартқанда (ізбес және сода немесе ізбеспен).

$Al^{3+}$  және  $Fe^{2+}$ -иондарының толық гидролизі суда сутегі иондары болмағанда ғана жүреді. От үшін табиғи судың құрамындағы  $H^+$ -иондарын байланыстыру келесі сұлбамен жүреді:



яғни суда бикарбонат-иондар болу қажет.

Суды органикалық қоспалардан тазартқанда коагулянт ретінде алюминийдің бейорганикалық полимерлі қосылыстарын да қолданады, оның ішінде алюминий полиоксихлориді  $Al_m(OH)_nCl_{3(m-n)}$  (ОХА). Алюминий сульфатымен салыстырғанда ОХА-ның мынадай артықшылықтары бар: судың  $pH$  мен сілтілігін аз ғана төмендететіндіктен оны алдын-ала сілтілендірмей сілтілігі төмен болатын суды тазартуда қолдануға болады;  $pH$ -тың кең аумағында (6 – 9, кейде 5 – 10) эффективті; ірі үлпектердің түзілу уақытын азайтады және олардың тұну жылдамдығын жоғарлатады; ОХА реагентімен өңделген суда хлорид-иондар мөлшері 2 – 8 есе төмен болады ( $Al_2(SO_4)_3$  дозалағанда сульфаттар мөлшеріне қарағанда).

Коагуляцияда үлпек түзілуіне мүмкіндік тұғызатын қосымша заттар ретінде *флокулянттар деп аталатын* жоғары молекулалық заттарды қолданады. Флокулянттарға суда еритін, бір күрделі жоғары молекулалық поливалентті ион және теріс зарядталған көптеген аз валентті жай иондарға диссоциацияланатын *полиакриламид* полиэлектролитін жатқызады (ПАА). ПАА - амфотерлі полиэлектролит: жоғары молекулалы ионының заряды ерітіндінің  $pH$ -на тәуелді. ПАА молекулалары ұзындығы 1 мкм, қалыңдығы  $(3 - 7) \cdot 10^{-4}$  мкм болатын созылған жіптерге ұқсайды.



Үлпек түзілуінің себебі – гидрофобты коллоидты бөлшектердің ПАА молекулаларын сорбциялау. Ұзартылған ПАА молекулалары тізбегінің бөлек үзбелері коллоидты бөлшектермен сорбцияланады да ПАА молекуласы домалақтанып оралады. Түзілетін үлпек тәрізді агрегаттар үлкен жылдамдықпен тұнады.

Коагуляция процесі жүруінің негізгі шарты - коагулянт дозасын дұрыс таңдау. Коагулянттың оптималды дозасы, яғни тазартылатын судағы органикалық қоспалар концентрациясының төмендеуі мен мөлдірленуі жеткілікті тез және толық жүретін минималды дозасы су қоспаларының физика-химиялық қасиеттеріне, температураға және коагуляцияны жүргізу шартына тәуелді болады.

Іс жүзінде коагулянттың оптималды дозасын сыналатын коагуляциялау арқылы анықтайды. Оның әдістемесі келесі: бірнеше конустық шыны колбаларына талданатын судың сынамаларын енгізіп, 40°C-ге дейін қыздырады. Әрбір колбада қышқыл немесе сілті ерітіндісін қосу арқылы рН-тың белгілі мәнін орнатады. Колбаларға концентрациясы белгілі коагулянт ерітіндісінің белгілі көлемін қосады, колбалардың ішіндегісін араластырады да 30 мин қояды. Уақыт өткеннен кейін колбалардағы ерітінділерді қағаз фильтрінен сүзіп, фильтратта тотығушылығын анықтайды. Тотығушылық – органикалық қоспалардың концентрациясын сипаттайтын көрсеткіш.

Алынған нәтижелерден тотығушылықтың максималды төмендеуі жүретін рН-тың оптималды мәнін анықтайды.

Коагуляцияланған судың сапасына бастапқы судың құрамы мен коагуляцияны өткізудің оптималды шарттарын сақтауы әсер етеді. Коагуляцияланған суда органикалық қоспалар мен қалқыған заттар мөлшері төмендейді; сілтілігі төмендейді, көмір қышқылы, сульфат-иондар (коагулянт ретінде алюминий немесе темір сульфаты қолданылса), хлорид-иондар (коагулянт ретінде ОХА қолданылса) концентрациялары жоғарылайды. Коагуляция процесі дұрыс өткізілген судың көрсеткіштері келесі болады:

- Қалдық перманганаттық тотығушылығы бастапқы мәннің 30-40% құрайды.

- Кремний мөлшері 60-90%-ға төмендейді.

- Еріген көмір қышқылының концентрациясы коагулянт дозасына жоғарылайды.

- Коагулянт ретінде алюминий немесе темір сульфаты қолданылса сульфат-иондар концентрациясы коагулянт дозасына жоғарылайды.

- Коагулянт ретінде ОХА қолданылса хлорид-иондар концентрациясы коагулянт дозасына жоғарылайды.

- Сілтілігі коагулянт дозасына төмендейді.

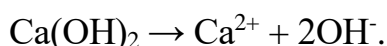
- Жалпы кермектілігі өзгермейді, бірақ карбонатты кермектілігі коагулянт дозасына төмендейді (онда карбонатсыз кермектілігі жоғарылайды).

- Қалқыған заттар мөлшері 1-2 мг/дм<sup>3</sup> құрайды.

- Судың шрифт бойынша мөлдірлігі >30 см құрайды.

## 2.2 Суды ізбестеу әдісімен тазарту

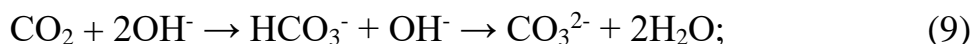
Ізбестеудің негізгі тағайындалуы – бастапқы судың сілтілігін төмендету. Мұнымен қатар судың жалпы кермектілігі, тұз және кремний мөлшері, темір қосылыстарының концентрациясы төмендеп, судан жүзгін дисперсті заттар кетіріледі, судың рН > 9,0 мәнге дейін жоғарлап, түзілетін карбонат-иондары нашар еритін CaCO<sub>3</sub> қосылысы құрамында тұнады. Ол үшін өңделетін суға су дайындау қондырғысында CaO мен H<sub>2</sub>O әрекеттесуінен түзілетін «ізбес сүті» түрінде Ca(OH)<sub>2</sub> ізбесін қосады. Нәтижесінде өңделетін суда Ca<sup>2+</sup> және OH<sup>-</sup> -иондарының концентрациясы жоғарылайды:



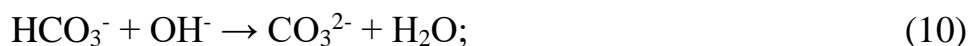
Бұл рН-тың жоғарылауымен қатар көмір қышқыл тепе-теңдігінің ығысуы жүреді.

Жалпы түрінде ізбестеу процесі келесі сатылардан тұрады:

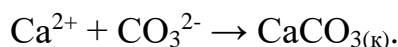
1) OH<sup>-</sup>- иондарының көмір қышқылының гидратталған молекулаларымен әрекеттесуі:



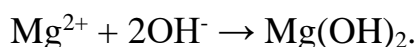
2) судың сілтілігін қамтамасыз ететін бикарбонат-иондарының OH<sup>-</sup> иондарымен әрекеттесуі:



3) бастапқы судағы және ізбеспен енгізілген Ca<sup>2+</sup>-иондарымен CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> иондарының концентрациясының көбейтіндісі кальций карбонатының ерігіштік көбейтіндісінен (ЕК) жоғары болған жағдайда CaCO<sub>3</sub> қатты фазасының түзілуі (кристалдануы):



Бос көмір қышқылы мен бикарбонат-иондарды карбонат-иондарына ауыстыруда қолданылатын ізбестің қажеттіден артық мөлшерін дозалағанда суда гидроксид-иондарының артық мөлшері пайда болып, оның концентрациясы Mg(OH)<sub>2</sub> қосылысының ерігіштік көбейтіндісі (ЕК) мәнінен жоғары болуы мүмкін. Бұл жағдайда судың магнийлік кермектілігі төмендейді:



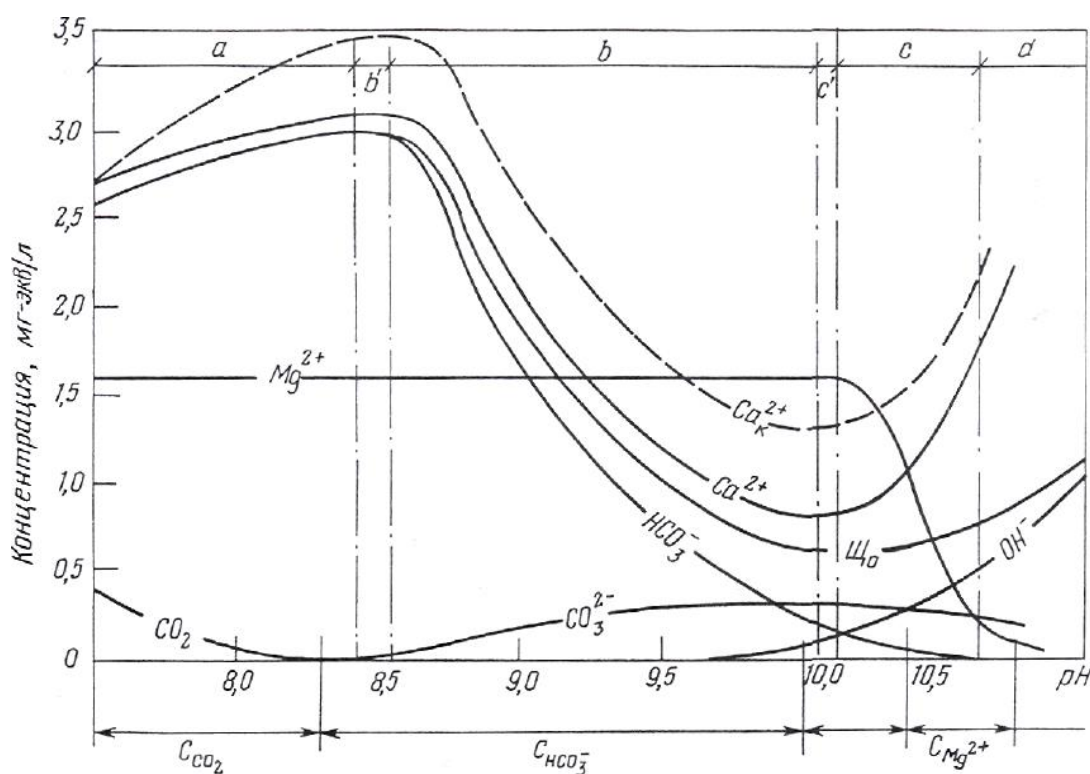
Тепе-теңдік күйінде есептелген ізбесті дозалау кезінде көмір қышқылдық компоненттері мен кермектілік тұздары компоненттері концентрацияларының

сапалы өзгеруі 4 – суретте көрсетілген. Мұнда ізбестті рН  $\approx 8,3$ -ке дейін дозалау кальций концентрациясы мен сілтіліктің (мг-экв/кг) жоғарлауының алдында көмір қышқылын бикарбонат-иондарға ауыстырады.

ОН<sup>-</sup>-иондарының концентрациясын ары қарай жоғарлату НСО<sub>3</sub><sup>-</sup> - иондарын карбонат-иондарға ауыстырады. Бастапқы судың құрамына тәуелді рН-тың кейбір мәнінде кальций карбонаты ЕК мәніне жетеді.

Бұл жағдайда СаСО<sub>3</sub> кристалдануы басталып (b зонасы), көмір қышқыл тепе-теңдігі концентрацияларының өзгеруімен қатар (яғни НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>-иондары концентрациясының төмендеуі мен СО<sub>3</sub><sup>2-</sup> және ОН<sup>-</sup>-иондары концентрацияларының артуы) Са<sup>2+</sup>-иондары концентрациясы мен сілтіліктің төмендеуі басталады.

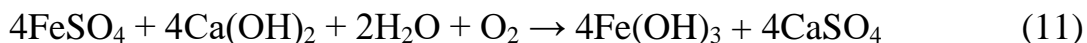
Ізбесті ары қарай дозалау магний гидроксидінің ЕК мәніне жететіндей және оның кристалдануы басталатындай гидроксид-иондар концентрациясының жоғарылауына әкеледі (c зонасы). Бұл мезгілде ерітінді құрамына байланысты рН-тың кейбір мәнінде магний концентрациясының төмендеуімен қатар кальций концентрациясының артуы басталып (кальцийлік кермектілік магнийлікке ауысады), ары қарай өңделетін судың жалпы кермектілігі мен сілтілігі де артады (d зонасы).



4 сурет – Ізбестті дозалағанда концентрацияның өзгеруі

4 – суреттен сілтілік пен кермектіліктің максималды төмендеуіне сәйкес келетін ізбестелген судың рН-ң оптималды мәндерінің аймағы 10,0 – 10,5 интервалында болатыны және бастапқы судың құрамына ғана емес, сонымен қатар ізбестеудің міндеттеріне (қалдық сілтіліктің мәні минималды, жалпы

кереметтік қатты төмендетілу қажет), мөлдірлеткіш жұмысының режиміне де тәуелді екендігі көрініп тұр (қожды шығармауы және оның жалпы мөлшеріндегі жеңіл магний гидроксидінің үлесін азайту қажет). Избестеу мен коагуляцияны темір сульфатымен қатар жүргізгенде реакцияға сәйкес избес коагулянттың гидролизіне шығындалады:



Бұл жағдайда кальций концентрациясының өзгеруі 4 – суретте пунктир сызығымен көрсетілген. Суретте  $\text{CaCO}_3$  ( $b'$  зонасы) және  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ( $c'$  зонасы) бойынша аса қаныққан судың метастабильді күйінің зоналары көрсетілген (яғни қосылыстың ЕК мәніне жеткен, бірақ оның кристалдану процесі әлі басталмаған).

Суды избестеу кезінде өтетін химиялық процестерді анализдеу избестің қажетті дозасы мен избестеуді технологиялық қолданудың аймағын анықтауға мүмкіндік береді.

Келтірілген химиялық реакцияларға сәйкес, бастапқы судағы және избеспен енгізілген кальций мөлшері түзілетін  $\text{CO}_3^{2-}$  - иондарының концентрациясынан аз болмаса (эквиваленттік бірлікпен) судың сілтілігі төмендейді.

Избес (яғни  $\text{OH}^-$  - иондары) реакцияларына сәйкес суға  $\text{CO}_2$ -ні байланыстыру үшін,  $\text{HCO}_3^-$  - иондарын және коагулянтты ыдырату үшін енгізіледі. Сондықтан избестің минималды дозасы былай есептеледі:

$$D_u = C_{\text{CO}_2 \text{ баст}} + C_{\text{HCO}_3^-} + D_k, \text{ мг} \cdot \text{экв} / \text{л}. \quad (12)$$

Судағы және избеспен келіп түскен  $\text{Ca}^{2+}$ -иондарының жалпы мөлшері:

$$C_{\text{Ca}^{2+}} = C_{\text{Ca}^{2+} \text{ баст}} + D_u = C_{\text{Ca}^{2+} \text{ баст}} + C_{\text{CO}_2 \text{ баст}} + C_{\text{HCO}_3^- \text{ баст}} - C_{\text{HCO}_3^- \text{ калд}} + D_u, \text{ мг} \cdot \text{экв} / \text{л}. \quad (13)$$

Избесті дозалаудың нәтижесінде түзілетін  $\text{CO}_3^{2-}$ -иондарының концентрациясы, мг-экв/л:

$$C_{\text{CO}_3^{2-}} = C_{\text{CO}_2 \text{ баст}} + 2C_{\text{HCO}_3^- \text{ баст}} - 2C_{\text{HCO}_3^- \text{ калд}} + D_k. \quad (14)$$

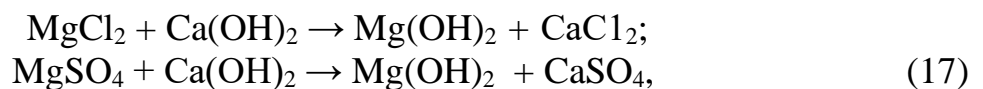
Егер  $C_{\text{CO}_3^{2-}} \leq C_{\text{Ca}^{2+}}$ , (5) теңдеу бойынша анықталған избес дозасы бастапқы судың сілтілігін төмендетуге жеткілікті болады. (13) және (14) теңдеулерінен бұл шарт келесі жағдайда орындалатыны көрініп тұр

$$C_{\text{Ca}^{2+} \text{ баст}} + D_k \geq C_{\text{HCO}_3^- \text{ баст}} - C_{\text{HCO}_3^- \text{ калд}}. \quad (15)$$

Немесе рН-ң оптималды мәнінде  $C_{HCO_3^- \text{ калд}}$  аз шама және  $C_{HCO_3^- \text{ баст}} \approx C_{\text{ілт. ж}}$  болған жағдайда магнийдің судан бөліп алуы қажет етпейтін шартын аламыз:

$$C_{Ca^{2+} \text{ баст}} + D_k \geq C_{\text{ілт. ж. баст}} \quad (16)$$

Ізбестің дозалауын ары қарай жүргізсе,  $Mg(OH)_2$  кристалдануына байланысты судан  $Mg^{2+}$ -иондары бөлінеді. Бірақ бұл жағдайда судың сілтілігі мен кермектілігі төмендемейді, өйткені рН-ң белгілі мәндеріне дейін магнийлік кермектілік кальцийлікке ауысады:



рН-ң мәні жоғарылаған сайын сілтілік пен кермектілік жоғарылап бастайды (4 – сурет,  $d$  зонасы).

Іс жүзінде бастапқы судың ізбестеуі мен коагуляциясын бірге жүргізгенде ізбес дозасын магний иондарын бөліп алу үшін де есептейді, өйткені судан кремнийқышқылды қосылыстарын бөліп алғанда  $Mg(OH)_2$  жақсы «коллектор» (сорбент) ролін атқарады. Бұл жағдайда ізбес дозасы былай есептеледі:

$$D_u = C_{CO_2 \text{ баст}} + C_{HCO_3^- \text{ баст}} + C_{Mg^{2+} \text{ баст}} + D_k + I_u, \quad (18)$$

мұнда  $I_u$  – ізбетің артық мөлшері, әдетте 0,1-0,2 мг-экв/л құрайды.

«Магнийлі бикарбонатты» сулар үшін

$$C_{Ca^{2+} \text{ баст}} + D_k < C_{HCO_3^- \text{ баст}} - C_{HCO_3^- \text{ калд}}$$

шарты орындалған жағдайда ізбес дозасын  $Ca^{2+}$ -иондарының жетіспеушілік мөлшеріне арттыру қажет:

$$\Delta C_{Ca^{2+} \text{ изв}} = C_{HCO_3^- \text{ баст}} - C_{HCO_3^- \text{ калд}} - C_{Ca^{2+} \text{ баст}} D_k. \quad (19)$$

Ізбеспен енгізілетін  $OH^-$ - иондарының артық мөлшері магний иондарының эквиваленттік мөлшерде бөлінуіне әкеледі:

$$\Delta C_{Mg^{2+}} = \Delta C_{Ca^{2+} \text{ изв}}.$$

Магнийді эквиваленттік мөлшерде қажетті тереңдікпен бөліп алу үшін ізбестелген суда  $OH^-$ -иондарының сәйкес концентрациясын қамтамасыз ету қажет, яғни ізбестің артық мөлшерін дозалау қажет:

$$D_u = C_{CO_2 \text{ баст}} + 2C_{HCO_3^- \text{ баст}} - 2C_{HCO_3^- \text{ калд}} + D_k + \Delta C_{Ca^{2+} \text{ изб}} + I_u. \quad (20)$$

Немесе (18) теңдеуін ескере отырып:

$$D_u = C_{CO_2 \text{ баст}} + 2C_{HCO_3^- \text{ баст}} - 2C_{HCO_3^- \text{ калд}} - C_{Ca^{2+} \text{ баст}} + I_u. \quad (21)$$

Карбонатсыз кермектілігі жоғары болатын сулар үшін су дайындау қондырғыларындағы катионитті сүзгілерге жүктемені азайту үшін жұмсартудың ізбес-сода әдісін қолданады, мұнда  $Na_2CO_3$  содасын қосу арқылы суға қосымша карбонат-иондар енгізіледі. Бұл жағдайда судан магний иондарын терең кетіру шартымен ізбес дозасын (11) теңдеумен, ал сода дозасын ( $D_c$ ) төмендегі теңдеумен есептейді:

$$D_c = K_{ж..баст.} \cdot C_{HCO_3^- \text{ баст}} + D_k + I_u, \text{ мг} \cdot \text{экв} / \text{л}. \quad (22)$$

### 2.2.1 Суды избестегенде кермектілік тұздары кристалдануының кинетикасы

*Түзілетін нашар еритін қосылыстардың кристалдануы толық өтпейтіндіктен избестеу кезінде сілтіліктің іс жүзіндегі азаюы есептелгеннен төмен болады.* Избестің (және соданың) өңделген судағы көмір қышқылды компоненттерімен әрекеттесуі тез өтеді, ал кермектілік тұздары қатты фазасының түзілуі және оның бөлінуі көп уақытты талап етеді.

Іс жүзінде избестеуді мөлдірлеткіш деп аталатын қондырғыда өткізеді. Мөлдірлеткіште судың төменнен жоғары қарай көтерілуші ағынында қатты фазаның түзілуі мен оның бөлінуі қатар жүргізіледі.

Тұнба түзілу кезінде тұнатын бөлшектер органикалық және басқа қоспаларды сорбциялайды да таңбасы бойынша аттас заряд қабылдап, коллоидты күй сатысынан өтеді де бара-бара іріленеді. Зарядтың бар болуы белгілі мезгілге дейін бөлшектердің ары қарай өсуін және агломераттардың түзілуін тоқтатады. Нәтижесінде су мөлдірлеткіште ұзақ уақыт болғанда жоғары қарай ағынының тек кіші жылдамдықтарында ғана судан бөлінуі мүмкін өте ұсақ бөлшектер түзіледі. Сондықтан избестеу процесін қарқынды ету үшін «ұрық» кристалдар технологиясын қолданады. Бұл технология бойынша өңделетін сумен реагенттерді мөлдірлеткіштің төменгі конустық бөліміне бөлек-бөлек енгізіп, бұрынырақ бөлінген тұнбаның қатысында бір-бірімен араластырады.

Избестеу кезінде бөлінетін заттардың химиялық құрамына, бастапқы араластыру қарқындылығы мен одан кейінгі жылдамдығына байланысты түзілетін тұнба үлпек тәрізді, аморфты немесе дән тәрізді болуы мүмкін.

Үлпек тәрізді тұнба избестелетін судан кальций қосылыстарымен қатар кіші мөлшерде магний қосылыстары бөлінгенде және коагулянтты енгізген

кезде түзіледі. Мұндай тұнбаның су мөлшері үлкен, беріктігі салыстырмалы аз, гидравликалық ірі, жоғары адгезиялық және сорбциялық қасиеттерімен сипатталады.

Дән тәрізді тұнбаны қондырғыда судың үлкен жылдамдықпен қозғалу кезінде алады. Бұл тұнба тек  $\text{CaCO}_3$  –тен тұрады, өйткені ұсақ  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  бөлшектері судың тоғымен мөлдірлеткіштен шығарылады. Дән тәрізді тұнбаны қолданудың негізгі артықшылығы - суды өңдеуге қажетті есептелген ұзақтығы күрт азаяды. Бірақ дән тәрізді бөлшектердің адгезияға және сорбцияға қабілеттілігі шамалы болады. Сондықтан ізбестелген су сапасының өңдеу нәтижелері үлпек тәрізді тұнбанікінен нашар болады.

Пайдалану кезінде ізбестеудің нәтижелерін келесі көрсеткіштермен бағалайды: қалдық сілтілік, тұрақтылық, қалқыған заттар мөлшері, тотығушылық, кермектілік, темір мөлшері, құрғақ қалдық.

*Қалдық сілтілік* әдетте 0,5-0,8 мг-экв/кг құрайды, мұнда кіші мәндері жоғары қалдық кермектілікке (3-5 мг-экв/кг) және бастапқы судың аз минералдануына, ал үлкен мәндері – сәйкесінше жалпы қалдық кермектіліктің ( $J_{\text{Оқалд}}$ ) кіші мәндеріне сәйкес келеді. Тұз мөлшері жоғарлаған сайын тепе-теңдік концентрацияларының өсуіне және кристалдану жылдамдығының төмендеуіне байланысты сәйкес сілтіліктің қалдық мәні 1,0-1,5 мг-экв/кг құрайды. Қалдық сілтіліктің көтеріңкі мәндері органикалық қоспалардың мөлшері үлкен болатын суларды ізбестегенде де байқалады.

*Тұрақтылық* – ізбестелген суға қойылатын ең негізгі және міндетті талаптардың бірі. Өңдеу нәтижесінде түзілген аса қаныққаннан жоғары ерітінді (су) неғұрлым тепе-теңдік күйіне жақын болса, соғұрлым ол тұрақты болады да, оның құбырлардың ішкі беттерінде және мөлдірлеткіш сүзгілердің сүзу материалы дәндерінде қақ түзудің қабілеттілігі төмен болады. Іс жүзінде тұрақтылықтан ауытқуды *тұрақсыздықпен*, яғни ізбестелген судың кермектілігі мен сілтілігінің мүмкін төмендеуімен сипаттайды. Тұрақсыздықты мөлдірлеткіштің шығысы мен мөлдірлеткіштен кейін орнатылған мөлдірлеткіш сүзгілерінің фильтраты сілтілігінің айырымынан анықтайды.

*Қалқыған заттар мөлшері* мөлдірлеткіштің орнатылған жұмыс істеу режимінде әдетте  $C_{\text{қалк}} = 2-5$  мг/кг құрайды (норма бойынша  $\leq 10$  мг/кг). Қалқыған заттар мөлшерін анықтау процесі көп еңбек сіңіруді талап ететіндіктен бұл көрсеткішті бақылау үшін ғана қолданады. Мөлдірлеткіш жұмысының тұрақтылығын бағалау үшін қалқыған заттар мөлшерін жанама көрсеткішке – мөлдірлікке ауыстырды. Мөлдірлікті әдетте крест немесе шрифт бойынша анықтайды. Мөлдірлеткіш тұрақты жұмыс істегенде ( $C_{\text{ив}} < 5$  мг/кг) мөлдірліктің мәні  $\geq 30$  см құрайды.

Бастапқы суда тек табиғи қоспалары болса, ізбестелген судың *тотығушылығы* әдетте 3-4 мг О/кг құрайды. Бастапқы су өндірістік ағындармен ластанса органикалық қоспалардан тазарту дәрежесі кең аймақтарда өзгереді, әдетте 30-50% құрайды, ал ізбестелген судың тотығушылығы 7-10 мг/кг жетуі мүмкін.

Ізбестелген судың кермектілігі оның қалдық сілтілігіне, коагулянт дозасына және бастапқы судың карбонатсыз кермектілігіне тәуелді:

$$K_{\text{ж. қалд}} = K_{\text{ж. баст}} - \text{Сілт}_{\text{ж. баст}} + \text{Сілт}_{\text{ж. аал.}} + D_{\text{ж}} \text{ мг-экв/кг.} \quad (23)$$

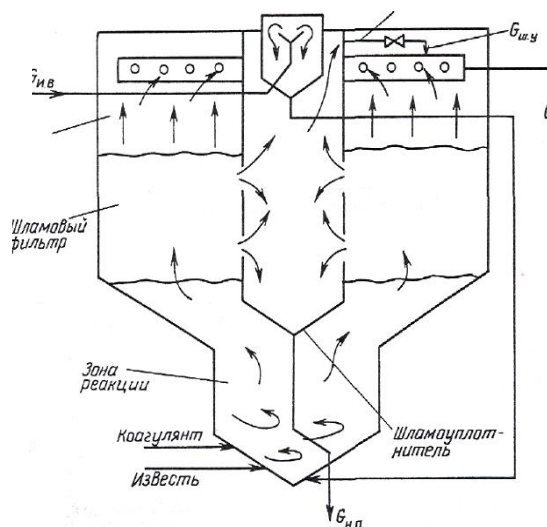
Ізбестеу кезінде кремний қышқылы қосылыстарының мөлшерін төмендету бөлінетін магний гидроксиді мөлшеріне тәуелді болады. Әдетте  $\text{SiO}_2$  қалдық концентрациясы бастапқының 30-50 % құрайды, бірақ  $\geq 2-5$  мг/кг болады.

Темірдің қалдық мөлшері нашар еритін  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  және  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  гидроксидтері кристалдануының кинетикасымен және суда олардың коллоидты-дисперсті түрлерінің бар болуымен (органикалық комплексті қосылыстарды ескере отырып) анықталады. Бастапқы суда  $\text{Fe}^{2+}$  концентрациясы үлкен болса ізбес дозасының мөлшерін темірдің бастапқы концентрациясына (мг-экв/кг) жоғарлату қажет. Ізбестелген және коагуляцияланған суда темірдің қалдық концентрациясы 50-150 мкг/кг құрайды.

### 2.3 Суды сүзу арқылы коагуляциялау және мөлдірлету

Суды коагулянттармен, ізбеспен, магнезитпен өндеген кезде тұну процестерінің химиялық және гидродинамикалық режимдерін іске асыруда мөлдірлеткіш деп аталатын арнайы қондырғылар қолданылады.

Мөлдірлеткіш қондырғысында химиялық реакциялармен (реагенттерді енгізу) қатар мөлдірлеткіш суының көлемінде түзілген тұнбалар (шлам) қалыптасуының және өңделетін судың сол қабат арқылы сүзілуінің физикалық процестері өтеді. Мөлдірлеткіштегі қож сүзгісі деп аталатын контактілейтін орта судың жоғары қарай ағысының әсерінен қалқыған күйіндегі бұрын және жаңадан түзіліп жатқан қож бөлшектерінен қалыптасады.



5 сурет – Мөлдірлеткіштің қағидалы сұлбасы



Қож сүзгісінен өткен су бастапқы судағы және мөлдірлеткіште өткен химиялық реакциялардың нәтижесінде түзілген жүзгін дисперсті бөлшектерден арылады. Сондықтан мөлдірлеткіште химиялық және гидравликалық режимдері бұзылмаса жүзгін дисперсті бөлшектердің қалдық концентрациясы 5-10 мг/дм<sup>3</sup> құрайды.

Мөлдірлеткішті құрастырғанда гидравликалық процестерге келесілер жататыны ескеріледі:

- төменнен жоғары қарай жүретін су ағынының контактілейтін ортаны түзетін қатты бөлшектерді қалқыған түрінде ұстап тұруы;

- бұл бөлшектердің артық мөлшерін контактілейтін орта зонасынан шығару;

- контактілейтін ортада және мөлдірлеткіштің кіріс және шығыс бөліктерінде су қозғалысының режимдері.

Тұнба бөлшектерінің қысылған қозғалысында үйілетін мөлдірлеткіш сүзгілерінің сүзу қабатына қарағанда қож сүзгісінің ерекшеліктері:

- өзара үйкелесуіне немесе соқтығысуына байланысты қалқыған қатты бөлшектердің бір біріне әсері;

- қатты фазаның ауыспалы концентрациясының (қож өте аз немесе өте көп) су ағынының қалыптасуына әсері;

- қатты фаза бөлшектерінің қож сүзгісінің бір бөлігінен басқасына ауысуына байланысты турбулентті диффузия құбылысының болуы.

Мөлдірлеткіште су мен реагенттердің қосылуы, қождың түзілуі және оның судан бөлінуі, яғни мөлдірлетілуі жүреді. Мөлдірлеткіштен су коагуляцияланған су күбісіне түседі (БКВ), ал түзілген тұнба – қож суларының күбісіне, ары қарай қож үйіндісіне немесе қожды сусыздандыру қондырғысына жіберіледі. БКВ-дан сорғылар суды мөлдірлететін (механикалық) сүзгілеріне жібереді. Мұнда су мөлдірлеткіштен коагуляцияланған суға келіп түскен қалқыған заттардың қалған бөлігінен (5-15 мг/дм<sup>3</sup>) тазартылады. Механикалық сүзгілерде ұсталып қалған қалқыма судың кері ағынымен жуылып кетеді. Жуатын сулар (БПВМФ) арнайы күбіге жиналып, сорғы арқылы мөлдірлеткішке жіберіледі. Мұндай шараны қолдану су, жылу және реагенттерді үнемдеумен қатар лайлылығы аз бастапқы суларда қайтып келетін жуу суларындағы қалқыманың әсерінен үлпек түзу процесін қарқынды етуге мүмкіндік береді.

Қазіргі кезде әртүрлі су дайындау қондырғыларында (СДҚ) мөлдірлеткіштердің екі түрі қолданылады: 1) коагуляция процесін жүргізуге арналған; 2) ізбестеу немесе ізбестеу мен коагуляцияны бірге жүргізуге арналған түрі. Мөлдірлеткіштердің екі түрінде де қағидалы айырмашылықтар жоқ, бірақ су қозғалысының жылдамдықтары мөлдірлеткіштің әр түрлі зоналарында әр қалайша болады. Бұл мөлдірлеткіште түзілетін қож сипаттамаларына байланысты: ізбестеуге қарағанда коагуляцияда ол жеңілірек болады, сондықтан судың көтерілу қозғалысының жылдамдықтары азырақ болу қажет. Избестеуге арналған ВТИ типті мөлдірлеткіштерде коагуляцияны алюминий сульфатымен өткізуге болады, бірақ мұндай мөлдірлеткіштердің

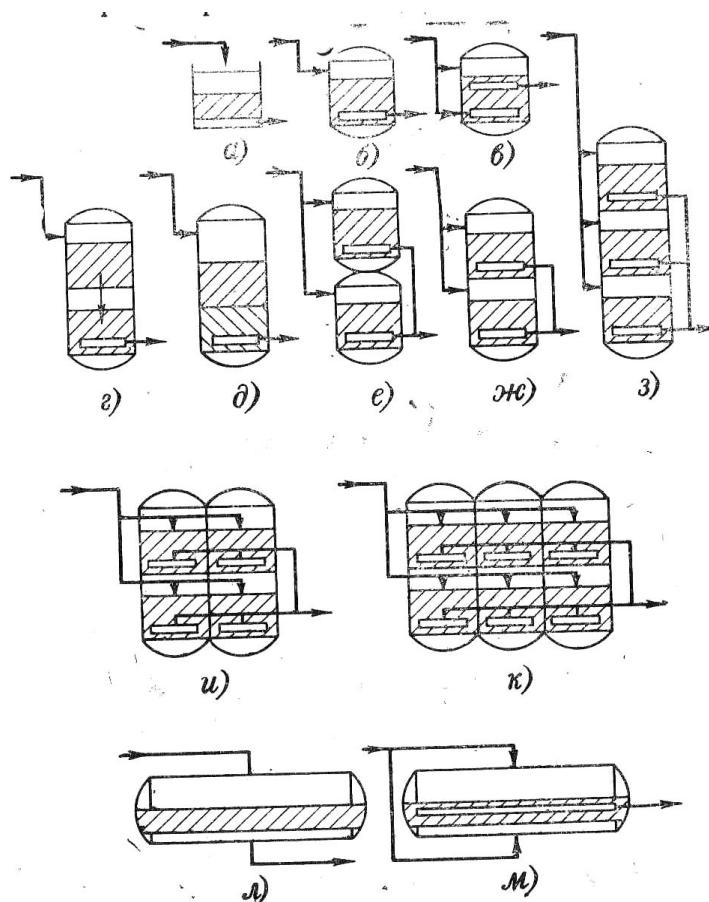
есептелетін өндірулігі ізбестеу үшін максималды мәнінен 0,7-ге дейін төмендейді.

Мөлдірлеткіштердің, күбілердің және мөлдірленген су сорғыларының сомарлы өндірулігі СДҚ өндірулігінен 10% артық мөлшерімен таңдалуы тиіс.

### 2.3.1 Мөлдірлеткіш сүзгілердің жіктелуі мен құрылымы

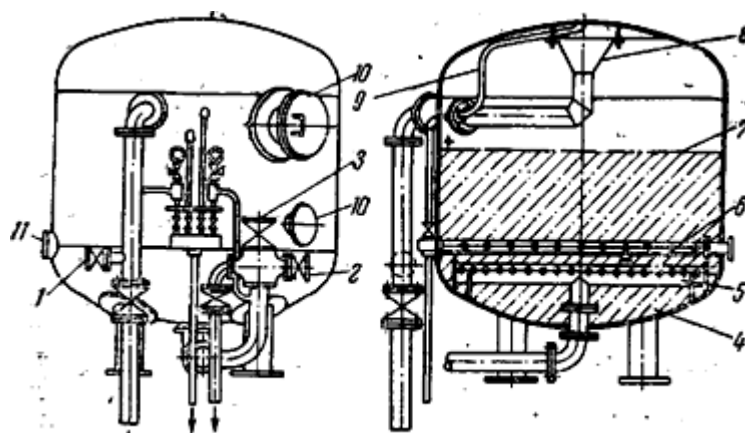
Жылуэлектрстанциялардың судайындау қондырғыларында қолданылатын мөлдірлеткіш сүзгілер келесі көрсеткіштер бойынша жіктеледі (6 – суретті қара):

- 1) типі бойынша: вертикалды және горизонталды;
- 2) сүзгіш қабатындағы су қысымы бойынша: сүзгі мен мөлдірленген суды жинайтын бактағы су деңгейінің айырмашылығынан туындайтын тегеурінмен жұмыс жасайтын *ашық* және сорғы немесе жоғары орналасқан бак тудыратын тегеурінмен жұмыс жасайтын *тегеурінді немесе жабық*;
- 3) бірінен кейін бірі жұмыс жасайтын сүзгіш қабаттардың саны бойынша: бірқабатты және екіқабатты;
- 4) параллельді жұмыс жасайтын камералар саны бойынша: біркамералы, екіэтажды, екікамералы, үшкамералы және батареялық;
- 5) сүзу әдісі бойынша – бірағынды және екіағынды.



6 сурет – Мөлдірлеткіш сүзгілерінің түрлері

ЖЭС-тарда көбінесе диаметрі 3400 мм болатын тік тегеурінді тура ағынды сүзгілер қолданылады, олар шекті өндірулігі 90 м<sup>3</sup>/сағ және жақсы тасымалдану габариттерімен анықталады. 7 – суретте тік бірағынды мөлдірлеткіш сүзгінің құрылымы көрсетілген.



7 сурет – Тегеурінді мөлдірлеткіш сүзгісі

Мұндай сүзгінің корпусы болат цилиндрлі болып келеді, сфералық түбі бкгс/см<sup>2</sup> қысымға есептелген. Сүзгінің жоғары бөлігіне сүзілетін суды сүзгі ауданына әкелетін және тарататын құйғышы (8) бар құбыр (1) және ауаны әкететін құбыр (9) енгізілген. Корпустың цилиндрлі бөлігінде сүзгіні жөндейтін, тексеретін және сүзілетін материалды шығаратын люктар (10, 11) бар. Сүзгінің түбінде көлденең тегістік болу үшін бетонмен (4) толтырылған, онда дренажды қондырғысы (5) орнатылған, ол суды сүзгі ауданы бойынша бірқалыпты тарату үшін, сүзгіш қабат астынан мөлдірленген суды әкету үшін (2) және мөлдірленген сумен сүзгіш материалдың түйіршіктерінің шығып кетуінің алдын алу үшін арналған (7). Дренажды қондырғының үстінде сығылған ауаны тарату қондырғысы (6) орнатылған. Ысырма (3) арқылы сүзгіш қабатты қопсытып жуатын су беріледі.

Дренажды қондырғы мөлдірлеткіш сүзгісінің өте маңызды элементі болып табылады. Мөлдірлеткіш сүзгілердің жұмысы үш кезеңнен тұрады:

- 1) суды мөлдірлетуде сүзгінің пайдалы жұмысы;
- 2) сүзгіні қопсытып жуу;
- 3) бірінші сүзіндіні дренажға түсіру.

Мөлдірлетілген судың мөлдірлігі төмендесе, сонымен қатар тегеурін максимал рұқсат етілген мәнге жетсе сүзгі жұмыстан шығарылып, жууға жіберіледі. Сүзгіні жуу кезінде сүзгіден астынан жоғары қарай мөлдір су жіберіледі. Ол үшін сүзгі жұмыстан өшіріліп, су жуғыш бактан су беріледі. Жуатын судың қарқынды ағыны көтеріле келе сүзгіш қабатты қопсытады және қалқытады. Осы кезде сүзгіш қабат 40-50 %-ке кеңейеді, сондықтан тиелген сүзгіш материалының дәндері су ағынында оңай қозғалып, соқтығысу кезінде жабысып қалған қож бен жабыспақ бөлшектерден тазаланады.

Қопсытып жуу кезіндегі су жылдамдығы жуу жиілігімен сипатталады. Жуу жиілігі -  $1\text{ м}^2$  сүзгі қимасынан секундына шығатын судың көлемі (л). Сүзгіні жуу процесінің қарқындылығы тұнбаны бөліп әкетуді және сүзгіш материал дәндерінің жуылып кетпеуін қамтамасыз ету қажет. Жуу қарқындылық мөлшері материал түріне, дәндерінің мөлшеріне, жуатын судың температурасына тәуелді болады. Кварцті құм үшін  $15\text{-}18\text{ л}/(\text{м}^2\text{сек})$ -қа, ал ұнтақталған антрацит үшін  $12\text{ л}/(\text{м}^2\text{сек})$ -қа тең. Жуу ұзақтығы 6 мин. құрайды. Қопсытып жуу аяқталған соң бірінші таза емес сүзінді канализацияға  $5\text{ м}/\text{сағ}$  жылдамдықпен, 5 - 10 мин ішінде түсіріледі, содан кейін сүзгі қалыпты жұмысқа қосылады. Сүзгінің жұмыс кезінде жуғыш бак ақырындап мөлдірленген сумен толады. Сүзгіні жууға тоқтату және бірінші сүзіндіні түсіру, барлық ысырмаларды ауыстыруға кететін уақыт ұзақтығы 20 мин. Құрайды.

Кварцті құммен немесе ұнтақталған антрацитпен жүктелген тегеурінді мөлдірлеткіш сүзгілердегі суды сүзу ұзақтығы мөлдірлеткіштерде алдынала өңделген су болса 5 - 6,5 м/сағ, ал өңделмеген су болса – 4 - 5 м/сағ-қа тең болады.

### 2.3.2 Сүзу процесінің физика-химиялық негіздері

Мөлдірлеткіш жұмысының тұрақталған режимінде де қатты фазасының концентрациясы  $\leq 10\text{ мг}/\text{кг}$  болатын суды алу мүмкін емес. Мұндай су тазартудың келесі сатысына жіберілмейді және қосымша тазартуды (мөлдірлетуді) талап етеді. СДҚ сұлбаларында бұл тазартуды сүзу арқылы жүргізеді. Сүзу деп кеуекті ортадан өткенде судың жүзгін дисперсті қоспалардан тазаруының күрделі процесін айтады. Сүзу процесінің эффективтілігі су қоспалары мен кеуекті ортаның физика-химиялық қасиеттеріне және гидродинамикалық факторларға тәуелді. Сүзілетін бөлшектер мөлшерінің эффективті диаметріне қатынасына байланысты бөлшектерді ұстап қалу сүзу қабатының көлемінде жүрсе – *адгезиялық сүзу*, ал сүзу қабатының бетінде жүрсе – *қабықшалы сүзу* деп аталады.

Қабат кеуектерінің диаметрі бөлшек диаметрінен үлкен болса, бөлшектер су ағынымен қабаттың ішіне кіріп ұсталып қалады. Керісінше, кеуек диаметрі бөлшек диаметрінен аз болса, бөлшектер қабаттың бетінде қабыршақ түзіп ұсталып қалады. ЖЭС СДҚ сұлбаларында адгезиялық сүзуді жиірек қолданса, шық тазалау сұлбаларында қабыршақты сүзуді қолданады.

Сүзу арқылы судан қоспа бөлшектерін бөліп алу процесі 3 стадиядан тұрады:

- 1) бөлшектерді су ағынынан сүзу материалдың бетіне жеткізу;
- 2) оларды дәндер беті мен араларында бекіту;
- 3) бөлшектерді қайтадан су ағынына әкету.

Өндірістік жағдайда сүзгіш қабаты ретінде қолданылатын кеуекті ортаны сүзгіге тиейді. Сүзу нәтижесінде судың мөлдірленуі жүреді.

Кеуек материал су қоспаларымен қаныққан сайын сүзу фронты сүзгіш

материалдың төменгі жағына ауысады да бір кезде қоспаның фильтраттағы концентрациясы жоғарылап бастайды. Сүзгінің суды алғашқы жіберу уақытынан бастап қоспалардың одан өтіп кету моментіне дейін жұмыс істеу уақытын *сүзгінің қорғаныс қимылының уақыты* деп атайды. Осы уақыт аралығында ұсталып қалатын қоспалар мөлшерінің сүзетін қабаттың көлеміне қатынасы *сүзгі қабатының жұмыстық сиымдылығы* деп аталады.

Сүзгінің қорғаныс қимылының уақыты мен сүзгі қабатының жұмыстық сиымдылығына келесі факторлар әсер етеді: түйіршектердің ірілігі, пішіні, қабат материалының табиғаты, су ағынының жылдамдығы, қоспаның судағы концентрациясы, қабат биіктігі және т.б.

Мөлдірлеткіштерде алдын-ала коагуляциялау болмаса, су құрамындағы ірі дисперсті қалқымалар сүзетін материал бетінде сүзгіш қабыршық түзеді. Алдын-ала коагуляциялау қолданылған жағдайда қалқыманың негізгі массасы сонда ұсталып қалады және сүзгіге майда қалқыған бөлшектері бар су келеді, ал сүзу процесі сүзетін қабаттың бетінде емес, көлемінде жүреді. Мұндай процесс кезінде сүзгіге жүктелген түйіршікті қабат толық қолданылады және мөлдірлетудің жоғары дәрежесі қамтамасыз етіледі.

Түйіршіктермен жүктелген мөлдірлеткіш сүзгілердегі судың қозғалысының, мөлдірлету процесінің физикалық табиғатын, заңдылықтарын және механизмін терең зерттеу нәтижелерінің негізінде сүзу процесінің физика-химиялық табиғаты бар екені анықталды, ал сүзу кезінде судың мөлдірлеу эффектісі қалқыған бөлшектердің сүзгіш қабатының түйірлеріне және ертерек жабысқан бөлшектерге молекулярлық тартылу күші әсерінен жабысуымен түсіндіріледі. Судағы өте ұсақ бөлшектердің сүзгіш материалы түйіршектерінің бетіне жабысу құбылысы ***контактті коагуляция*** деп аталады.

***Контактті коагуляция*** құбылысына негізделген суды тазалауға арналған құрылғылар ***контактті мөлдірлеткіштер*** деп аталады; онда су коагулянтпен араласқаннан кейін бірден құм қабатынан өткізіледі. Аз уақыт ішінде, судың сүзгіш қабатқа келіп түскеннен бастап суда тек құм түйірлерінің бетіне жабысқан микроэлементтер ғана түзіліп үлгереді.

Мөлдірлеткіштерде тұнып үлгермеген ұсақ үлпектер сумен бірге сүзгіге өтеді. Сүзу кезінде бұл үлпектер сүзгіш материал түйірлеріне жабысып суды мөлдірлетеді.

Сүзгіш материалында жиналған заттарды кері ағынмен, яғни төменнен жоғары қарай сумен жуу арқылы кетіреді. Кермектілігі жоғары болатын суларды тазарту кезінде сүзгіш материалдың ағарып кетуі мүмкін. Бұл жағдайда оны қалпына келтіру үшін төменнен жоғары қарай көмір қышқылы немесе тұз қышқылының сұйылтылған ерітіндісін жіберіп, артынан сумен жуады.

### 2.3.3 Сүзгіш материалдары

Мөлдірлеткіш сүзгілерге жүктелетін материал мөлдірленетін су

құрамындағы жүзгін дисперсті заттарды жақсы ұстау, ұсталып қалған қалқымалардан жеңіл жуылу, шаю кезінде ұсақталмау және қажалмау, сүзілетін судың химиялық әсеріне тұрақты болу және сүзілетін суды өз құрамына кіретін заттармен ластамау қасиеттеріне ие болуы керек. Осы қасиеттерге сәйкес келетін материалдардың ішінде ең көп қолданылатын кварц құмы мен ұнтақталған антрацит, сонымен қатар сульфокөмір, перлит. Жаңа сүзгіш материалдарға керамзит, вулкандық кождар, шунгиттар және т.б. жатады.

Кварц құмы көбінесе төмен және орта қысымды бу өндіргіштері үшін қосымша су дайындайтын коагуляциялық қондырғыларда қолданылады және су температурасы  $\leq 60^{\circ}\text{C}$ -дан, ал  $\text{pH} \leq 9$  болуы керек. Кварц құмын жоғары қысымды бу өндіргіштеріне қосымша су дайындау үшін қолдану тиімсіз, себебі сүзінді кремний қышқылымен ластануы мүмкін. Сондықтан қысымы  $100 \text{ кгс/см}^2$  болатын жылуэлектр станциялардың су дайындау қондырғыларында азқұлді термотұрақты ұнтақталған антрацит қолданылады, онда су температурасы  $< 100^{\circ}\text{C}$  және  $\text{pH} = 4 - 10$  аралығында болу керек.

Сүзгілерді жүктеуге дәндерінің мөлшері  $0,35 - 1,5$  мм орта түйіршікті құм және дәндерінің мөлшері  $0,4 - 2,0$  мм ірі түйіршікті құм ұсынылады. Жеке жағдайларда, мысалы коагуляцияланбаған суды немесе коагулянтпен мөлдірлеткіште өңделген суды мөлдірлету үшін жүктеменің биіктігі  $0,9 - 1,2$  м, дәндерінің мөлшері  $0,5 - 1,0$  мм сүзгіш қабаты қолданылады. Сүзгіге алдын ала тұндырылмаған коагуляцияланған суды жібергенде сүзгіш жүктемесінің қабат биіктігі  $1,2 - 2,0$  м аралығында, ал дәндер мөлшері  $1,0 - 1,5$  мм болады.

Сүзгіш материалының өте қажет көрсеткіші – оның механикалық беріктігі. Механикалық беріктік жеткіліксіз болса, жуу кезінде түйіршіктер қажалады және ұсақталады, сонымен бірге ұсақталған сүзгіш материалдар қайтымсыз ағып кетеді.

### **3 Суды ион алмасу әдісімен өңдеу**

Алдын ала тазартылған суда жүзгін дисперсті қоспалар мүлдем қалмайды және коллоидты дисперсті қоспалардың  $50-70\%$  жойылады. Мұнымен қатар шын ерітілген қоспалардың негізгі бөлігі суда қалатындықтан тазартудың келесі сатысында ион алмасу, мембраналық және термиялық әдістері қолданылады. Қажетті сапалы суды алуда соңғы екі әдіс ион алмасу әдісімен бірге қолданылады.

*Ион алмасу* процесі деп ерітінді мен ионит арасында зарядтарының таңбалары бірдей болатын иондармен эквиваленттік алмасуын айтады.

Иониттер ретінде ион алмасу процестерінде жоғары сорбциялық қасиеттері бар заттар кеңінен қолданылады.

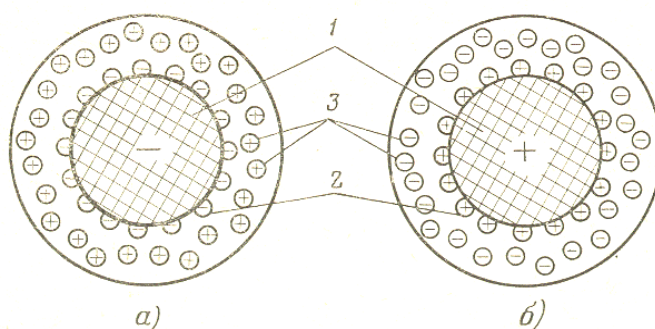
*Иониттер* - құрамындағы оң және теріс зарядталған иондарын ерітіндідегі иондарға эквиваленттік мөлшерлерде алмасуға қабілетті заттар. Егер ионит ерітіндідегі катиондарға алмасса ол катионит деп аталады, ал аниондарға алмасса – анионит деп аталады. Иониттердің

қасиеттеріне көптеген табиғи және жасанды заттар ие, олардың ішінде кеңінен ион алмасу шайырлары қолданылады.

Иониттердің ерітіндідегі иондармен алмасуға қабілеттілігі олардың құрылымына байланысты. Иониттер бастапқы заттар ретінде сополимерлену реакциясы бойынша стиролдан және тізбекті полистиролды көлденең тігу үшін оған қосылған 8% дивинилбензолдан алынатын ерімейтін қатты матрицадан тұрады. Дәндер түрінде алынған көміртектік тізбектерінің кеңістіктік торы – матрица суға салынған кезде оның полярлы молекулаларымен әрекеттесіп, өзінің көлемін 1,1-2,0 есе ұлғайтады. Осылайша алынған матрицаны химиялық реагенттермен өңдеп, оған ерітінділерде диссоциациялануға қабілеттілігі бар арнайы функционалды топтарды енгізеді.

Ионитті валенттік күштермен немесе тор күштерімен байланған каркас түрінде елестетуге болады. Ионит бейтарап болады, өйткені каркас оң немесе теріс зарядталып, қарама-қарсы зарядталған иондарының зарядымен орнын толтырады. Каркастың зарядын қалпына келтіретін иондар қарсы иондар деп аталады. Бұл қарсы иондардың каркас аралығында белгілі қозғалмалылығы болады. Қарсы иондардың тек бір ғана (*A*) түрі бар ионитті иондардың басқа (*B*) түрі бар ерітіндіге орнатса, *A* иондары иониттен ерітіндіге ауысады да, *B* иондары эквиваленттік мөлшерде ерітіндіден ионитке ауысады. Тепе-теңдік жағдайында ионит пен ерітіндіде ион алмасу тепе-теңдігінің тұрақтысымен анықталатын белгілі мөлшерлік қатынаста *A* және *B* иондары болады.

Матрицада бекітілген ион (функционалды топтың бөлігі) зарядтың түзілуін анықтап, потенциал түзуші ион деп аталады. Каркастың заряды қарсы иондар деп аталатын қарама-қарсы таңбалы иондар зарядымен орнын толтырады. Қарама қарсы иондар диффузиялық қабатты құрап, матрицаның айналасында қозғалады да осындай таңбасы бар басқа иондарға ауыстырылуы мүмкін.



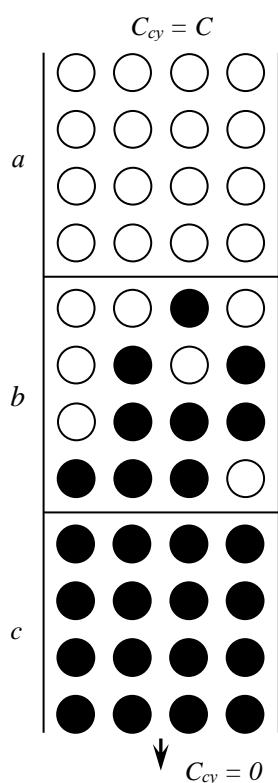
1 – матрица; 2 – потенциал анықтаушы иондар; 3 – диффузиялық қабаттың иондары.

8 сурет – Ионит молекуласы құрылысының сұлбасы: а) катионит; б) анионит

Иониттердің ион алмасуға қабілетті құрамындағы функционалды топтарына байланысты болады. Катиониттерде бұл топтардың қасиеттері қышқылдыққа жатады:  $-\text{SO}_3\text{H}$  (сульфотобы),  $-\text{COOH}$  (карбоксил тобы),

аниониттерде – негіздіктерге. Сульфотоптары бар монофункционалды катиониттер күшті қышқылды болады (күшті диссоциацияланатын), ал карбоксил топтары бар – әлсіз қышқылды болады (әлсіз диссоциацияланатын). Күшті қышқылды катиониттер (мысалы, КУ-2-8) иондарымен ерітінді рН-ның кез келген мәндерінде алмасады, өйткені олардың функционалды топтары күшті қышқылдардай рН-тың кез келген мәндерінде диссоциацияланады. Әлсіз қышқылды функционалды топтар қышқылдық ортада диссоциацияланбаған түрінде қалатындықтан бұл жағдайда карбоксил катиондарының ион алмасуға қабілеттілігі төмендейді. Сондықтан оларды  $pH \geq 7$  ерітінділерді өңдеуде қолданады. Сульфокөмір катионитінде функционалды топтарының екеуі де бар болатындықтан, оны орташа қышқылдыларға жатқызады.

Ион алмасу технологиясында селективтілік (талғамдылық) деп аталатын бір иондардың басқаларға қарағанда көбірек адсорбциялануға қабілеттілігі мен ион алмасу тепе-теңдігі орнауының жылдамдығы үлкен рөл атқарады. Иондардың алмасу процесінің қайтымдылығы қымбат тұратын иониттерді технологиялық процесте бірнеше рет пайдалануға мүмкіндік береді.



9 сурет – Ионитті сүзгідегі ион алмасу процесінің сұлбасы

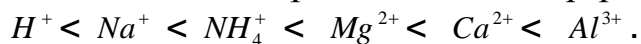
- – А иондарымен қанықтырылған ионит
- – Б иондарымен қанықтырылған ионит

А иондарымен қанықтырылған ионит бойымен Б иондары бар ерітіндісін өткізгенде ерітінді иониттің жаңа (жұмыс істемеген) қабаттарымен контактілейді (9 – сурет). Уақыт өткен соң иониттің жоғарғы қабаттары алмасатын иондардың барлығын алмастырады да ион алмасуға қабілеттілігін жоғалтады. Бұл кезде ион алмасу процесі өтетін зона төмен қарай жылжиды. Белгілі жағдайда бұл зона стационарлы еніне жетеді. Осы зонада алмасатын иондар концентрацияларының таралуы *сүзу фронты* деп аталады. Иониттің төменгі қабаты иондарға алмасқан кезде, фильтратқа Б ионы өткізуі мүмкін. Бұл жағдайда сүзгіні регенерацияға (қайта жаңғыртуға) тоқтатады.



Иондардың ион алмасудағы талғамдылығы селективтілік қатарымен өрнектеледі.

Күшті қышқылды катионитте сүзілетін катиондар үшін:



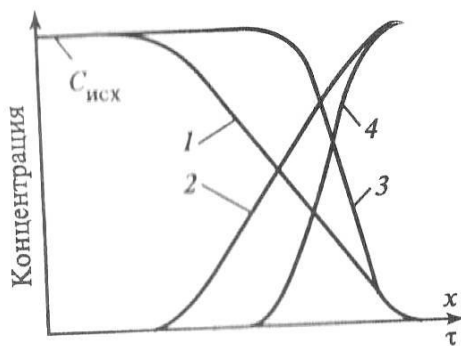
Жоғары сілтілі анионитте сүзілетін аниондар үшін:



Алмасатын иондардың селективтілік коэффициентіне қарай сүзудің сүйір немесе диффузиялық сүзу фронты қалыптасуы мүмкін.

Фильтраттағы қоспалар концентрацияларының сүзгі жұмысының уақытына (немесе сүзгіден өткен ерітінді көлеміне) тәуелділігін *шығыс қисығы* деп атайды.

Сүзудің сүйір және диффузиялық фронтындағы шығыс қисықтарының мысалдары 10 – суретте келтірілген.



1 – сүзудің диффузиялық фронты; 2 – диффузиялық фронттағы шығыс қисығы; 3 – сүзудің сүйір фронты; 4 – сүйір фронттағы шығыс қисығы;  
 $x$  – ионит қабатының биіктігі;  $\tau$  – сүзгі жұмысының уақыты.

10 сурет – Сүзудің шығыс қисықтары

Ион алмасу технологиясында су дайындаудағы ең маңызды иондардың сорбциясы сүзудің сүйір фронтында өтетіндей етіп таңдайды, өйткені мұнда иониттің ион алмасу сымдылығын пайдалану дәрежесі жоғарылайды. Сүзу фронтының қалыптасуына сүзу жылдамдығымен, дән қабатының құрылымымен, дренажды қондырғылар конструкциясымен және т.б. анықталатын гидродинамикалық процестер әсер етеді.

### 3.1 Иониттердің технологиялық сипаттамалары

Иониттердің сапасы ион алмасу технологиялардың тиімділігі мен нәтижелілігін анықтайтын физикалық және химиялық қасиеттерімен сипатталады.

*Негізгі физикалық қасиеттеріне* гранулометрлік құрамы (дәндердің мөлшері), үйілген массасы, механикалық төзімділігі мен осмостық

тұрақтылығы, ионит құрылымы мен сулы ерітінділерінде ісіну дәрежесі жатады.

**Химиялық қасиеттеріне** иониттің химиялық тұрақтылығы, қышқылдығы (катиониттер үшін) немесе сілтілігі (аниониттер үшін), алмасу сыйымдылығы, судан сіңірілетін иондарды берілген тереңдікте тазартуда реагенттер мен жуатын судың меншікті шығыны, термиялық және радиациялық тұрақтылықтары жатады.

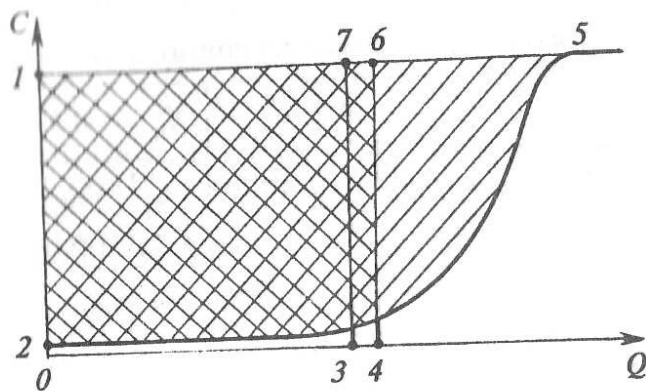
Ионит дәндерінің ірілігі 0,3-1,5 мм аралығында болады, оның ішінде ионит көлемінің 80%-на дейін дәндерінің диаметрі 0,5-1,0 мм құрайды.

Ионит дәндерінің механикалық беріктілігі мен осмостық тұрақтылығы оны бірнеше жылдың ішінде аз ғана шығынымен пайдалануға мүмкіндік береді. Механикалық беріктілік деп иониттердің тозушылығын айтады. Осмостық тұрақтылығы иониттерді пайдалану кезінде микрожарықтарға, ары қарай ионит дәндерінің жарылуына әкелетін судың осмостық қысымының әсерінен дәндердің мезгіл-мезгіл ісінуі және сығылуына байланысты.

Иониттердің негізгі технологиялық сипаттамасына алмасу сыйымдылығы жатады. *Алмасу сыйымдылығы* - иониттің бірлік массасымен (г-экв/кг) немесе бірлік көлемімен (г-экв/м<sup>3</sup>) сіңірілген иондардың мөлшері. Алмасу сыйымдылығы *толық*, «*секіргенге дейінгі*» және *жұмыстыққа* бөлінеді.

Сіңірілетін ионның судағы және фильтраттағы концентрациялары теңескенде анықталған алмасу сыйымдылығы *толық алмасу сыйымдылығы* деп аталады. Егер сүзу процесі сіңірілетін ионның фильтратқа өткен кезеңінде аяқталса (ионның фильтраттағы концентрациясы нөлге жақын болса) мұндай алмасу сыйымдылықты «*секіргенге дейінгі*» динамикалық алмасу сыйымдылығы деп атайды. Іс жүзінде сүзу процесін өңделген ерітіндіде сіңірілген ионның концентрациясы талдау әдісімен анықталатын берілген төменгі мәніне жеткенде тоқтатады. Бұл жағдайдағы иониттің алмасу сыйымдылығы *жұмыстық* деп аталады. Жұмыстық алмасу сыйымдылығы мәнінің айырмашылығы «*секіргенге дейінгі*» алмасу сыйымдылықтан өте аз шама болатындықтан оларды бір біріне тең деп санауға да болады.

Алмасу сыйымдылығы сіңірілетін иондардың иондық түрі мен табиғатына, жаңғырту шарттарына, судың рН мәніне, су ағынының жылдамдығына, ионит қабатының геометриялық сипаттамаларына тәуелді. Толық, жұмыстық және «*өтіп кеткенге дейінгі*» алмасу сыйымдылықтардың арасындағы қатынастарын динамикалық жағдайда тұрғызылған ионитті сүзгінің шығыс қисығында көрсетуге болады (11 – сурет). Бұл суретте сүзгінің сіңірген иондарының толық мөлшері сіңірілетін ион концентрациясының теңесу кезеңімен (1,2,3,5 фигурасының ауданы), «*секіргенге дейінгі*» сіңірілген иондар мөлшері – 1,2,3,7 тік төртбұрышының ауданымен, ал жұмыстық циклдағы сіңірілген иондар мөлшері – 1,2,4,6 фигурасының ауданымен сипатталады.



1 – алмасатын ионның бастапқы концентрациясы; 2 – фильтраттан шығарылатын ионның концентрациясы; 3 – «секіргенге дейінгі» өңделген ерітінді көлемі; 4 – жұмыстық циклда өңделген ерітінді көлемі.

11 сурет – Ионитті сүзгінің шығыс қисығы

Шығыс қисығынан сүзгінің белгілі сипаттамалары арқылы сүзгіге тиелген иониттің жұмыстық алмасу сыйымдылығын есептеуге болады:

$$E_{\text{жұм}} = \frac{(C_{\text{баст}} - C_{\text{ф}}) \cdot \theta}{f \cdot h} \quad [z - \text{экв} / \text{м}^3], \quad (24)$$

мұнда  $f$  – сүзгі қимасының ауданы,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – ионит қабатының биіктігі,  $\text{м}$ ;

$C_{\text{баст}}$  – судағы иондардың бастапқы концентрациясы;

$C_{\text{ф}}$  – фильтраттың концентрациясы;

$\theta$  – сүзу циклындағы өңделген су мөлшері,  $\text{м}^3$ .

Иониттің жұмыстық алмасу сыйымдылығының мәні тұрақты шама емес, өйткені ол судан шығарылатын иондар түрі мен концентрациясына, өңделетін судағы тұз компоненттерінің қатынасына, рН мәніне, ионитті сүзгінің жаңғыртуға тоқтату кезеңіне, ионит қабатының биіктігіне, сүзу жылдамдығына регенерациялаушы реагенттің меншікті шығынына және т.б. факторларға тәуелді.

### 3.2 Ион алмасудың технологиясы

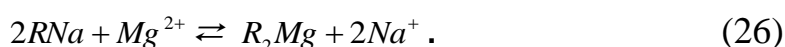
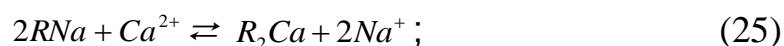
Су дайындау технологиясында суды ион түріндегі қоспалардан тазартуда екі негізгі процесс қолданылады: катиондау және аниондау. Алмасу ионына байланысты процестер мен аппараттар Na-катиондау, Na-катионитті сүзгі, H-катиондау, H-катионитті сүзгі, OH-аниондау, OH-анионитті сүзгі деп аталады. Процесс нәтижесінде түзілген фильтрат Na-катиондалған су, H-

катиондалған су, ОН-аниондалған су деп аталады.

Na-катиондау процесі суды жұмсарту үшін қолданылса, Н- және ОН-иондау процестері суды тұзсыздандыру сұлбаларында бірге жүргізіледі. Н-катиондауды суды Н- Na-катиондау сұлбаларында да қолдануға болады. Су дайындау қондырғыларында суды иондау процестері бөлек және аралас әрекетті үйілмелі ионитті сүзгілерде іске асады.

### 3.2.1 Na-катиондау

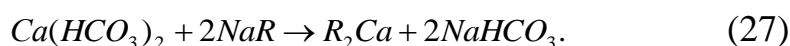
Процесс кезінде бастапқы судың кермектілігін қамтамасыз ететін  $Ca^{2+}$  және  $Mg^{2+}$  иондары катиониттің құрамындағы  $Na^+$ -иондарының эквиваленттік мөлшеріне алмасады:



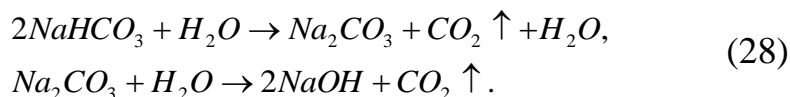
мұнда R – иониттің I-валентті матрицасы.

Na-катиондаудан кейін шыққан фильтраттың қалдық кермектілігі 5-10 мкг-экв/ кг құрайды.

Na-катиондалған судың аниондық құрамы өзгермейтіндіктен бастапқы судың карбонатты кермектілігі келесі реакция бойынша өзгереді:



Натрий гидрокарбонаты қосылатын сумен бірге қазанға түсіп келтірілген реакцияларға сәйкес натрий гидроксидіне айналады:



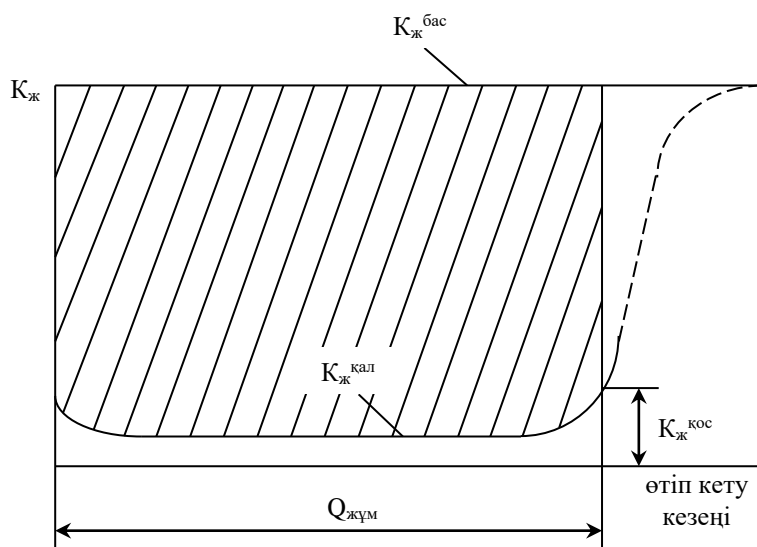
Бұл процесс сілтілік коррозияға әкелуі мүмкін.

Na-катиондаудың кемшіліктері келесі:

1) сілтілік мәнінің тұрақты болуы (яғни өзгермеуі), сондықтан бұл процестің өзін тек бастапқы судың төменгі сілтілігінде жылулық тораптың суын дайындауда, төменгі және орташа қысымдағы қазандардың қосылатын суын дайындауда ғана қолдануға болады;

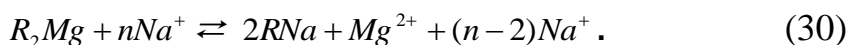
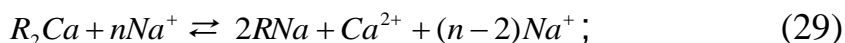
2) катиондардың массалық концентрациясының артуы, өйткені натрий иондарының эквиваленттік массасы (=23) кальций (=20) және магний (=12) иондарының эквиваленттік массаларынан жоғары.

Na-катиондаудағы жұмсарту процесін кермектілік иондарының өтіп кетуі бойынша тоқтатады (12 – сурет). Сүзгідегі жұмыс істеп тозған катионитті регенерациялайды, яғни жаңғыртады.



12 сурет – Na-катионитті сүзгінің шығыс қисықтары

Жаңғыртуды тозған катионит бойымен 6-10% NaCl ерітідісін жіберіп өткізеді:



мұнда  $n$  – NaCl тұзының стехиометриялықтан артық мөлшері.

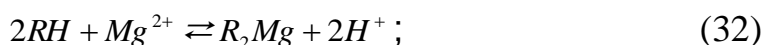
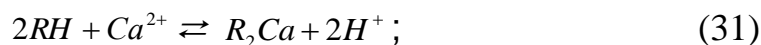
Реагенттің таңдалған шығынында катионитті жаңғырту эффекті тұз ерітіндісінің катионитпен контактілеу уақытын ұзартып жоғарлатады. Катионит қабатының 1,5-2,0 м биіктігінде регенерациялаушы ерітіндіні жібері жылдамдығы 4-6 м/сағ құрау қажет. Бұл мәннен төмен жылдамдық сүзгінің гидродинамикалық шарттарына сәйкес келмейді.

Жаңғыртуда тура ағынды және кері ағынды технологиялар қолданылады. Тура ағынды технологиясында реагенттер шығынын азайту үшін Na-катиондаудың екі сатылы сұлбасын пайдаланады.

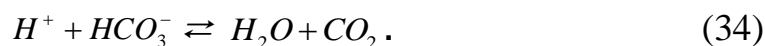
### 3.2.2 H-катиондау

Бұл процесті судағы барлық катиондарды сутек иондарына алмастырып бөліп алу үшін жүргізеді. H-катионитті сүзгіден шығатын фильтратта артық мөлшерде сутек иондары болатындықтан судың рН мәні қышқылдық болады. Осы себептен бұл процесті Na-катиондаумен немесе аниондаумен бірге жүргізеді.

H-катиондаудың реакциялары келесі:

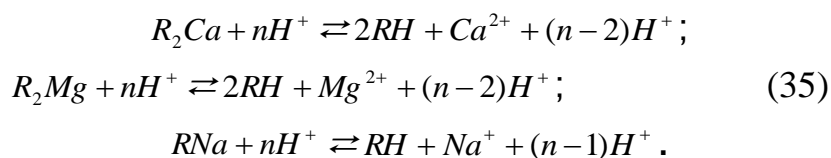


Процестің нәтижесінде түзілетін  $H^+$ -иондары өңделетін судың гидрокарбонат-иондарымен әрекеттеседі:



Иониттің  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  және  $Na^+$ -иондарын сорбциялау процесі бұл иондардың селективтілік қатарында орналасуына байланысты өтеді ( $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ ). Н-катионитінің жоғарғы қабатында кальций иондарын сіңіру зонасы, одан төменірек – магний иондарының зонасы, ең төменгі жағында – натрий зонасы орналасады. Бұл 3 зона Н-катиониті тозған сайын бірінің артынан бірі ионит қабатының төменгі шекарасына қарай жылжиды да фильтратқа ең бірінші натрий катиондарының өтіп кетуі байқалады. Сүзгінің натрий иондары немесе кермектілік иондары өтіп кетуіне дейін жұмысы оны пайдаланудың технологиялық сұлбасына байланысты.

Тозған Н-катионитті регенерациялау үшін әдетте 1,0-1,5%  $H_2SO_4$  ерітіндісі қолданылады:

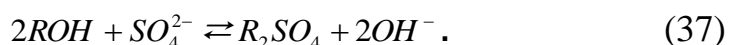
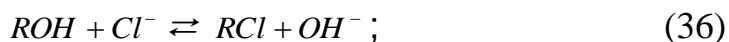


$H_2SO_4$  ерітіндісінің жоғарырақ концентрацияларында катионит дәндерінде нашар еритін  $CaSO_4$  түзіліп, гипстелу процесі жүруі мүмкін. Регенерациялаушы ерітіндісін  $\geq 10$  м/сағ жылдамдықпен жібереді.

Ионитті сүзгінің кері ағынды регенерациялануы жүргізілген кезде реагент шығыны азайып, фильтрат сапасы жоғарылайды.

### 3.2.3 ОН-аниондау

Процесті жүргізу мақсаты – суды химиялық тұзсыздандыру. Аниондау процесін катиондаумен бірге жүргізеді. Әлсіз негізді аниониттер аниондау кезінде құрамындағы активті алмасу аниондарын тек күшті қышқылдар аниондарына алмастырады. Анионит қабатында суды сүзгенде аниондардың сорбциясы келесі теңдеулер бойынша жүреді:



Суға  $OH^-$  – иондардың өтуіне байланысты рН мәні жоғарылайды. Судағы  $H_2CO_3$  пен  $H_2SiO_3$  әлсіз қышқылдары дисоциацияланып иондық күйге айналады. Бұл қышқылдарда жоғары сілтілі аниониттермен алмасу реакцияларына түсуі мүмкін:

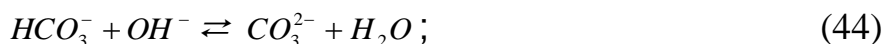
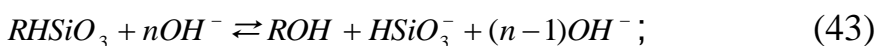
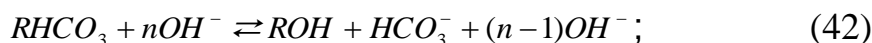
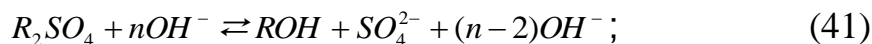
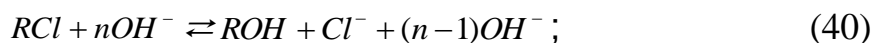


Қышқылдық суды аниондағанда судағы  $\text{OH}^-$  - иондарының концентрациясы жоғарыламайды, өйткені суда бұл иондар сутек иондарымен байланысып, су молекулаларын түзеді.

Аниондардың селективтілік қатарына сәйкес анионитті сүзгіде төменгі сілтілі анионитті қолданғанда сүзгінің ең төмен жағында хлорид-иондар зонасы орналасады және фильтратқа ең бірінші болып солар өтеді. Бұл жағдайда анионитті сүзгіні регенерациялауға хлорид-иондар концентрациясы бойынша тоқтатады.

Жоғары сілтілі аниониттерді қолданғанда төменгі зонасында ең жақсы сорбцияланатын кремний қышқылы, оның жоғарғы жағында – кремний қышқылы мен бикарбонат-ионның зонасы, одан жоғарырақ – аталаған аниондар мен күшті қышқылдар аниондарының зонасы орналасады. Сүзгіні регенерациялауға кремний қышқылының өтіп кетуі бойынша тоқтатады.

Анионитті сүзгілердің регенерациялануы  $\text{NaOH}$  4% ерітіндісімен келесі реакциялар бойынша өтеді:



Аниониттерді регенерациялауда реагенттердің шығынын 30-40% азайтатын кері ағынды және сатылы-кері ағынды сұлбалар қолданылады.

Тұзсыздандыру сұлбаларында жоғары сілтілі анионитпен тиелген  $\text{OH}^-$  – анионитті сүзгілерін пайдаланудың негізгі міндеті – судан кремний қышқылын бөліп алу. Аниониттің кремний қышқылы бойынша сиымдылығын жоғарлату үшін ондау процесіне келетін суда селективтілігі жоғарырақ бикарбонат-ионның мөлшерін азайту қажет. СДҚ сұлбаларында оны қышқылды Н-катиондалған судан деаэратор немесе декарбонизатор арқылы десорбциялайды.

### 3.2.4 Ионитті сүзгілер

Құрылысы бойынша мөлдірлеткіш сүзгілерге сәйкес келетін ионитті сүзгілер ион алмасу СДҚ-дың негізгі элементтері болып саналады.

Ионитті сүзгілердің жіктелуі келесі:

I) *Тиелетін дәндер фракциясының ірілігі бойынша:* 1) үйілмелі; 2) жуылатын;

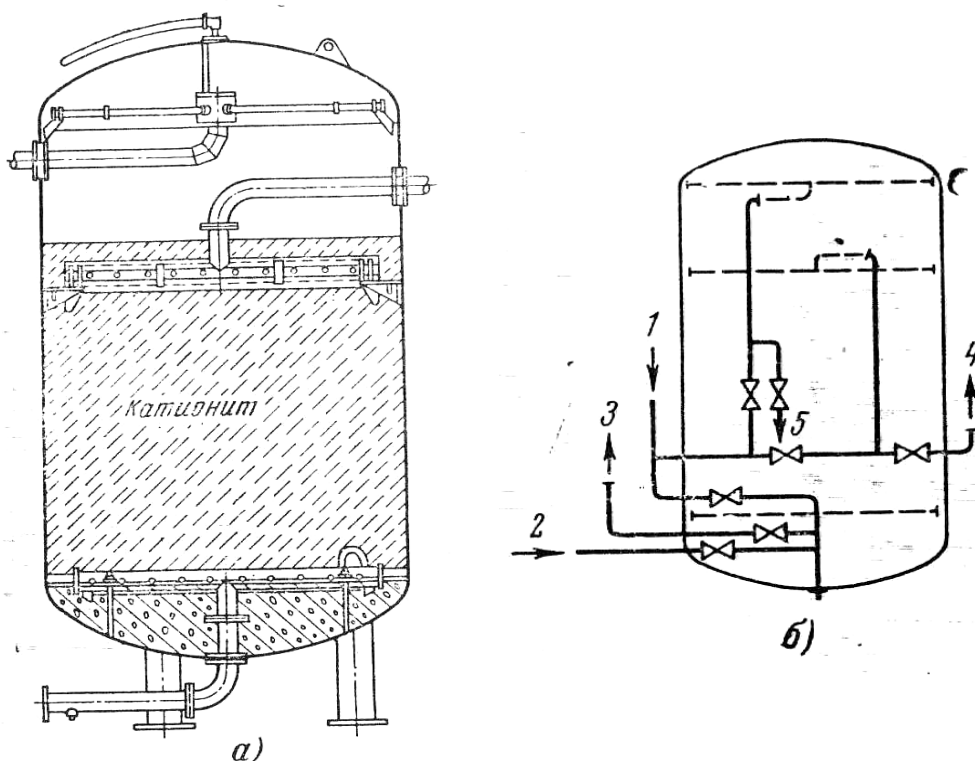
II) *Әсер ету қағидасы бойынша:* 1) катионитті; 2) анионитті; 3) аралас әрекетті: а) жуылатын; б) үйілмелі ішкі және сыртқы регенерациясы бар;

III) *Технологиялық операцияларды орындау тәсілі бойынша:* 1) тура ағынды; 2) кері ағынды; 3) параллельді;

IV) *Конструкциясы бойынша:* 1) бір қабатты; 2) екі қабатты. Екі қабатты сүзгілерде 1 – корпусың ішінде бөлек басқарылатын 2 сүзгі болады.

V) *Түні бойынша:* 1) вертикалды; 2) горизонталды.

Тура ағынды сүзгілерде су ағыны мен регенерациялаушы ерітінді ионит бойымен бір бағытта жіберілсе, кері ағындыда су мен регенерациялаушы ерітіндінің бағыттары бір біріне қарама қарсы болады (яғни кері бағытта жіберіледі) (13 – сурет). Кері ағынды катионитті сүзгінің тура ағындыдан айырмашылығы келесі. Бұл сүзгіде екі дренажды жүйе болады: жоғарғы және төменгі. Жоғарғы дренажды жүйе ионит қабатының 150-300 мм тереңдігінде орналасады. Бұл сүзуші қабаттың ең жоғарғы жағында жиналатын ұсақ бөлшектердің дренажды жүйенің тесіктерін жауып тастамауы үшін жасалынады. Регенерациялаушы ерітінді жоғарыдан жіберіледі, ал бастапқы судың сүзілуі төменнен жоғары қарай өтеді. Нәтижесінде жоғарғы дренажды жүйе арқылы сүзгіден шығарылатын өңделген су иониттің жақсы регенерацияланған қабатымен жанасады да ион алмасу процесі терең өтеді және реагенттің регенерацияға шығыны азаяды.



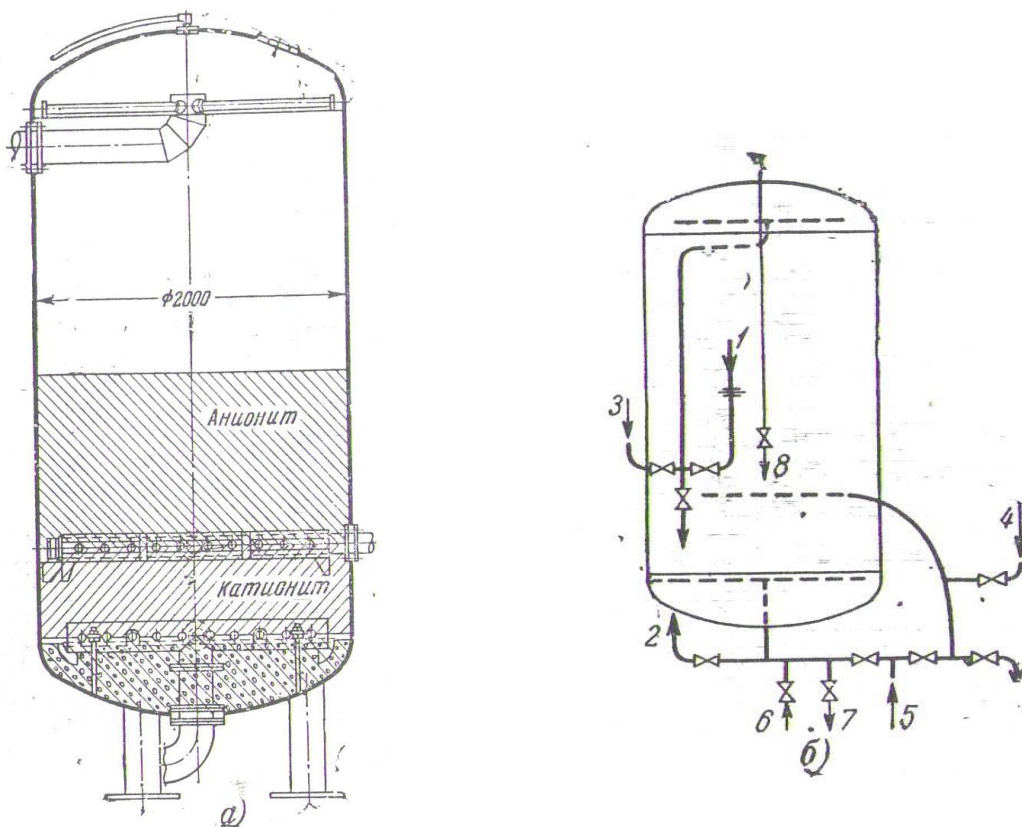
1 – өңделетін судың кірісі; 2 – қопсытып жуу үшін регенерациялаушы ерітінді мен суды әкелу; 3 – өңделген судың шығысы; 4 – регенерациялаушы ерітіндісін әкету; 5 – дренаж.

13 сурет – Кері ағынды катионитті сүзгі: а) бойлай тілігі; б) фронт сұлбасы



Тура ағынды қазандар мен ядролы реакторлардың қосылатын суын тазарту үшін 3 сатылы химиялық тұзсыздандыру сұлбасы қолданылады. Мұнда 3-ші сатысында аралас әрекет сүзгілері (АӘС) қолданылады. АӘС тиеуі Н-түріндегі қышқылды катионит пен ОН-түріндегі күшті негізді аниониттің қоспасынан тұрады. Бұл қоспаны төменнен жоғары қарай сығылған ауа жіберу арқылы араластырады. Сүзгіден өткен су тұздардан және кремний қосылыстарынан терең тұзсыздандырылады. АӘС иониттерінің араластырылған қабатын регенерациялау үшін алдымен катионит пен анионит қабаттарын төменнен жоғары қарай сумен қосытып жуу арқылы бір-бірінен бөледі. Бөлінген анионит сүзгінің жоғары қабатында, ал катионит- төменгі қабатында (дренаждың орташа құрғату жүйесінің астында) орналасады (14-сурет).

Регенерациялау кезінде сілті ерітіндісі – жоғарыдан, ал қышқыл ерітіндісі – төменгі жағынан жіберіледі. Регенерациялаушы ерітінділер дренаж жүйесі арқылы әкетіледі. Процесс біткеннен кейін иониттер сумен жуылып, қайтадан қысылған ауа көмегімен араластырылады. Мұнда судың тұзсыздандырылуы терең өтеді (қалдық меншікті электр өткізгіштігі 0,2 мкСм/см құрайды).



- 1 – өңделетін судың кірісі; 2 – өңделген судың шығысы; 3 – сілті ерітіндісін әкелу; 4 – қышқыл ерітіндісін әкелу; 5 – мөлдірлетілген суды әкелу; 6 – қысылған ауаны әкелу; 7 – жуатын судың шығысы; 8 – ауаны әкету.

14 сурет – Аралас әрекетті ионитті сүзгісі: а) бойлай тілігі; б) фронт сұлбасы

Сүзгі конструкциясына байланысты регенерациялау процесін 2 әдіспен жүргізеді:

1) *Сыртқы регенерациялау.*

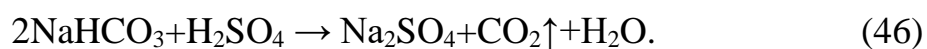
Мұнда иониттердің араластырылған қоспасы су ағынымен ФИСДН типті сүзгісінен 1-ші регенерациялаушы сүзгісіне ауыстырылады. Мұнда иониттер қоспасы гидравликалық жолмен көлемдік тығыздықтарының айырмашылығына байланысты катионит пен анионитке бөлінеді. Одан кейін анионит гидроауыстыру арқылы екінші регенерациялаушы сүзгіге жіберіледі. Бөлек регенерациялаудан кейін катионит пен анионит АЭС-ге тасымалданып, қысылған ауамен араластырылады да бейтарап реакцияға дейін сумен қосымша жуады да сүзгі жұмысқа қосылады. Әдістің артықшылықтары: регенерациялаушы ерітінділердің шыққа келіп түсуі мүмкін емес, қышқылға төзімді материалдар мен сүзгі жабындарын қажет етпейді, қажетті бақылау-өлшегіш аппаратураның көлемін азайтады. Мұндай әдіспен регенерацияланған ФИСДН типті жұмыс сүзгісін шығыр шықтарын тазалау жүйелерінде 100 м/сағ сүзу жылдамдықпен пайдаланады.

2) *Ішкі регенерациялау.*

Аралас қабатының ішкі регенерациялануы өнімділігі құрама тұзсыздандырғыш қондырғыға (БОУ) карағанда азырақ болатын су дайындау қондырғыларының сұлбаларында қолданылады. Бұл әдіс жүзеге асу үшін АЭС-сі ортасында құрғату жүйесімен жабдықтану қажет. Бұл әдістің кемшілігі: регенерациялау процесі біткенше АЭС 4-5 сағ жұмыс істемей тұрады. ФИСДВ типті сүзгісінің сүзу жылдамдығы 50 м/сағ аспау қажет.

### **3.2.5 Ион алмасу сұлбалары**

Na-катиондау карбонаттық сілтілігі аз ( $\leq 0,5$  мг-экв/кг) табиғи суларды жұмсарту үшін ғана қолданылады. Төменгі және орташа қысымдағы қазандарға суды аз мөлшерде қосқан кезде карбонаттық сілтілігі жоғарырақ болатын суды да Na-катиондауға болады. Кейбір сұлбаларда Na-катиондалған суға қышқылды қосады. Бұл кезде судың сілтілігі бұзылады:



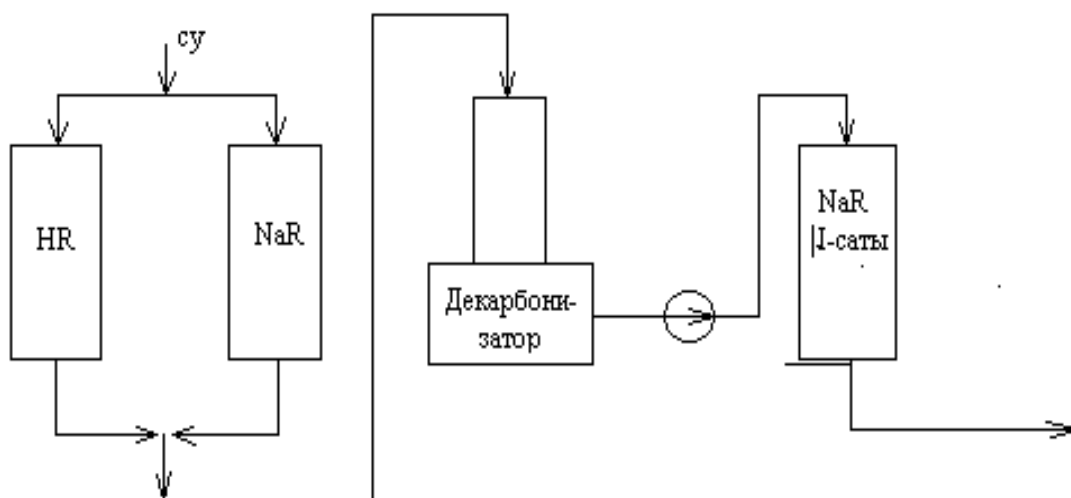
Мұнда  $\text{CO}_2$  газын II-ші сатыдағы Na-катионитті сүзгінің алдында орнатылатын декарбонизаторда бөліп алады.

#### ***Параллельді H-Na-катиондау сұлбасы***

Параллельді H-Na-катиондауды бастапқы судың  $K_k > 0,5 \cdot K_{\text{ж}}$  және күшті қышқыл аниондарының концентрациясы  $> 2$  мг-экв/кг болған кезде қолдануға болады.

Бұл сұлба бойынша, ағынның бір бөлігі H-катионитті сүзгіге, ал басқа бөлігі - Na-катионитті сүзгіге жіберіледі. Қышқылды H-катиондалған су және сілтілі Na-катиондалған су ағындары қосылады да судың сілтілігі қалдық

мәніне  $C_{\text{калд}}$  дейін бұзылады ( $\text{CO}_2$  бөлінеді).  $\text{CO}_2$  газын жою үшін су декарбонизатордан өткізіліп, ары қарай судың жұмсартуын II-ші сатыдағы Na-катионитті сүзгіде жүргізеді.



15 сурет - Суды параллельді Н-Na-катиондаудың технологиялық сұлбасы

H-катионитті сүзгіден өткізілетін судың қажетті үлесі (X) келесі теңдеумен есептеледі:

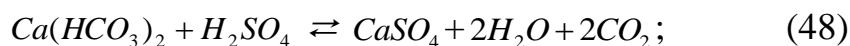
$$X = \frac{C_{\text{HCO}_3^-} - C_{\text{калд}}}{C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-}}. \quad (47)$$

Онда Na-катионитті сүзгіге жіберілетін судың үлесі (1-x) тең болады.

### **Жүйелі (бір ізді) H-Na-катиондау сұлбасы**

Бұл сұлба бастапқы судың  $K_k < 0,5 \cdot K_j$ , күшті қышқылдар аниондары концентрацияларының қосындысы  $< 2$  мг-экв/кг, тұз мөлшері  $> 1000$  мг/кг болғанда қолданылады.

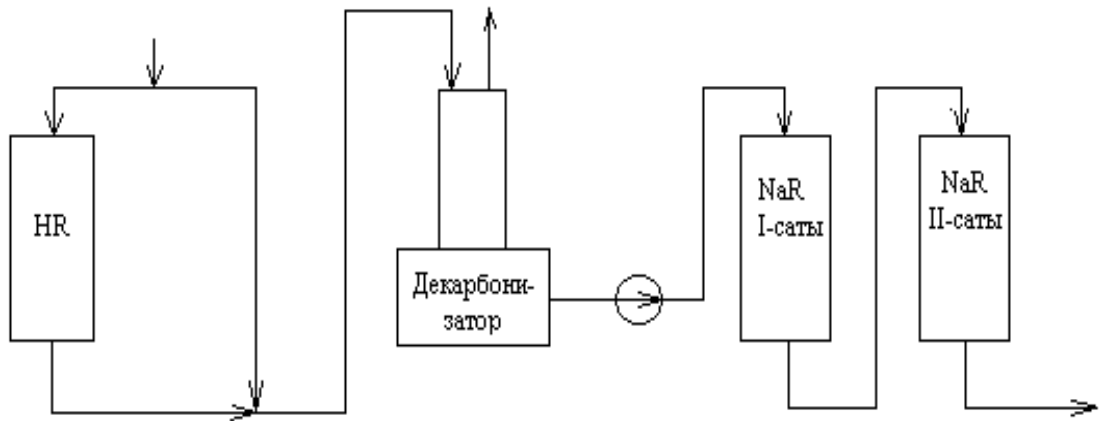
Мұнда судың бір бөлігі H-катионитті сүзгіден өткізіледі, ал қалған бөлігі қышқылды фильтратқа қосылады. Бұл кезде бастапқы судағы бикарбонат-иондар күшті қышқылдарды жарым-жартылай бейтараптайды да  $\text{CO}_2$  газы түзіледі:



Реакциялардың нәтижесінде араласу нүктесінде карбонатты кермектілік карбонатсызға ауысады.  $\text{CO}_2$  – газы декарбонизаторда жойылады. Толық жұмсарту үшін суды Na-катионитті сүзгіден өткізеді.

Судың қалдық сілтілігі мына теңдеумен есептеледі:

$$C_{кал\delta} = (1-x) \cdot C_{HCO_3^-} - x \cdot (C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-}) .$$

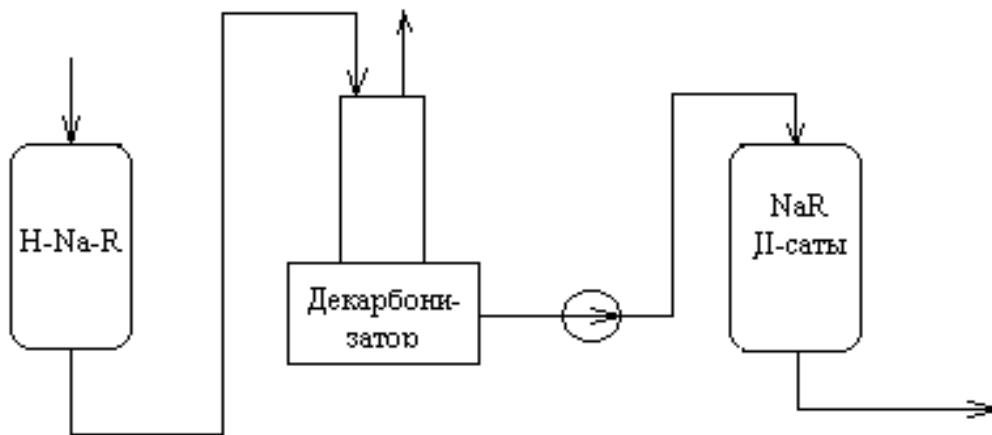


16 сурет - Суды бір ізді H-Na-катиондаудың технологиялық сұлбасы

Параллельді және бір ізді H-Na-катиондаудың кемшілігіне сүзгі циклында су ағындарын бөлу жатады.

Бастапқы судың құрамына байланысты келтірілген сұлбалардың әрқайсысында өзінің қолдану аймағы болады.

### ***Бірлескен H-Na-катиондау сұлбасы***



17 сурет - Судың бірлескен H-Na-катиондау сұлбасы

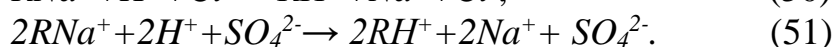
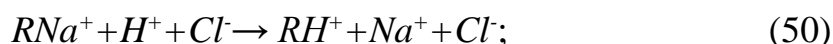
Алдында келтірілген сұлбаларға қарағанда, мұнда су ағыны бөлінбейді, түгел катиониттің 2 бастапқы түрі бар сүзгісінен өткізіледі. Ол үшін катиониттің регенерациясын 2 этапта өткізеді:

- 1) Сорбцияланған  $Ca^{2+}$  және  $Mg^{2+}$  иондарын жарым-жартылай ығыстыру үшін сүзгіден күкірт қышқылының қажетті көлемін өткізеді;
- 2) одан кейін NaCl ерітіндісін өткізеді.

Сонда катиониттің жоғарғы қабаттарында H - түрі, төменгісінде – Na - түрі орналасады. Жұмсарту кезінде су алдымен жоғарғы қабатпен түйсіп,

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  - иондарын  $\text{H}^+$  - иондарға алмастырады.  $\text{H}^+$  - иондар  $\text{HCO}_3^-$  - иондарымен әрекеттесіп,  $\text{CO}_2\uparrow$  түзеді.

Одан кейін су төменгі қабатпен әрекеттеседі:



Нәтижесінде судың рН жоғарлап, көмір қышқылының диссоциациялану дәрежесі де өседі (оның  $\text{H}^+$  - иондары да ион алмасу реакцияларына қатысады, бірақ бұл реакциялар толық жүрмейтіндіктен,  $\text{HCO}_3^-$  - ионының концентрациясы бастапқыдан төменірек болады). Фильтраттың сілтілігі алдында төмен болады, бірақ бұл шама өзгереді.

Циклдегі фильтраттың орташа сілтілігі әдетте 1,0-1,5 мг-экв/л құрайды. Жұмыс циклының аяқталуын керемктіктің өтіп кетуінен анықтайды:

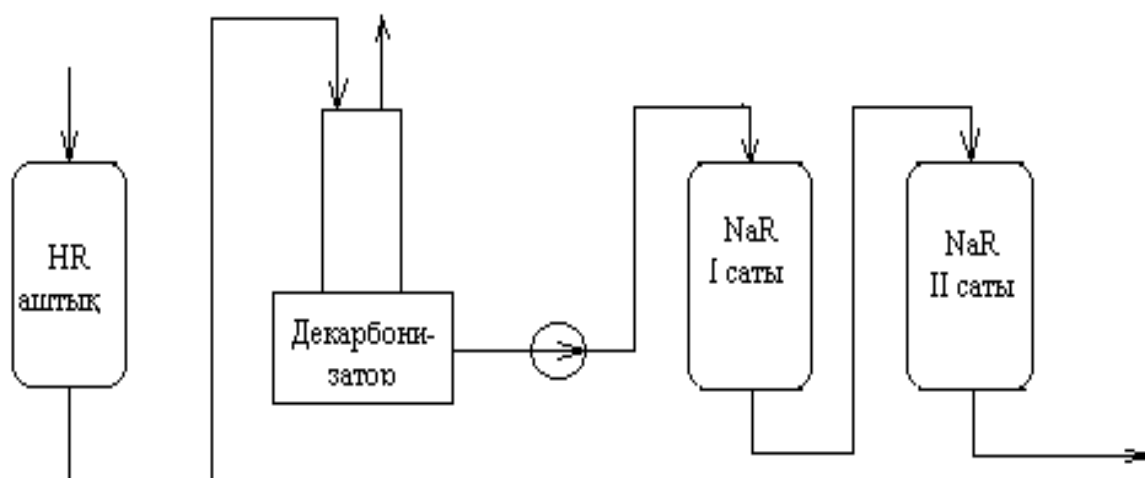
$$K_{\text{қалд.}} = 0,03-0,10 \text{ мг-экв/л.}$$

Бірлескен Н-Na-катиондау сұлбасы параллельдіге қарағанда қалдық сілтілік мәнінің жоғары болғаны үшін жылуэнергетикада аз қолданылады.

### ***Н- катионитті сүзгілердің аштық регенерациялауымен жүретін бір ізді Н-Na-катиондау сұлбасы***

Аштық регенерациялауымен жүретін бір ізді Н-Na-катиондау сұлбасы сілтіліктің тұрақсыздануын азайтады. Бұл сұлбада да су бөлек ағындарға бөлінбейді, бірақ ерекшелігі – аштық регенерациялаумен жүретін Н-катиондау сатысы.

Аштық регенерациялауда әлсіреген (тозған) катиониттің регенерациясы қышқылдың кем мөлшерімен жүргізіледі. Регенерациялау кезінде Н-түріне катиониттің жоғарғы қабаты ғана ауысады. Төменгі қабаттары  $R_2\text{Ca}$ ,  $R_2\text{Mg}$ ,  $R\text{Na}$  түрінде қалады.



18 сурет - Н-катионитті сүзгілердің аштық регенерациялауымен жүретін бір ізді Н-Na-катиондаудың қағидалы технологиялық сұлбасы

Алдыңғы сұлбалармен салыстырғанда бұл сұлбаның артықшылығы мынандай: процесті дұрыс жүргізгенде жұмыс циклының басынан аяғына дейін нөлдік қышқылдықтағы және минималды сілтіліктегі фильтрат түзіледі.

Бұл регенерацияны орташа қышқылды ( $-\text{SO}_3^-$  және  $\text{COOH}$ - тобы бар) және әлсіз қышқылды (монофункционалды  $\text{COOH}$  – тобы бар) катиониттерде жүргізеді. Мұнда тура ағынды регенерацияның принципі қолданылады (қышқыл да, су да төмен қарай жіберіледі) және өтетін процестер бірлескен H-Na-катиондауға сәйкес келеді.

Жұмыс циклы аяқталғанда регенерациялау кезінде енгізілген  $\text{H}^+$ -иондардың барлығы өнделетін судың сілтілігін жоюға жұмсалады.

Циклдың аяқталуын сілтіліктің берілген мәніне дейін жоғарылауы бойынша анықтайды (басқа технологиялық сұлбаларда циклдың аяқталуын ионның өтіп кетуі бойынша анықтайды).

Аштық регенерациялаумен істейтін катиониттерде  $\text{HCO}_3^-$  - ионы бойынша шартты жұмыс алмасу сыйымдылығы түсінігі енгізіледі ( $C_{\text{ж}}^{\text{шартты}}$ ).

Шартты жұмыс алмасу сыйымдылығы ( $C_{\text{ж}}^{\text{шартты}}$ ) деп қышқылдық су түзілмейтін және минималды сілтіліктегі фильтраттың түзілуімен өтетін сүзгінің жұмыс циклындағы катионит көлемінің бірлігімен анықталатын  $\text{HCO}_3^-$  - ионының грамм- эквиваленттік (немесе мг-экв) мөлшерін айтады.

Шартты жұмыс алмасу сыйымдылығын келесі теңдеумен есептейді:

$$C_{\text{жұм}}^{\text{шартты}} = Q_{\text{жұм}} \cdot (C_{\text{ж}}^{\text{баст}} - C_{\text{қалдық}}^{\text{орташа}}) / V_{\text{кат}}, [\text{Г-ЭКВ}/\text{М}^3]. \quad (52)$$

$Q_{\text{жұм}}$ - жұмыс циклында катионит арқылы өткізілген судың мөлшері,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{кат}}$ - сүзгідегі катиониттің көлемі,  $\text{м}^3$ ;

$C_{\text{ж}}^{\text{баст}}$ - бастапқы судың жалпы сілтілігі, мг-экв/л;

$C_{\text{қалдық}}^{\text{орташа}}$ - фильтраттың орташа қалдық сілтілігі, мг-экв/л;

$C_{\text{жұм}}^{\text{шартты}}$  - шартты жұмыс алмасу сыйымдылығы (қолданылатын катиониттің табиғатына тәуелді).

Аштық регенерациялауға шығынданатын күкірт қышқылының шығыны:

$$Q = a_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{теор}} \cdot C_{\text{ж}}^{\text{шарт}} \cdot V_{\text{кат}}. \quad (53)$$

мұнда  $a_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{теор}}$  - күкірт қышқылының теориялық жүзіндегі меншікті шығыны (1 г-экв/г-экв немесе 49 г/г-экв).

Бұл сұлбада су сілтілігінің төмендеуімен қатар оның терең жұмсартылуы жүреді. H-катиондауда түзілетін  $\text{H}_2\text{CO}_3$  декарбонизаторға жіберіліп, ары қарай су Na-катиондаудың 2-ші сатысынан өткізіледі. Осы сұлбамен өнделген судың қалдық сілтілігі 0,2-0,3 г-экв/л,  $K_{\text{ж}}^{\text{қалд}} < 0,005$  мг-экв/л құрайды. Мұндай су орта қысымдағы бу өндіргіштері мен беттік типті буландырғыштарды қоректендіруде қолданылады.

Судың H-Na-қиыстырылған сұлбалары судың сілтілігін төмендетіп, жұмсартуымен қатар жалпы тұз мөлшерін де (яғни тұздылығын) азайтады.

*Тұзсыздандырылған суды дайындауда бір тізбекті H-катиондау және*

ОН- аниондау процестері қолданылады. Суды аниондардан тазартудың қажетті дәрежесіне қарай *ішінара*, *терең* және *толық химиялық тұзсыздандыруды* ажыратады.

*Судың химиялық тұзсыздандырылуы* - судан катиондар мен аниондарды бөліп алу процесі.

*Ішінара тұзсыздандыру*- барлық катиондарды толық, ал  $\text{HCO}_3^-$  және  $\text{Cl}^-$  аниондарын жарым-жартылай ғана бөліп алу. Мұнда Н-катионитті сүзгілерді кермектіліктің өтіп кетуі кезінде тоқтатады. Фильтрат сілтілігі 0,2-1,2 мг/экв-кг құрайды.

*Терең химиялық тұзсыздандыруда* Н-катиондаудың екі сатысымен қатар аниондаудың екі сатысы қолданылады. I сатыда сүзгіге әлсіз негізді, ал II сатыда- күшті негізді анионитті тиейді. Мұнда Н-катионитті сүзгілер  $\text{Na}^+$  ионының өтіп кетуі бойынша тоқтатылады. Аниондаудың I сатысында күшті қышқылдардың аниондары, ал II сатысында  $\text{HCO}_3^-$  және  $\text{HSiO}_3^-$  аниондары бөлінеді. I сатыдағы анионитті сүзгілердің жұмысын  $\text{Cl}^-$  иондарының өтіп кетуі, ал II сатысын - кремний қышқылы иондарының өтіп кетуі бойынша тоқтатады. Бұл сұлба жоғары қысымдағы дағыралы қазандар үшін суды дайындағанда қолданылады.

*Толық химиялық тұзсыздандыруда* судың ең мұқият дайындалуы жүреді. Мұнда ең соңғы этапта аралас әрекет сүзгілері (АЭС) қолданылады. АЭС-де судың Н-ОН иондануы бірге жүргізіледі. Ол үшін су Н- және ОН- түріндегі катионит пен аниониттің араластырылған түйіршіктерінің қабатынан сүзіледі. АЭС-де су барлық иондардан терең тазартылады, сүзгіш материалы ретінде күшті қышқылды катиониттер мен күшті негізді аниониттер қолданылады.  $\text{Na}^+$ -ионының қалдық концентрациясы  $\leq 5$  мкг/кг, ал  $\text{HSiO}_3^-$  қалдық концентрациясы  $< 5$  мкг/кг құрайды. Бұл сұлба тура ағынды қазандардың қосылатын суын дайындауда іске асады.

Аниондау процесі суды аниондардан тазарту мақсатымен жүргізіледі, яғни мұнда судың аниондары анионит иондарына алмасады. Аниондаудың нәтижесінде Н-катиондалған судың жалпы тұз мөлшері 50-100 мкг/кг-ға дейін төмендейді. Әлсіз негізді аниониттер күшті қышқылдар аниондарын сорып алу қабілеттілігі келесідей:



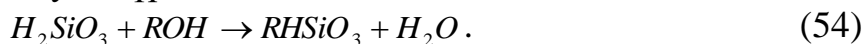
Кейінгі анионға қарағанда алдыңғысы көбірек сорбцияланады.

Аниониттің  $\text{SO}_4^{2-}$  анионы бойынша жұмыстық алмасу сымдылығы  $\text{Cl}^-$  анионына қарағанда 40-50%-ға жоғары болады. Әлсіз негізді аниониттерді қолданғанда  $\text{Cl}^-$ -иондарының зонасы фильтратқа бірінші өтіп кетеді, ал анионитті сүзгінің регенерациялауға шығатын уақыты  $\text{Cl}^-$  – ионының концентрациясынан анықталады.

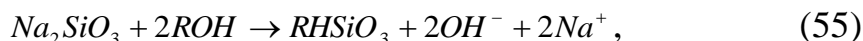
Әлсіз қышқылдардың аниондары ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$  және т.б.) әлсіз негізді аниониттермен алмасу реакцияларына түспейді. ОН<sup>-</sup> иондарының су аниондарымен алмасуы су рН-ның жоғарылауына әкеледі.

Күшті негізді аниониттердің бағасы қымбат болғандықтан, оларды тек толық химиялық тұзсыздандыру қондырғыларында судан кремний қышқылдарының аниондарын бөліп алу үшін қолданады. Сүзгі жұмысының режиміне байланысты күшті негізді аниониттен өткізілген суда кремнийдің мөлшері ( $SiO_3^{2-}$  ионына есептегенде) 20 мкг/кг дейін төмендейді.

Бастапқы суда кремний қышқылының өзі ғана болса судың толық кремнийсыздандыруы жүреді:



Кремний қышқылының тұзы болғанда:



яғни сүзілетін суда  $OH^-$  – ионы пайда болып, кремний қышқылының ионын сіңіріп алу процесіне кедергі жасайды.

Суды терең кремнийсыздандыру үшін күшті негізді аниониттен өткізудің алдында оны катиондардан (Na-катионитінде) толық тазарту қажет. Тура ағынды регенерациялауда 0,1-0,15 мкг  $SiO_3^{2-}$ -иондары бар суды алуда сілтінің меншікті шығыны стехиометриялықтан 5 есе арту қажет.

Иониттің “тозуын” баяулату үшін суды анионитті сүзгілерге жіберудің алдында органикалық заттардан тазартады. Ол үшін тұзсыздандырылатын суды қосымша активтендірілген көмірден өткізеді.

Қосылатын және қосылатын қоректік суды дайындау сұлбаларын таңдау бастапқы су сапасымен, өңделетін судың қажетті сапасымен, сұлбаның сенімділігімен, тиімділігімен және суаттарға тасталатын қоспалардың минималды мөлшерімен анықталады.

Кез келген ерітіндінің электрбейтараптылық теңдеуіне сәйкес:

$$1) \text{ бастапқы суда } (C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C_{Na^+})^{баст} = (C_{Cl^-} + C_{SO_4^{2-}})^{баст} + C_{HCO_3^-}^{баст}, [мг-экв/л]; \quad (56)$$

$$2) \text{ өңделген суда } C_{Na^+}^{онд} = (C_{Cl^-} + C_{SO_4^{2-}})^{баст} + C_{HCO_3^-}^{онд}, [мг-экв/л]. \quad (57)$$

Суды өңдеу процесінде катиондар мен аниондар концентрацияларының азаюы мына теңдеулерден анықталады:

$$\Delta C_{кат} = C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C_{Na^+})^{баст} - C_{Na^+}^{онд}, [мг-экв/л]; \quad (58)$$

$$\Delta C_{ан} = C_{HCO_3^-}^{баст} - C_{HCO_3^-}^{онд}, [мг-экв/л]. \quad (59)$$

Катиондар мен аниондар концентрацияларының төмендеуі қамтамасыз ететін судың жалпы тұз мөлшерінің азаюы:

$$\Delta C^{жалпы} = \Delta C_{кат} + \Delta C_{ан} = 2 \Delta C_{кат} = 2 \Delta C_{ан}, [мг-экв/л]. \quad (60)$$

#### 4 Суды мембраналық әдістермен өңдеу

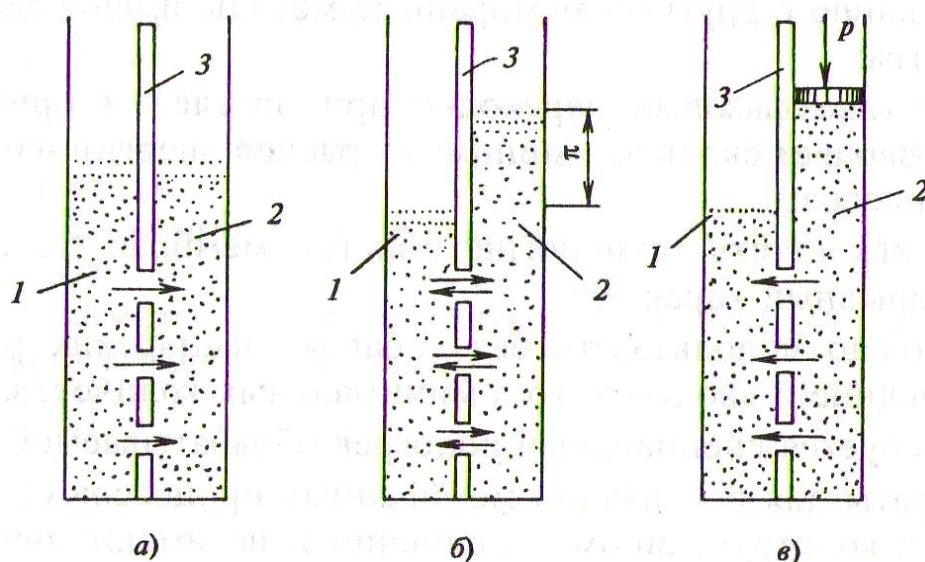
Өнеркәсіптік кәсіпорындардан, сонымен қатар ЖЭС СДҚ-нан әртүрлі қоспалардың шығыстарынан суқоймаларын қорғау мәселесі үлкейіп кеткенге



байланысты, соңғы жылдары суды тұзсыздандыру үшін реагентсіз әдістерді қолдануға көңіл көбірек бөлінеді. Қазіргі уақытта іс жүзінде суды тұзсыздандыруда мембраналық әдістер кеңінен таралған. Мембраналық технологиялардың негізі – қоспаларды не еріткішті мембрана арқылы тасымалдау. Осы тасымалдауды қамтамасыз ететін табиғи күш әртүрлі болуы мүмкін. Соған сәйкес осындай құбылыстарда қолданылатын мембраналар да әр түрлі болады. Мембраналық әдістерге кері осмос, ултрасүзу және электродиализ жатады. Еріген заттар концентрациясы 1 г/кг дейінгі ерітінділер үшін кері осмос тиімдірек болса, көбірек шоғырланған ерітінділер үшін электродиализ қолданылады. Басқа әдістермен салыстырғанда мембраналық әдістердің артықшылықтары келесі:

- 1) фазалық ауысулары болмайды және энергияның шығыны аз болады;
- 2) процесс үздіксіз өтеді;
- 3) химиялық реагенттер қолданылмайды не аз мөлшерде қолданылады;
- 4) су қыздыруды қажет етпейді;
- 5) қондырғылары қарапайым және қозғалатын бөліктері болмайды;
- 6) өнделетін судың 1 м<sup>3</sup>-не электр энергиясының шығыны  $\leq 4-6,5$  кВт/сағ құрайды.

Кері осмос қағидасы осмостың пайда болуына, жартылай өткізгіш мембрана арқылы еріткіштің ерітіндіге өтуіне негізделген. Егер тек су молекулаларын өткізетін жартылай өткізгіш жарғақтың екі жағына таза суды және тұздың сулы ерітіндісін орнатса, онда су молекулалары мембрана арқылы ерітіндіге ауысып бастайды (19 – сурет). Бұл кезде тұз ерітіндісінің көлемі ұлғайып, қысым айырымы төмендейді де су молекулаларын ары қарай өтуін тежейді. Тепе-теңдік күйінде су мен ерітінді деңгейлері өзгермейді. Мұндай орнатылған гидростатикалық қысым *осмостық қысым* деп аталады.



а – осмостық ауысудың басталуы; б – тепе-теңдік күйі; в – кері осмос;  
1 – тұщы су; 2 – тұзды су; 3 – мембрана.

19 сурет – Тура және кері осмостың қағидалық сұлбасы

Осмостық қысым ( $\pi$ ) Вант-Гофф заңы бойынша былай есептеледі:

$$\pi = \frac{i \cdot C \cdot R \cdot T}{M} \quad (61)$$

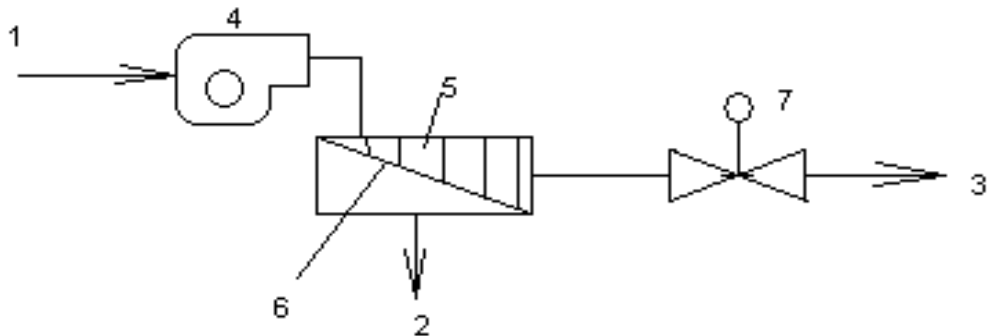
мұндағы  $i = 1 + (\nu - 1) \cdot \alpha$  - Вант-Гофф еселеуіші ( $\alpha$  – ерітілген заттың диссоциациялану дәрежесі,  $\nu$  - молекула диссоциацияланғанда түзілетін иондардың жалпы саны);  $M$  - ерітілген заттың мольдік массасы;  $R$  – универсал газ тұрақтысы.

Мысалы, 293 К-де концентрациясы 35 г/дм<sup>3</sup> NaCl ерітіндісі үшін:

$$\pi = \frac{2 \cdot 35 \cdot 8,31 \cdot 293}{58,5} = 2,9 \text{ МПа}.$$

Егер тұзды ерітіндіге сырттан осмостықтан жоғары қысым әсер етсе, жартылай өткізгіш мембрана арқылы су молекулаларының ерітіндіден өту жылдамдығы жоғары болады (ерітіндіге қарай өтуден). Нәтижесінде сырттан қысым әсер еткен ерітіндіде қоспалардың концентрленуі жүреді де мембрананың екінші жағындағы бөлімінде таза су жиналады (19 – сурет, в). Мұндай құбылыс *кері осмос* деп аталады.

Кері осмостық қондырғының қағидалы сұлбасы 20 – суретте келтірілген.



- 1 – өнделетін су; 2 – тазартылған су; 3 – концентрат (тасталатын су);  
4 – жоғары қысымдағы сорғыш; 5 – кері осмостың модулі; 6 – мембрана;  
7 – сыртқа шығаратын клапан.

20 сурет – Кері осмостық қондырғысының сұлбасы

Жартылай өткізгіш мембрананы кеуектерінен су молекулалары өтіп, тұзды судың иондары өте алмайтындай етіп таңдайды. Әдетте тұз иондарының мөлшері су молекулаларынікінен 1,5 есе үлкен болады. Тұз иондары үшін өте тар болатын кеуектерден су молекулаларының өту қабілеттілігінің тағы бір аталуы – гиперсүзу.

Кері осмостың су дайындауда қолданылатын сүзу процесінен айырмашылығы бар. Гетерогенді жүйе болып келетін табиғи және ағынды суларын сүзгілеуде диаметрі  $\geq 10$  нм әр түрлі дәрежелі дисперстіліктегі қалқыған бөлшектерді ұстайды. Ал кері осмостық қондырғыда ұсталатын

заттар молекулалар және иондар түріндегі шын ерітінділер гомогенді жүйе болып табылады. Сүзуде судан бөлінетін бөлшектер сүзгіш материалының бетінде немесе көлемінде қалады. Материалды мерзіммен алмастырып немесе мөлдірлеткіш сүзгілерде судың кері ағынымен жуады.

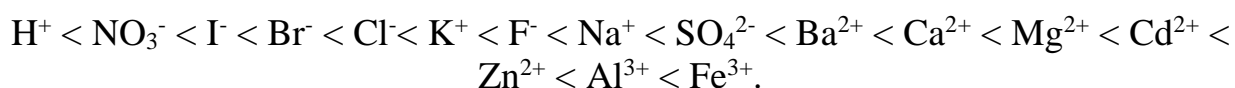
Шықтандырылған сұйықтықпен салыстырғанда кері осмостың артықшылығы энергосиымдылықты фазалық өзгерулері жоқ болуымен байланысты, бірақ жартылай өткізгіш мембраналардың қызмет етуін ұзақ уақытқа қол жеткізу үшін суды коллоидты және қалқыған заттар қоспаларынан алдын ала тазарту қажет.

Кері осмосты сипаттайтын құбылыстардың қарапайымдылығына қарамастан осы күнге дейін мембрана арқылы еріткіштің молекуласын тасымалдау механизміне біркелкі көзқарас қалыптаспаған, бірақ көптеген зерттеушілер гипертүзгілік гипотезаны қолдайды. Осы түтікшелі – сүзгілік үлгіге сәйкес жартылай өткізгіш мембранада тек су молекулалары өте алатындай диаметрі бар тесіктері болады ( $\delta n_{20} = 0,276$  нм). Жартылай өткізгіш жарғақтың ұзақ қызмет етуіне қол жеткізу үшін суды коллоидты және қалқыған заттар қоспасынан алдын-ала тазарту қажет.

Қондырғыдан шыққан судың кермектілігі 0,05 мг-экв/кг тең болғанда сүзгіні жаңғыртуға тоқтатады. Жаңғыртуды натрий хлориді ерітіндісімен жүргізеді.

Кері осмоста қолданылатын қысым 1,2 - 8 мПа құрайды. Кері осмостық қондырғыларға жіберілетін судың мөлдірлігі 1-5 аралығында; перманганаттық қышқылдығы  $\leq 3$  мгО/л; сутектік көрсеткіші  $pH = 3 - 10$  аралығында болуы қажет.

Мембраналардың судағы катиондарды ұстап қалу селективтілігі гидратациялану энергиясының өсу қатарына сәйкес келеді:



Кері осмостық тұзсыздандырудың эффективтілігі ерітіндіні сүзу жылдамдығының ( $\nu$ ) төмендегі қатынаспен байланысқан мембрананың меншікті өндірулігіне ( $q, m^3 / (m^2 \cdot таул)$ ) тәуелді:

$$\nu = 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot q. \quad (62)$$

Сонымен қатар мембраналардың әр түрлі R заттарын ұстап қалу қабілеттілігіне тәуелді:

$$R = 1 - \frac{C_{\phi}}{C_{баст}}. \quad (63)$$

Мұнда  $C_{\phi}$  және  $C_{баст}$  - ерітілген заттардың сүзілген және бастапқы судағы концентрациясы.

Ерітіндінің жартылай өткізгіш мембрана арқылы сүзілу жылдамдығы сүзу қысымымен және тұзсыздандырылатын су мен фильтраттың шамаларымен келесі қатынаспен байланысады:

$$v = k_0 \cdot (p - \Delta\pi). \quad (64)$$

мұнда  $k_0$  - мембрананың су өткізушілік коэффициенті.

Мембраналарға қойылатын талаптар:

- 1) бөлуге жоғары қабілеттілік;
- 2) жоғары меншікті өткізгіштік;
- 3) жоғары химиялық тұрақтылық және механикалық төзімділік;
- 4) пайдаланудың үлкен мерзімі.

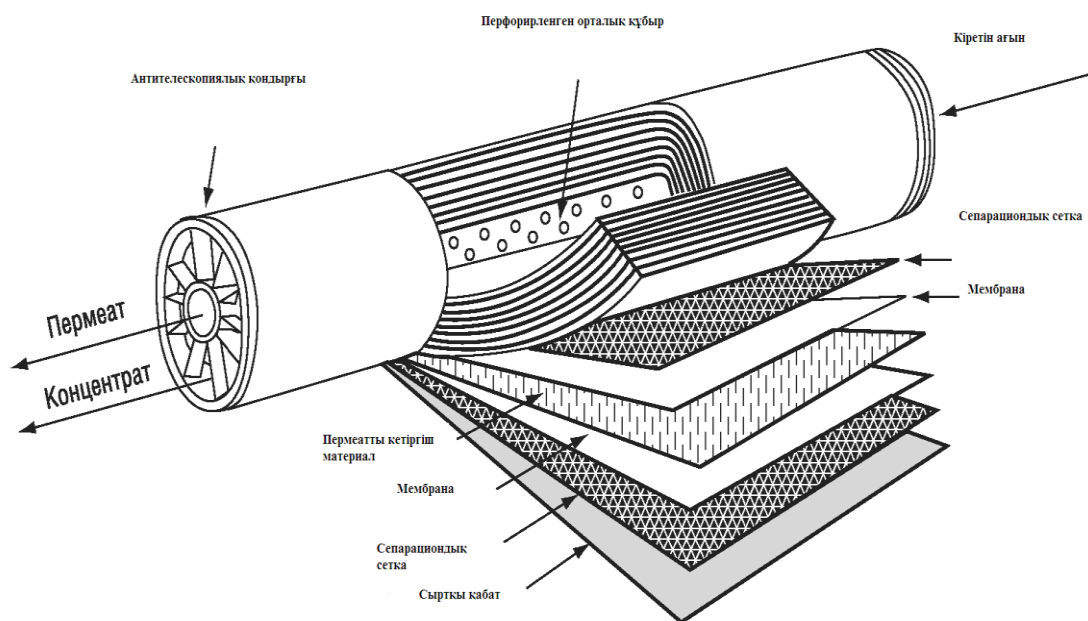
Полимерлы мембраналар көбінесе ацетилцеллюлоза мен ароматикалық полиамидтерден жасалады да, су дайындау қондырғыларымен қатар ағын суларын тазартуда қолданылады.

Қышқылдық және сілтілік орталарда тұрақсыз болғандықтан ацетилцеллюлозалық мембраналарды  $pH = 5 - 8$  бейтарап ерітінділерін тазартуда қолданады. Мұнымен қатар бұл мембраналар  $\approx 60^\circ C$ -де бұзылатындықтан оларды бөлмелік температура шектерінен шығармай қолдану қажет.

Кейбір микроорганизмдердің әсерінен мембраналардың селективтілігі төмендейді.

Өндірулігі  $\leq 100$  мың.  $m^3 / таул$  қондырғыларында кері осмосты қолдану дистилляциялауға қарағанда тиімдірек болады, ал электролизбен салыстырғанда –  $\leq 10$  мың.  $m^3 / таул$  қондырғыларында тиімдірек болады.

Өндірістік кері осмостық қондырғылардың екі түрі шығарылады: рулонды (спираль тәріздес) мембраналары бар және ішкі диаметрі 25 – 80 мкм құыс талшықты мембраналары бар. Қондырғылар белгілі сұлба бойынша блоктарға қосылатын бірнеше модульден тұрады. 21 – суретте рулонды сүзгіш элементі көрсетілген. Бұл аппараттар ішіне рулонды сүзгіш элементтері орнатылған диаметрі 7 – 20 см және ұзындығы 1 – 9 м мұржадан тұрады.



21 сурет – Рулонды сүзгіш элемент

Көптеген жағдайларда кері осмосты басқа процестермен бірге өткізу тиімді болады. Тұздар мөлшері 0,9-1,0 г/л құрайтын бастапқы суларды тазартуда кері осмос процесін ион алмасу сүзгілеріне дейін алдын-ала тазарту сатысы ретінде қолдануға болады. Мұндай сұлбаны қосылатын қорекі суын дайындауда қолдану тұзсыздандырылған судың бағасын 26%-ға, ал тұз ерітінділерінің осмосын – 50%-ға төмендетуге мүмкіндік береді.

Суды кері осмостық тұзсыздандыруда жартылай өткізгіш мембранадан еріткіш молекулалары ғана өтетіндіктен, оның бетінде еріген заттар концентрациясы жоғарылайды. Мембрана бетіне перпендикуляр келетін еріген зат концентрациясы градиентінің құрастырушысы *концентрациялық поляризация* деп аталатын құбылысқа әкеледі. Сонымен қатар, кері осмостық қондырғыларда мембрана бетіне параллельді келетін еріген зат концентрациясы градиентінің құрастырушысы да пайда болады. Су мембрана бетінің бойымен қозғалғанда оның бөлігі сүзіледі де ерітіндідегі еріген заттар концентрациясы жоғарылайды. Бұл құбылыс ерітінділердің *концентрленуі* деп аталады.

Концентрациялық поляризация барлық жағдайларда теріс шама болады да, концентрациялық поляризацияның деңгейімен сипатталады:  $\Gamma = C_M / C$ .

Концентрациялық поляризация мембрана бетінің жанында еріген заттар концентрациясын жоғарылатуына байланысты,  $\Gamma$  шамасы әрқашан  $>1$  болады. Бұл жағдай фильтрат тұздылығының өсуіне және мембрана бетінде нашар еритін заттар тұнбаларының түзілуіне мүмкіндік береді. Тұнбаның түзілуі концентрациялық поляризацияның ары қарай жүруіне апарады, өйткені тұнба қабатында ерітіндіні араластыру мен еріген заттар диффузиясы қиындайды. Сонымен қатар, мембраналардың бетінде тұнбаның түзілуі қосымша гидравликалық қысымға байланысты олардың өндірулігін төмендетеді.

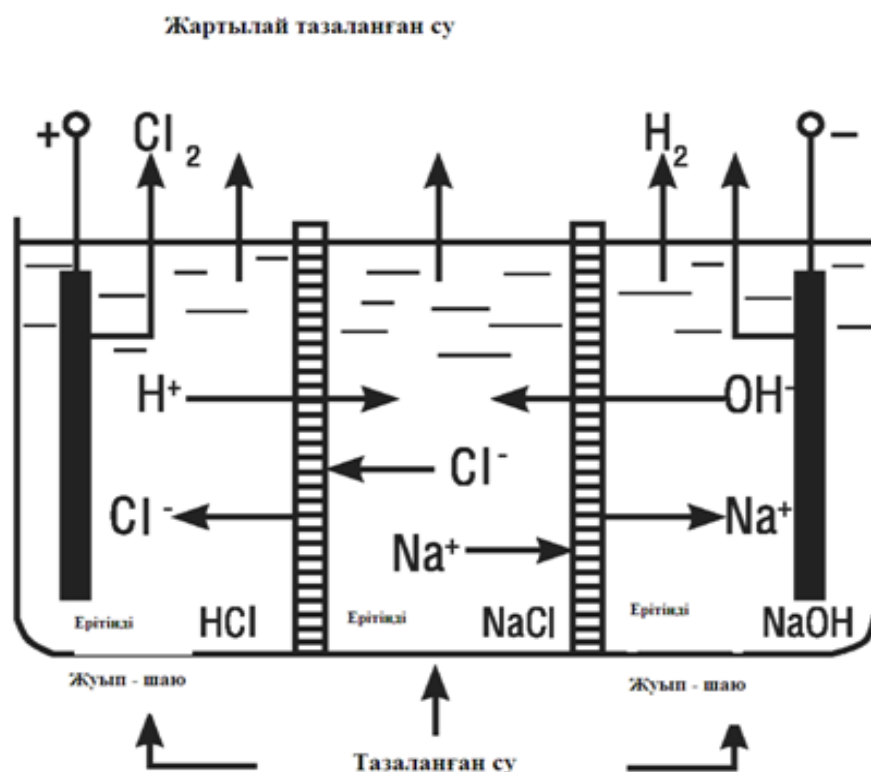
Тұнбаның түзілуін болдырмау үшін тұзсыздандырылатын ерітіндіні алдымен дисперсті бөлшектерден, макромолекулалардан, микроорганизмдерден, органикалық заттардан тазартады, яғни алдын ала тазартуды жүргізеді.

Органикалық заттары сулы ерітінділері мен коллоидты ерітінділерді радиустары  $> 15$  ангстрем кеуектері ірірек жартылай өткізгіш мембраналар арқылы сүзу *ультрасүзу* процесі деп аталады. Процесті жүргізу сұлбасы мен параметрлеріне байланысты ультрасүзу кері осмос пен сүзудің аралық түйіні болып келеді. Ультрасүзгіш мембраналары кеуектерінің мөлшері кері осмостыкінен үлкенірек, ал жай сүзгіш материалдардыкінен азырақ болады. Жай сүзудегі қысым  $\leq 0,15-0,3$  мПа, кері осмоста  $\geq 0,6$  мПа, ал ультрасүзуде қолданылатын қысым  $0,2 - 0,6$  мПа құрайды.

#### *Суды электродиализ әдісімен өңдеу*

Өңделетін суы бар ыдысқа катод пен анодты батырып, арасын катиондар және аниондар өтетіндей жарғақпен 3 бөлікке бөлсе (катодтық, жұмыстық және анодтық) және тұрақты тоқты қосса бірте-бірте суда еріген

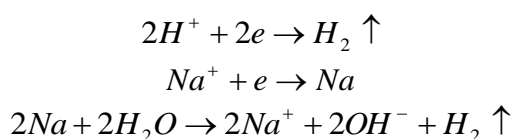
тұздар катиондарының негізгі бөлігі электр тоғымен катодтық кеністікке, ал аниондары – анодтық кеністікке тасымалданады (22 – сурет). Электрдиализатордың жұмыстық кеңістігіндегі су тұзсызданады (тұщыланады).



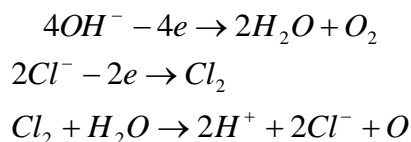
22 сурет – Суды электродиализ әдісімен өңдеу

Электродиализаторда келесі процестер өтеді:

Катодта – тотықсыздану



Анодта – тотығу



Электродиализ қондырғысының негізгі элементі – мембрана. Оның қасиеттері мен сапасы тұщыландыру процесінің эффективтілігіне әсер етеді.

Мембраналардың келесі сипаттамалары болуы керек: жоғары электр өткізгіштігі, селективтілігі (бір таңбалы ғана иондарды өткізуге қабілеттілігі), жоғары диффузиялық кедергісі, тұздар ерітінділері мен суда тұрақтылығы және жеткілікті төзімділігі. Ионитті мембраналар катионактивтіге және

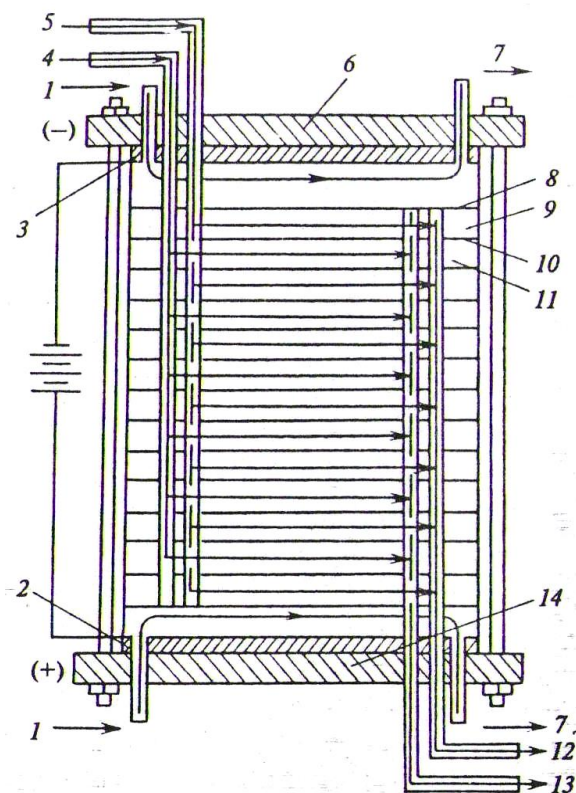
анионоактивтіге бөлінеді. Катионоактивтілер тек қана катиондарды, ал анионоактивтілер – тек аниондарды ғана өткізеді.

Ионитті мембраналар ерітінділерде ион алмасуға қабілеттілігі бар активті топтардан тұратын органикалық жоғары молекулалық қышқылдар (катиониттер) немесе негіздер (аниониттер) болып келетін ионалмастырғыш шайырлардан (иониттерден) жасалады. Мембрананың әдеттегі қалыңдығы 0,5 мм құрайды.

Суды тұщыландыру процесіне шығынданатын электр тоғының мөлшері Фарадей заңымен анықталады:

$$\theta_{теор} = 26,8 \cdot (C_{баст} - C_{сонғы}), [A/сағ]. \quad (66)$$

Іс жүзінде электролиз процесінде ұяшықтар мен электродтардағы электрлік кедергілерді төзуге кедергі шығындары пайда болады. Бұл шығындарды азайту үшін көп камералы электролизаторлар қолданылады.



- 1 – электродтық камераны жууға судың кірісі; 2 – анод; 3 – катод; 4 – тұздық камераларын жууға суды жіберу; 5 – өңделетін суды тұзсыздандыратын камераларға жіберу; 6 – жоғарғы қысқыш камерасы; 7 – электродтық камерадан ағынды шығару; 8 – катиониттік мембрана; 9 – тұзсыздандыру камерасындағы төсем; 10 – анионитті мембрана; 11 – тұздық камерасындағы төсем; 12 – өңделген суды әкету; 13 – тұздықты әкету; 14 – төменгі плита.

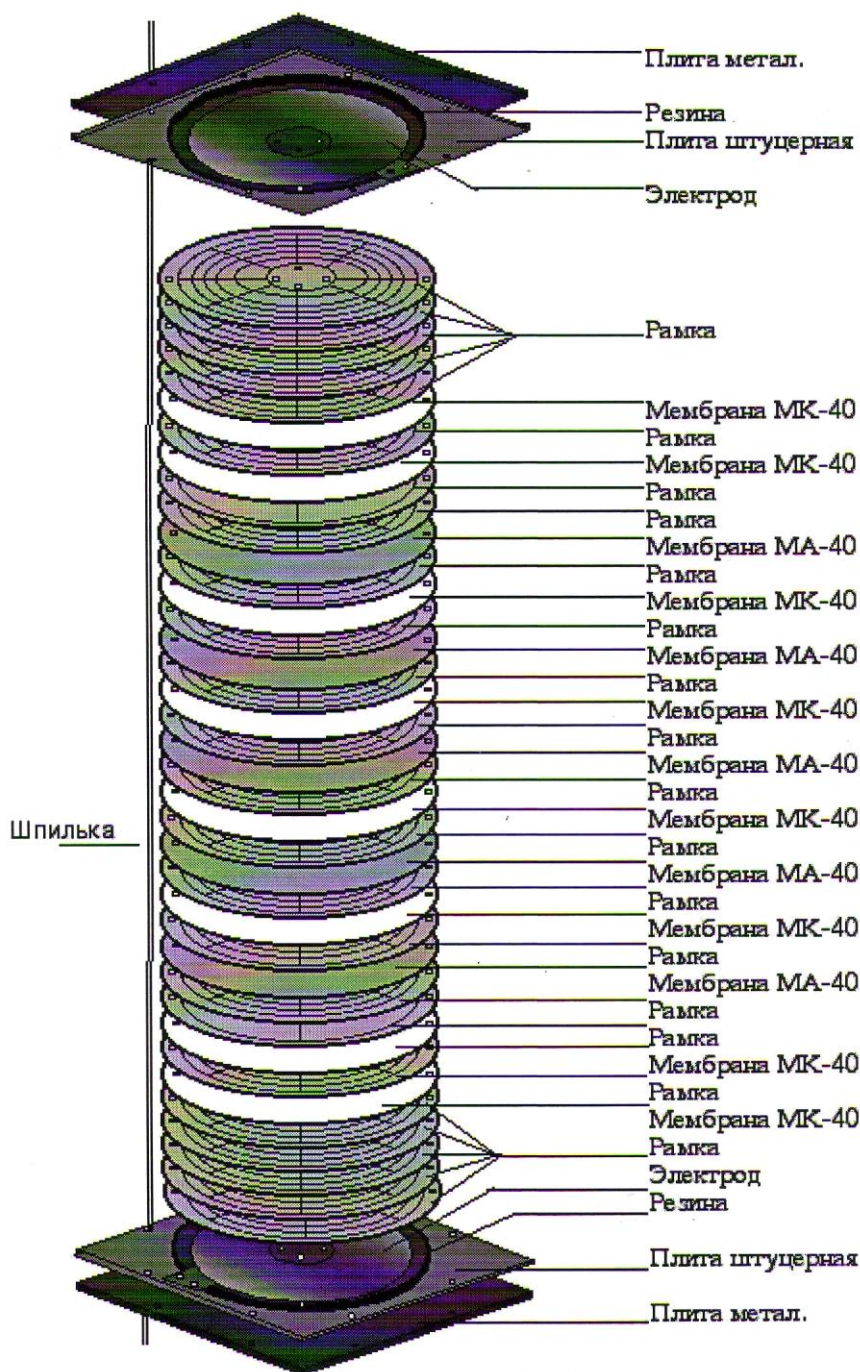
23 сурет – Көп камералы электролиз аппаратының сұлбасы

Электролиздік аппараттар сүзгі-пресс типі бойынша жиналады да қолдану шарттарына байланысты су дайындау қондырғысына тізбекті немесе



параллельді етіліп қосылады. Паронит, полиэтилен сияқты дэлектриктен жасалған қалыңдығы 0,7 – 1,0 мм болатын рамка-төсемдер тұзсыздандыратын және тұздық камераларын кезектестіреді. Бастапқы су мен тұздықты әкелу және әкету каналдары рамкалардағы тесіктер арқылы іске асады. Рамкалар мен мембраналарды қысу кесік плиталар арқылы орындалады. Камералардың ішінде мембраналарды дистанциялайтын және су ағынын айналдыратын гофрирленген тор орнатылады ( 23 – сурет).

Көп камералы электродиализ аппаратының жалпы көрінісі 24 – суретте көрсетілген.



24 сурет – Көп камералы электродиализ аппараты



Электродиализ әдісін тұздарының мөлшері 2,5 – 10,0 г/л суын тазартуда қолдану тиімді болады. Процесс нәтижесінде тұз мөлшері  $\geq 500$  мг/л су алынады. Қондырғыға жіберілетін судың сапалы көрсеткіштері келесі: қалқыған заттар мөлшері  $\leq 2$  мг/л; түстілігі  $\leq 20^\circ$ ; тотығушылығы  $\leq 5$  мгО<sub>2</sub>/л; темір мөлшері  $\leq 0,1$  мг/л.

Электродиализ процесінде судың терең тұзсыздануына кедергілер:

- 1) тұзсыздану дәрежесі өскен сайын камераларда электр кедергісінің жоғарлауы;
- 2) осмос процесінде судың мембраналар арқылы өтуі;
- 3) токтың жоғары тығыздықтарында судың ыдырауы;
- 4) концентрлеу камераларында мембраналарда тұнбалардың түзілу мүмкіндігі.

## 5 Суды еріген газдардан тазарту

ЖЭС технологиялық процестерінде қолданылатын суда әр түрлі ерітілген газдары болады. Бұл газдардың суда пайда болуының жолдары: табиғи суда қоспалар түрінде химиялық реакциялар мен сорбциялаудың нәтижесінде, тазарту кезінде, сонымен қатар шығыр шықтағыштары мен сорғыларда сорылу арқылы. Суда еріген газдарды коррозиялық-активті (СО<sub>2</sub>, О<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S ) және инерттілерге (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ) бөлуге болады. Судағы О<sub>2</sub> және СО<sub>2</sub> су дайындау қондырғыларын коррозияға ұшыратады. Мұнымен қатар О<sub>2</sub> бар су аниониттерді «тоздырады», ал құрамындағы СО<sub>2</sub> газы жоғары сілтілі аниониттердің кремний қышқылы иондары бойынша алмасу сиымдылығын төмендетеді.

Суды газдардан тазарту әдістері 2 қағидаға негізделген: 1) десорбциялау процесіне; 2) газдарды химиялық байланыстыру арқылы зиянсыз заттарға айналдыру.

*Десорбциялау (немесе деаэрациялау)* – судан газдарды бөліп алудың физикалық әдісі.

Судағы газдарды бөлу (*десорбциялау*) және газдардың суда еру процестері (*абсорбция*) сұйық-газ жүйесінің жалпы заңдарына бағынып, тепе-теңдік орнағанға дейін өтеді. Тепе-теңдік осы екі фазадағы температураға, қысымға және концентрацияға тәуелді.

Тепе-теңдік күйінде десорбциялау және абсорбциялау процестері Генри заңына (1803 ж) бағынады: сұйықтықтың берілген көлемінде белгілі  $t^0$ -да еріген газ мөлшері тепе-теңдік күйінде газдың қысымына тура пропорционалды.

$$C_{\text{газ}} = k_{\text{Г}} \cdot P_{\text{Г}}. \quad (67)$$

мұнда  $C_{\text{газ}}$  – газдың судағы концентрациясы, моль/л;

$k_{\text{Г}}$  – Генри тұрақтысы;

$P_{\text{Г}}$  – ерітінді үстіндегі газдың қысымы, МПа.

Генри тұрақтысында газ ерігіштігіне су температурасының әсері ескеріледі. Бұл мән әр түрлі газдардың сулы ерітінділері үшін өлшенген. Генри заңын газдың абсорбциялану коэффициенті арқылы да өрнектеуге болады:

$$C_2 = \frac{\alpha \cdot P_2}{22,4 \cdot \rho \cdot P_0} \quad (68)$$

Мұндағы  $\alpha = V_r / V_{cy}$  – газдың абсорбциялану коэффициенті;

$\rho$  – берілген температурада судың тығыздығы, кг/м<sup>3</sup>;

$P_0$  – 273 К-де және 0,1 МПа-да газдың қысымы;

$V_r$  – 273 К мен 0,1 МПа-да суда ерітілген газдың келтірілген көлемі, м<sup>3</sup>;

$V_{cy}$  – судың көлемі, м<sup>3</sup>.

Бұл заң бір ғана газ үшін орындалады. Іс жүзінде су бір ғана газбен емес, газдардың қоспасымен контактілейді (мысалы, ауамен).

Іс жүзінде су тек 1 ғана газбен емес, оның қоспасымен жанасады. Бұл кезде әрбір газдың судағы ерігіштігі оның қоспадағы парциалды қысымына тәуелді болады

$$C_i = P_i \quad (69)$$

Мысалы, судың үстінде су буларының H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> және CO<sub>2</sub> қоспасы болса, Дальтон заңын қолдана отырып алдыңғы теңдеуді былай жазуға болады (оттегі газы үшін):

$$C_{O_2} = k_2 \cdot P_{O_2} = k_2 \cdot (P_{\text{жалпы}} - P_{H_2O} - P_{N_2} - P_{CO_2}) \quad (70)$$

(69) және (70) теңдеулерден газдардың толық аластануы жүруі үшін ( $C_{\text{газ}} = 0$ ):

$P_r = 0$  немесе  $P_{\text{ж}} = 0$  немесе  $P_{\text{ж}} = P_{H_2O}$  болуы керек.

Бұл шарт судың бетінде вакуум болғанда, немесе аластанатын газы жоқ атмосферада орындалады (мысалы суды қайнау температурасына дейін қыздыру процесінде су буының парциалды қысымы жалпы қысымға теңескенде  $P_{H_2O} = P_{\text{ж}}$ , яғни аластанатын газдың парциалдық қысымы нөлге дейін төмендегенде).

Газдың десорбциялану жылдамдығы келесі теңдеумен есептеледі:

$$-\frac{dC_2}{d\tau} = (C_2 - C_2^{m-m}) \cdot k \cdot F \quad (71)$$

$C_2$  – уақыттың берілген кезеңіндегі судағы газдың концентрациясы;

$C_2^{m-m}$  – судағы газдың тепе-теңдік концентрациясы (судың бетіндегі газдың парциалдық қысымына тең);

$F$  – фазалардың бөлу бетінің меншікті ауданы;

$k$  – пропорционалдық коэффициент.

Бұл теңдеуде  $C_2^{m-m} = 0$  ( $P_2 = 0$ ) деп алсақ, айнымалы шамаларды бөліп, газ концентрациясы үшін  $C_2$ -дан нөлге дейін, нөлден  $T$ -ға дейін уақытта интегралдасақ, келесі теңдеулерді аламыз:

$$-\int_{C_2}^0 \frac{dC_2}{C_2} = k \cdot F \cdot \int_0^T dt$$

немесе

$$k \cdot F \cdot T = \infty. \quad (72)$$

Термиялық деаэрация процесінде газсыздандырылатын су қайнау температурасына дейін қыздырылып, судағы еріген газдары судың бетіне қарай диффузияланып, десорбцияланады. Бұл 3 процесс бір бірімен ілесіп параллельді өтеді. Су-бу бөлу бетінің ауданы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым судан еріген газдары толық бөлінеді. Судың ауданын үлкейту үшін оны шашырату немесе ұсақ тесіктер мен қалқалардан өткізу арқылы тамшыларға, ағыншалар мен қабыршақтарға бөледі. Судың бумен жанасу ауданын үлкейту судан сопло немесе басқа қондырғылардан қысыммен берілетін қыздаратын буды барботажау арқылы да жүзеге асырылады.

Десорбердегі бөлінетін газдың мөлшері мына теңдеумен анықталады:

$$V = D \cdot (C_{\text{баст}} - C_{\text{соңғы}}) = K_M \cdot \Delta P \cdot F, \text{ [г/г]}. \quad (73)$$

$K_M$  – маңыз беру коэффициенті,  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{сағ} \cdot \text{МПа}$ ;

$\Delta P$  – берілген газдың су мен бу-газ қоспасындағы парциалдық қысымдардың логарифмдік айырымы, МПа;

$F$  – фазалардың бөлу беті,  $\text{м}^2$ ;

$D$  – су шығыны,  $\text{м}^3/\text{сағ}$ ;

$C_{\text{баст}}$ ,  $C_{\text{соңғы}}$  – газдың судағы бастапқы және соңғы концентрациясы,  $\text{кг/м}^3$ .

Судан бос көмір қышқылын бөліп алу эффективтілігі оттегінікінен төмен болады, әсіресе бос көмір қышқылы қыздыратын буда болса. Термиялық деаэрация арқылы судан аммиакты бөліп алу дәрежесі 8-10 % аспайды.

### ***Газдарды деаэраторларда аластау технологиясы***

*Термиялық деаэрация* – еріген газдың сұйықтан буға өтуімен жүретін газдың десорбциялану процесі.

Мұнда су қайнау температурасына дейін қыздырылып, газдың бөлінуі диффузия нәтижесінде өтеді. Ол үшін келесі шарттар орындалуы қажет:

а) судың бумен жанасу бетінің ауданын үлкейту (су ағынын тамшыларға, қабыршақтарға, ағыншаларға бөлу, бу барботажи);

б) судың орташа температурасын жоғарлату. Бұл кезде судың тұтқырлығы төмендейді де газдардың диффузиялану жылдамдығы артады;

в) үздіксіз вентиляциялау арқылы бөлінген газдарды әкету және деаэратордан шығару. Деаэратордағы газ *выпар* деп аталатын бумен бірге шығарылады. Выпардың мөлшері газсыздандыруға үлкен әсер етеді. Жоғары қысымдағы деаэраторларда выпардың мөлшері деаэрацияланған судың 1 тоннасына 2-3 кг бу құрайды;

г) деаэраторға жіберілетін будың мөлшері деаэрацияланған судың қайнауын қамтамасыз ету қажет.

СДҚ сұлбаларында қосылатын суды дайындауда Н-катиондаудан кейін газдарды бөліп алу процессі судың өте аз қыздырылуымен жүруі қажет. Бұл жағдайда судың деаэрациялануы деаэраторлардағы қысым атмосфералықтан төмен болғанда жүргізілуі мүмкін. Жалпы қысымның төмендеуі суда еріген барлық газдардың парциалды қысымдарының төмендеуіне сәйкесінше десорбциялануына әкеледі.

Газдарды десорбциялық бөліп алу заңдылықтары вакуумдық және термиялық деаэраторлар мен декарбонизаторларды құрастырудың және пайдалану тәсілдерінің негізіне қойылған.

Вакуумдық деаэраторлар СДҚ сұлбаларында II-ші сатылы анионитті сүзгілердің алдында, сонымен қатар жылулық тораптардың қосылатын қорекі суын және төменгі қысымдағы қазандардың қорекі суын дайындауда қолданылады.

*Деаэраторлардың типтері:*

а) *Жұмыстық қысымы бойынша:*

- 1) жоғары қысымдағы (0,6-1,2 МПа);
- 2) атмосфералық (0,12 МПа);
- 3) вакуумдық (0,0075-0,05 МПа).

б) *Судың бумен контактілеу әдісі бойынша:*

- 1) қабыршақты;
- 2) ағыншақты;
- 3) тамшылы;
- 4) барботажды.

Іс жүзінде жиірек қиыстырылған деаэраторларды қолданады (мысалы, ағыншақты-барботажды).

Барботажды қондырғыларда будың сумен контакті будың жоғары қысымында судың бөлінуімен өтеді.

Деаэраторларды есептеудің мақсаты: ерітілген агрессивті газдардың тиімді аластануын қамтамасыз ететін деаэрациялау зонасының мөлшерін анықтау.

Вакуумдық деаэраторлардың *артықшылықтары* келесі:

- 1) Суды қыздыруға бу шығынының азаюы;
- 2) Процесті 313-343 К-де өткізеді.

*Кемшіліктеріне* жатады:

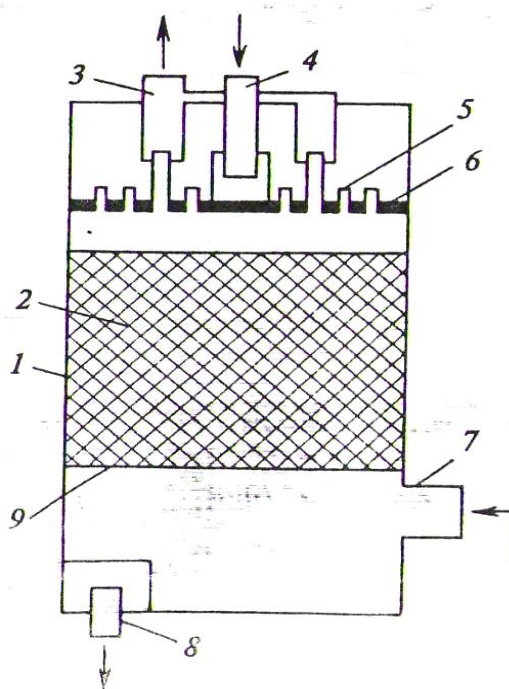
- 1) қондырғы саңылаусыз, яғни герметикалық болуы керек;
- 2) выпарды әкету және вакуумды қамтамасыз ету қажет;
- 3) басқа деаэраторлармен салыстырғанда үлкенірек габариттері;
- 4) вакуумды қамтамасыздандыруда қосымша энергия шығындары.

## Суды декарбонизациялау

$H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$  реакциясы бойынша су дайындау қондырғыларының технологиялық сұлбаларында Н-катиондау немесе қышқылдату кезінде аниондаудың алдында  $CO_2$  газын бөліп алу қажет, өйкені ол аниониттің жұмыстық сыйымдылығын азайтады. Бұл процесті декарбонизаторда суды ауамен үрлеу арқылы жүргізеді.

Декарбонизаторда газсыздандырылатын су жоғарыдан төмен жіберіледі де су ағынының ауамен контактілеу ауданын үлкейту үшін ағаш немесе керамикалық Рашиг сақиналарынан жасалған саптамадан өткізіледі. Төменнен жоғары қарай вентилятор арқылы жіберілген ауа саптамада су ағынын қарсы алып бөлінген  $CO_2$  газымен бірге жоғарғы патрубок арқылы шығарылады. Ауаның шығыны судың  $1\text{ м}^3$ -не  $20\text{ м}^3$  құрайды.

25 – суретте қабықшалы декарбонизатордың қағидалы сұлбасы келтірілген.



- 1 – цилиндр тәрізді корпус; 2 – саптама; 3 – газ қоспасын әкету;  
4 – суды әкелу; 5 – саптамаға суды әкелетін таратқыш түтікшелер;  
6 – жоғарғы щит; 7 – ауаны әкелу; 8 – газсыздандырылған суды әкету;  
9 – саптаманы ұстап тұратын төменгі щит.

25 сурет – Декарбонизатор құрылымының сұлбасы

pH мәніне байланысты, суда көмір қышқылының  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  түрлері болады. pH төмендегенде көміртегі диоксидінің концентрациясы ( $C_{CO_2}$ ) жоғарылайды да суды декарбонизациялаудың тиімділігі артады.

pH > 8,5 болғанда  $CO_2$ -газы иондық түріне ауысып, декарбонизаторда бөлінбейді.

ЖЭС-дың су дайындау сұлбаларында декарбонизаторлардың келесі түрлері пайдаланылады:

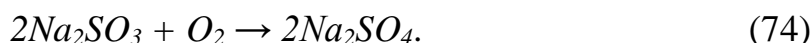
1) саптамалы; 2) вентилятормен үрленетін; 3) ағынша типті.

### ***Оттегі мен көміртегі диоксиді газдарын байланыстырудың химиялық әдістері***

Десорбциялық әдістер суды газдардан тек белгілі шектерге дейін бөліп алуға мүмкіндік береді. Кейде технологиялық сұлбаларға күрделі қондырғыларды енгізу белгілі қиындықтарды туындатады. Осы себептерден ЖЭС-дың көбісінде қоректік және қосылатын суларды дайындауда оттегі және көміртегі диоксиді газдарынан тазарту мақсатымен химиялық байланыстыру әдістері қолданылады. Мұнда химиялық реакциялардың нәтижесінде коррозиялық жағынан қауіпсіз заттар түзіледі.

Газсыздандырудың химиялық әдістері оттегі мен арнайы тотықсыздандырғыштарды қолданумен жүретін тотығу-тотықсыздану реакцияларына негізделген. Мұндай тотықсыздандырғыштарға натрий сульфиті ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) және гидразин-гидрат ( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) жатады.

Суды натрий сульфитімен өңдеу сульфиттің суда еріген оттегімен тотығу реакциясына негізделген:



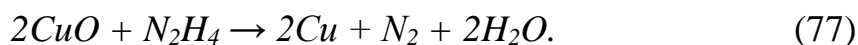
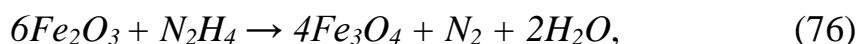
Реакция өтуінің шарттары:  $t > 80^\circ\text{C}$ , судың  $\text{pH} \leq 8$ . Бұл реагент тек орташа қысымдағы (3-6 МПа) қазандар суын, жылу торабының буландырғыштары мен қосылатын қорекі суын оттегісыздандыру үшін қолдана алады

Жоғары және аса жоғары дағыралы қазандары үшін судың оттегісіздендірілуін гидразин-гидрат түріндегі гидразинмен жүргізеді:



Реакция өтуінің шарттары:  $t > 30^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 9 - 9,5$ .

Гидразин-гидраттың артық мөлшері түтіктердегі қақ түріндегі темір мен мыстың жоғары оксидтерін тотықсыздандыруға шығынданады:



Қазан суы мен буында гидразиннің артық мөлшері аммиакты түзумен ыдырайды:



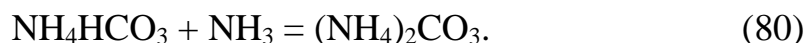
Гидразин-гидрат өте уытты зат болғандықтан оны өте мұқият пайдалану қажет.

ЖЭС-дің дағыралы қазандарының шық-қоректік тракты қондырғыларының көмір қышқылды жемірленуін болдырмау үшін қорекі суына немесе шығыр шығына сілтілік реагентті – аммиак ерітіндісін енгізу

арқылы бос көмір қышқылын байланыстырады. Мұндай өңдеудің міндеті, қондырғыларды сутектік деполяризациямен жүретін жемірленуден қорғауда су-бу трактіндегі су мен шықтың рН мәнін жоғарлату:



Артық мөлшері аммоний карбонатының түзілуіне әкеліп, рН мәнін 8,5-ке дейін жоғарлатады:



CO<sub>2</sub>-нің 1 мг/л байланыстыру үшін аммиактың 0,26 мг/л жеткілікті болады. Су немесе буда бос көмір қышқылының концентрациясы  $\geq 8$  мг/л болғанда аммиакты қолдануға болмайды, өйткені оттегінің қатысында мыс құймаларының жемірленуі мүмкін.

## **6 Салқындататын суды өңдеу**

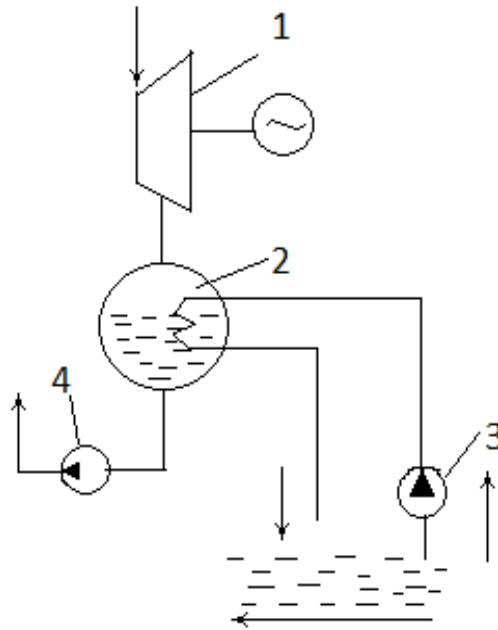
ЖЭС-де пайдаланатын судың негізгі бөлігі салқындату үшін қолданылады. Судың 85 – 95% будың шықтануына; 3 – 8% - ауа мен майды салқындатуға; 4 – 6% - айналым циклдарында шығындарды толықтыру үшін қолданылады.

Салқындататын суға келесі талаптар қойылады: шықтағыштарда нормалды вакуумды қамтамасыз ететін температурасының болуы; қызғанда минаралды және биологиялық шөгінділерді түзбеу; жабдықтар мен құбырлардың коррозиясын болдырмау.

Шықтағыштарды салқындатуға тура ағынды және айналып келулік сумен қамдау жүйелері қолданылады.

Тура ағынды жүйені қолданған кезде су шығыр шықтағышынан бір қайтара өтеді (26 – сурет). Мұнда өзеннің суын тасталатын жерінен жоғарырақ орналасқан жармадан алады. Салқындататын судың өңдеуін биологиялық шөгінділерді болдырмау әдістерімен шектейді.

Айналып келулік салқындату жүйесінде су шықтағыштан бірнеше рет өтіп, салқындатылады. Шықтағыштан шығатын қыздырылған судың салқындатылуы оның жарым – жартылай булануына байланысты. салқындайды. Салқындату үшін табиғи және жасанды суаттар, салқындатқыш тоғандар, шашыранды бассейндер мен градирнялар қолданылуы мүмкін. Табиғи суаттарды қолдану тиімдірек болғанмен көптеген жағдайларда олардың нормалық жылу режимін жасау мүмкін болмайды.



1 – шығыр (турбина); 2 – шықтағыш (конденсатор); 3 – жағалау сорғыш стансасының сорғылары; 4 – шық сорғысы.

26 сурет – Шықтағыштарды тура ағынды салқындатудың сұлбасы

Салқындатуда градирняларды (27 – сурет) қолдану ең тиімсіз болып келеді, өйткені оларда салқындату суының шықтағышқа кірердегі температурасы суаттардың айналып келулік жүйелерінікінен 1,4-1,5 есе жоғары болады. Бірақ градирняларды қолдану жылы сулардың суаттарға тасталатын мөлшерін азайтуға мүмкіндік тұғызады. Судың шектелген дебитінде бұл жүйелер ең қолайлы (70%) болып табылады.

Градирняларда айналатын судың бір бөлігі тамшылық әкетінді ( $P_{эк} = 0,05 - 3,5\%$ ) және буланумен ( $P_{бул} = 1 - 1,5\%$ ) жоғалтылады.

Су буланғанда айналым жүйесіндегі судың тұз мөлшері жоғарылайды. Оны жүйені сумен үрлеу арқылы реттейді.

Шығындардың орнын жүйеге техникалық суды қосу арқылы толтырады.

$$P_{кос} = P_{бул} + P_{эк} + P_{үрлеу}. \quad (81)$$

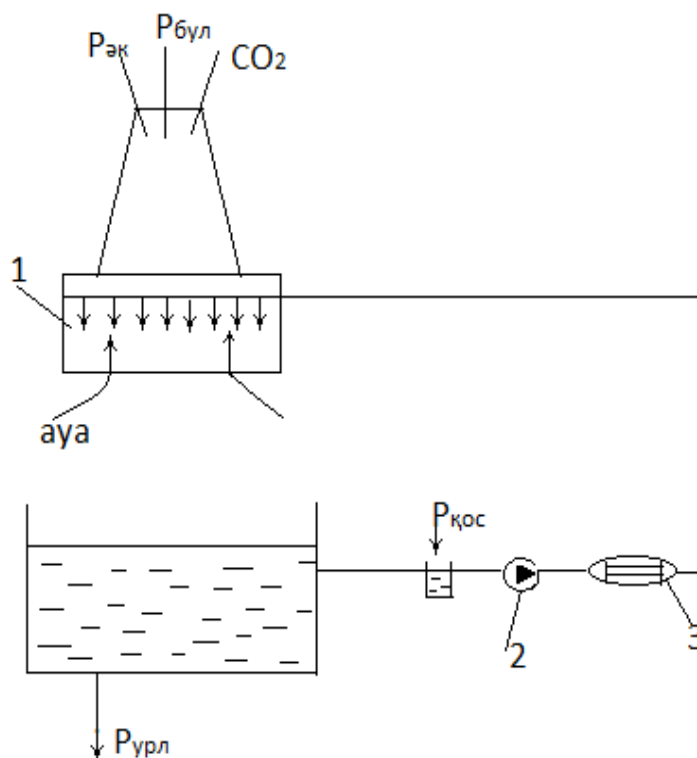
Суды қыздырғанда салқындату жүйесінде нашар еритін қосылыстарды түзбейтін тұздар үшін массалардың балансы былай өрнектеледі:

$$C_{кос} P_{кос} = C_{цирк} (P_{эк} + P_{эк} = C_{цирк} (P_{кос} - P_{бул}). \quad (82)$$

$C_{кос}$ ,  $C_{цирк}$  – қосылатын және циркуляциялаушы сулардағы тұздардың концентрациялары.

Циркуляциялаушы судағы тұздар концентрациясының қосылатын судағы тұздар концентрациясына қатынасы концентрлеу коэффициентінің шамасын береді.

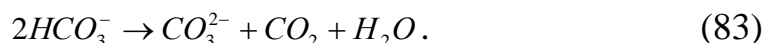




1 – градирня (салқындатқыш); 2 – циркуляциялаушы сорғы;  
 $P_{бул}$ ,  $P_{эк}$  – градирнядағы булану мен әкетілуге судың шығыны;  
 $P_{үрлеу}$  – айналымдағы суды үрлеу;  $P_{қос}$  – жүйеге жаңа су қосу.

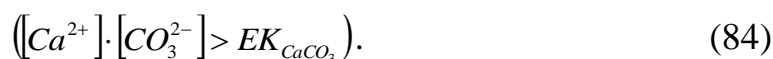
27 сурет – Шықтағышты градирня арқылы айналым салқындатудың сұлбасы

Айналым салқындату жүйесінде оңай еритін тұздардың концентрленуімен бірге гидрокорбанаттар мен кермектілік тұздарының концентрациялары артады. Судың температурасы жоғарлап,  $HCO_3^-$  - ионының гидролизі күшейеді:



$CO_2$  газын жойғанда жүйеде  $CO_3^{2-}$  – иондары қалады.

$CO_3^{2-}$  – иондар жылу алмасу бетінде  $CaCO_3$  шөгінділерінің бөлінуіне әкеледі, яғни салқындаттын су өзінің тұрақтылығын жоғалтады



$CaCO_3$  тұзымен салыстырғанда  $CaSO_4$  20-40°C-да жақсы ериді, сондықтан шөгінділердің құрамында аз кездеседі.

Шықтағыш түтіктерінің металында қақтың қалыңдығы өскен сайын будың шықтану температурасы жоғарлап, шықтағыштағы вакуум азаяды. Энергоқондырғысының номиналды қуатын ұстау үшін вакуумның 1% - ға азаюы бу шығынын 14 % -ға жоғарлатуды талап етеді.

Электр энергиясын өндіруде айналым салқындату жүйелеріндегі

шөгінділер отынның артық мөлшерінің шығындалуына әкеледі.

Айналым жүйелерінің шықтағыштарында минералды тұздардың түзілуін болдырмау үшін жүйені үрлейді; циркуляциялаушы судың әртүрлі реагенттермен тұрақтандырғыш өңдеуін жүргізеді; магнитті немесе акустикалық өрісте судың физикалық өңдеуін жүргізеді.

Биологиялық өсінділерді болдырмау үшін суды хлор сияқты күшті тотықтырғышпен, мыс тұздарымен өңдейді. Молекулалы  $Cl_2$  бактерицидті әсер етуінің механизмі: жасуша ферменттері тотығып, микроорганизмдері өліп қалады. Хлорлау процесін  $pH < 7$  мәнінде өткізеді.

Суды бактерицидті өңдеу үшін хлордың қажетті мөлшерін эксперименталды жолмен анықтайды, хлордың қалдық концентрациясы  $C = 0,1 - 0,2$  мг/дм<sup>3</sup> аралығында болуы керек. Суға хлорды хлорлы су түрінде эжектордың көмегімен енгізеді. Дозалауды тәулігіне 40-60 мин ұзақтылығымен 1 – 3 рет жүргізеді.

Ұлутасты шөгінділермен күресуде  $CuSO_4$  мыс купоросы қолданылады, концентрациясы 1-2 мг/дм<sup>3</sup> құрайды. Бұл әдіс тек айналым жүйелерінде қолданылады. САНПИН ережелеріне сәйкес суаттарға тасталатын суда бос хлор болмау керек, ал  $C_{Cu^{2+}} \leq 0,01$  мг/кг болуы керек. Шықтағыш түтікшелерін жұмсақ биологиялық шөгінділерден тазалауда монолитті резеңке шарларды қолданады.

## 6.1 Минералды шөгінділердің түзілуін болдырмау

Мұнда ең жиі қолданылатын әдіс - су салқындату жүйелерін үрлеу.

Үрлеу деп циркуляциялаушы судың бөлігін жаңа суға ауыстырып әкетуді айтады. Үрлеу кезінде барлық қоспалардың концентрацияларының жалпы төмендеуі ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  және т.б.) коррозиялану процесін баяулатады.

Үрлеудің негізгі қызметі – айналым суының карбонатты кермектілігін шекті мүмкін ( $K_{к.ш.}$ ) мәнінен төмен мәнде ұстау.

$$K_{к.ш.} (P_{эк} + P_{үрлеу}) = K_{карб. қос} (P_{қос} + P_{эк} + P_{үрлеу}), \quad (85)$$

$$P_{үрлеу} = \frac{P_{бул} K_{карб. қос}}{K_{к.үрл} - K_{к.қос}}. \quad (86)$$

$K_{к.қос}$  – суды салқындату жүйесіндегі қосылатын судың карбонатты кермектілігі, мг-экв/дм<sup>3</sup>.

$K_{к.ш.}$  – мәні айналым салқындату жүйелері үшін тәжірибелік жолмен анықталады.

Градирнялардағы булануға кететін судың шығындары:

$$P_{бул} = 0,16 \cdot x \cdot \Delta t \quad (87)$$

$x$  – градирнядағы салқындататын судың булануға беретін жылудың бөлігі (жазда – 1,0; көктемде және күзде – 0,5);

$\Delta t$  – градирнядағы температураның төмендеуі.

Судың магниттік өңделуінде салқындататын судың ағыны кернеуі  $10^5$  А/м магнит өрісінің күш сызықтарын 1,15-1,3 м/сек жылдамдығымен кесіп өтеді. Суды магнит өрісінен өткізгенде жылу өткізу беттерінде шөгінділердің түзілу интенсивтілігі азаяды. Бұл әдістің теориялық негіздері әлі толық қарастырылмаған.

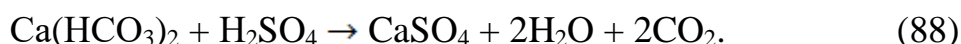
Салқындататын суды акустикалық өрісте де өңдейді. Мұнда жиілігі 10-20кГц құрайтын ультрадыбыс тербелісті аппараттар қолданылады. Акустикалық өрістің әсер ету механизмі – кристалдану процесін бұзу.

## 6.2 Суды әртүрлі реагенттермен өңдеу

Салқындататын суды өңдеудің химиялық әдістеріне қышқылдату, рекарбонизациялау және фосфаттау әдістері жатады.

### *Суды қышқылдату*

Қышқылдатуды судың карбонатты кермектілігін  $\leq K_{к.ш}$  мәніне дейін жарым-жартылай төмендету үшін жүргізеді. Бұл процесте бағасы арзан күкірт қышқылы қолданылады. Күкірт қышқылын дозалау кальций бикарбонатын кальций сульфатына айналдырады:



Қышқылдатуда айналып келулік судың карбонатты кермектілігінің қалдық мәні жүйені артық қышқылдатудан және коррозиялану процесінің күшеймеуін қамтамасыз етеді. Оның мәнін келесі қатынастан анықтайды:

$$K_{к.қалдық} = \frac{K_{к.үрлеу} (P_{эк} + P_{үрл})}{(P_{бул} + P_{эк} + P_{үрлеу})}. \quad (89)$$

Салқындататын судың өңдеуіне шығындалатын техникалық  $\text{H}_2\text{SO}_4$  шығыны ( $G_k$ , г/сағ) қалдық карбонатты кермектіліктің мәні бойынша есептеледі:

$$G_k = \frac{(49 Q_{цирк} P_{қос}) * (K_{к.қос} - K_{к.қалд})}{100 * K} \quad (90)$$

$Q_{цирк}$  - жүйедегі салқындататын судың шығыны, м<sup>3</sup>/сағ;

$P_{қос}$  - жүйеге салқындататын суды қосу, %;

$K$  – техникалық өнімде  $\text{H}_2\text{SO}_4$ - тің мөлшері, бірлік үлесінде.

Қышқылдату режимінде  $K_{к.қалд} \geq 0,5-1,0$  мг-экв/дм<sup>3</sup> болуы қажет.

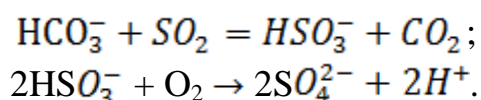
Бастапқы судың жоғары сілтілігінде жүргізуге болмайды, өйткені өңделген суда сульфат-иондар концентрациясы жоғарылап шықтағыш түтікшелерінде  $\text{CaSO}_4$  шөгінділерінің түзілуі мүмкін. Мұнымен қатар қазіргі

градирнялардың негізгі материалы болатын бетонның сульфаттық жемірленуі күшеюі мүмкін.

### *Суды рекарбонизациялау*

$CO_3^{2-}$ -иондарының түзілуімен жүретін бикарбонат-иондарының гидролизденуін болдырмау үшін градирняда десорбцияланған  $CO_2$  газының мөлшерін салқындататын судағы тепе-теңдік концентрациясына дейін толықтырады. Судың тұрақтануы оның көміртегі газымен қанықтыру арқылы жүргендіктен бұл процесті *суды рекарбонизациялау* деп атайды. Суды газбен қанықтырудың ең тиімді әдісі - түтін газдарының өңделетін сумен жақсы араласуын қамтамасыз ететін эжекторды қолдану.

ЖЭС-да  $CO_2$  газының көзі - отынның жану өнімдері. Салқындататын суда бос көмір қышқылының концентрациясын арттыру бикарбонаттардың ыдырауын болдырмау үшін қажетті болғандықтан рекарбонизациялауда судың тұз мөлшері қатты өзгермейді. Бұл жағдай табиғи суаттарға тастағанда суды қоспалармен ластамау шарттарын жақсартады. Жану өнімдерінде  $CO_2, SO_2, N_2, O_2$  газдары болады. Күкірт диоксиді суда жақсы еріп, бикарбонаттармен әрекеттесіп көмір қышқылын түзеді:



Реакция теңдеулері бойынша суда сульфаттардың мөлшері жоғарлайды. Мұнымен қатар карбонатты кермектілік жарым-жартылай карбонатсызға ауысады (қышқылдату процесі сияқты).

### *Суды фосфаттау*

Салқындататын суды фосфаттау аса қаныққан ерітінділерден  $CaCO_3$  қатты фазасының түзілу процесін тежелу мақсатымен жүргізіледі. Ұрықты кристалдардың бетінде  $CaCO_3$  адсорбцияланғанда, фосфаттарды қосу осы кристалдардың өсуін баяулатып, ерітіндінің аса қанығу дәрежесін жоғарылату нәтижесінде суды тұрақтандырады. Реагенттер ретінде натрийдің гексаметафосфаты  $(NaPO_3)_6$ , натрийдің үшполифосфаты  $(Na_3PO_3)_{10}$ , натрийдің тетраполифосфаты  $(Na_4P_4O_{13})$ , ОЭДФҚ (оксиэтилендифосфон қышқылы  $C_2H_8O_7P_2$ ), ИОМС, ПАФ-13 А және т.б. қолданылады.

## **7 Суды термиялық әдіспен тұзсыздандыру**

Буландырғыш қондырғылары арқылы жүзеге асатын табиғи суларының термиялық тұзсыздандырылуы (немесе дистилляциялау) қорекі суын қосу  $\leq 3\%$  құрағанда дағыралы немесе тура ағынды бу өндіргіштері бар ЖЭС-да қолданылады. Бастапқы суда тұз мөлшері көтеріңкі болса

( $C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-} = 7-12 \text{ мг} - \text{экв} / \text{кг}$ ) техника экономикалық көрсеткіштері бойынша буландырғыш қондырғылары химиялық тұзсыздандыру қондырғыларына қарағанда тиімдірек болып келеді.

Судың термиялық тұзсыздандыру процесінің механизмі келесі: қыздырғыш жүйесіне әкелінетін қыздыратын бу жылуын бергенде буландырғыш қондырғыларына келетін су буға айналады да шықтанады. Бу түзілу кезінде суды ластайтын заттар – қоспалар буландырғышта қалып одан үзілмейтін үрлеу арқылы шығарылады. Будың шықтануы нәтижесінде түзілетін дистиллятта буландырғыш концентратының тамшылы әкетілуімен келіп түсетін ұшпайтын қоспалардың тек аз ғана мөлшері қалады. Буландырғыштың жылытатын жүйесіне әкелінетін қыздырушы бу *біріншілік бу*, ал буландырғыштың суынан түзілетін бу – *екіншілік бу* деп аталады. Буландырғыштағы судың булануына өзінің жылуын беріп біріншілік бушықтанады. Түзілген шық шықты әкету арқылы дистилляттың жинағышына келіп түседі. Екіншілік бу буландырғыштан беттік салқындатқышқа келеді де ары қарай шықтанудан кейін дистилляттың жинағына жіберіледі.

Егер будың түзілуі жылыту секциясында (түтік жүйесінде) жүрсе, онда *буландырғыш беттік типтіге* жатады, ал будың түзілуі су қайнау кезінде қысымы лездік төмендегенде көлемде жүрсе мұндай буландырғыш *лездік қайнайтын буландырғыш* деп аталады.

Дағыралы және тура ағынды бу өндіргіштері бар ЖЭС-да бу мен шықтың шығындарын толықтыру буландырғыш қондырғыларында алынатын дистиллятпен жүргізіледі. Бу шығырлары қондырғыларының қосылатын суын дайындаудың мұндай әдісі судың *термиялық тұзсыздандырылуы* деп аталады.

Соңғы жылдары дистиллятты көбінесе ионитті сүзгілерде алдын-ала жұмсартылған судан алады. Кейбір буландырғыштарда шикі су немесе жеңілдетілген өңдеуден өткен су қолданылады.

Жылуды пайдалану сипаттамасы бойынша дистилляциялық қондырғылар былай жіктеледі: 1) 1 сатылы; 2) көп сатылы; 3) термокомпрессорлық.

Қазандардың қорекі суы сапасына қойылатын талаптар қазандардың типі мен қысымына байланысты. Дағыралы қазандар үшін тұздарының мөлшері  $\leq 100$  мкг/кг дистиллятты қосымша ретінде бу-шығыр қондырғысының қорекі суының регенеративті қыздыру жүйесіне жіберуге болады. Тура ағынды қазандардың қорекі суында натрий қосылыстарының концентрациясы  $\leq 5$  мкг/кг. Осы себептен мұндай қазандар үшін дистиллятты шығыр шығын тұзсыздандыру қондырғысында қосымша тазалауын жүргізу қажет.

ШЭС-да қосылатын суды термиялық әдіспен өңдегенде жиірек бір сатылы буландырғыш қондырғыларын қолданады. Бұл қондырғылар әрқашан қазандардың қорекі суын регенеративті қыздыру жүйесіне қосылады. ЖЭО-

да бұл сұлбамен қатар буландырғыш қондырғысын желілік суын қыздыру жүйесіне қосатын сұлбаны да қолданады. Бірінші сұлба бойынша істейтін буландырғыш қондырғысына қыздыратын бу шығырдың регенеративті немесе реттеуші іріктеулерден әкелінеді; екінші сұлбада бу қондырғыға жылумен қамтаасыз ету іріктеулерден әкелінеді.

Сұлбалардың екеуінде де қайнайтын типті буландырғыштар немесе лездік қайнайтын буландырғыштарды пайдалануға болады. Қазіргі кезде көбінесе будың түзілуі қыздыратын секциясында жүретін жұмсартылған суда істейтін буландырғыштар пайдаланылады. Мұндай типті буландырғыштарда екіншілік будың шықтануы бөлек шықтағышта немесе деаэраторға жіберілетін шықтың негізгі бөлігі қыздырылатын регенеративті қыздырғыштарында жүргізіледі.

Біріншілік және екіншілік бу құбырлары параллельді қосылған бірнеше корпусан тұратын буландырғыш қондырғысы бір сатылы көпкорпусты деп аталады. Бір сатылы буландырғыштарда дистилляттың қажетті мөлшерін дайындау жылудың көп мөлшерін талап ететіндіктен (1 тонна дистиллятқа 1,1 тонна қыздыратын бу қажет), бір сатылы буландырғыштарды қолдану тиімсіз болады.

Көп сатылы буландырғыштарда әрбір сатының екіншілік буы (соңғысынан басқалары) келесі сатының қыздыратын буы ретінде қолданылады. Соңғы сатының екіншілік буы стансаның регенеративті қыздырғышында немесе басқа жылуалмастырғыштарында шықтанады. Буландырғыш қондырғысының сатылар саны артқан сайын шығырлардан алынған 1 тонна біріншілік будан түзілетін пайдалы дистилляттың мөлшері жоғарылайды (кесте 2)

Кесте 2 – Дистиллят мөлшеріне буландырғыш сатылар санының әсері

Сатылар саны	1	2	3	4	5
Дистиллят мөлшері, т/т	0,9	1,7	2,4	3,1	3,6

Осы себептен көп сатылы қондырғының бір сатылыға қарағанда бірдей сомарлы температуралық құламасы мен қыздыратын будың бірдей шығынында өндірулігі жоғарырақ болады. Бірақ көп сатылы қондырғының әрбір сатысындағы қыздыратын және екіншілік будың арасындағы температуралық құламасы азырақ болуы қондырғының бағасы мен габриттерінің өсуіне әкеледі.

Қыздыру беттерінде қақтың түзілуін болдырмау үшін және буландырғыштардың өндірулігін төмендету үшін буландырғыштарды кермектілігі  $\leq 30$ мкг-экв/кг сумен қоректендіру қажет, ал бастапқы сулардың тұз мөлшері  $> 2000$  мг/кг құрағанда - кермектілігі  $\leq 75$  мкг-экв/кг суды қолданады. Буландырғыштардың қорекі суы осы нормаларға сәйкес келуі

үшін бастапқы суды мөлдірлету, жұмсарту және термиялық деаэрация әдістерімен өңдеу қажет. Қорекі суының сапасы буландырғыштардың кезекті тазартулар арасындағы жұмыстық циклының ұзақтығына әсер етеді. Буландырғыштарды тұндыру әдістерімен жұмсартылған сумен қоректендіргенде буландырғыштың жұмыстық циклы 2000–2500 сағат құраса, катионалған сумен қоректендіргенде – 10 000 сағ құрайды.

Na-катиондалған сумен қоректенетін буландырғыштарда натрий бикарбонаты ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) термиялық ыдырауы нәтижесінде коррозиялық белсенді көмір қышқылы түзілуімен жүреді. Қорекі суының трактін көмір қышқылды жемірленуден қорғау үшін және буландырғыш дистиллятында темір оксидтері мөлшерін азайту үшін конденсацияланбайтын газдарды үздіксіз әкетуімен бірге дистиллятты бумен барботажды үрлеу қажет. Мұндай өңдеудің нәтижесінде көмір қышқылының қалдық мөлшері 1-2 мг/кг дистиллятты алуға болады. Көмір қышқылды коррозияны болдырмаудың тағы бір әдісі – буландырғыштардың қорекі суын H-Na-катиондаумен бірге декарбонизациялауды жүргізу.

Екіншілік будың қажетті тазалығын, сәйкесінше дайындалатын дистилляттың жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін бу кеңістігінің қажетті биіктігін, сонымен қатар үздіксіз үрлеу арқылы концентраттың сілтілігі мен тұз мөлшерінің пайдалану нормаларын қамтамасыздандыру қажет. Екіншілік будың қысымы  $7 \text{ кгс/см}^2$  және тұз мөлшері  $> 50 \text{ г/кг}$  болғанда фосфаттың артық мөлшерін 5-7 мг/кг аймағында шектеп концентратты фосфаттау қажет.

Буландырғыштардың қорекі суын дайындауды келесі сұлбалар бойынша жүргізуге болады:

1) Алдын ала ізбестеу мен коагуляциясы бар (магнезиалды кремнийсыздандырусыз) екі сатылы Na-катиондау сұлбасы бойынша қалдық кермектілігі 5 мкг-экв/кг және сілтілігі  $\approx 0,8 \text{ мг-экв/кг}$  суды алуға болады;

2) H-катионитінің аштық регенерациялауымен жүретін ізді H-Na-катиондау сұлбасында алдыңғы сұлбадағыдай жұмсартылған суды алуға мүмкіндік береді;

3) Cl-Na-иондау сұлбасы бойынша суды өңдеу бастапқы суды алмасатын хлорид-ионы бар аниониттен өткізіп, одан кейін Na-катиониті бар сүзгіден өткізеді. Иондаудың нәтижесінде бастапқы судағы тұздардың барлығы натрий хлоридіне айналып бұл суды буландырғышты қоректендіруге жарамды етеді. Осы сұлба бойынша суды өңдеу қалдық кермектілігі  $\leq 15 \text{ мкг-экв/кг}$  және сілтілігі  $< 0,5 \text{ мг-экв/кг}$  фильтратты алуға мүмкіндік береді.

Келтірілген сұлбалардың ішінде біріншісі ең оңайы және тиімдісі болып келеді. Буландырғыштың жемірленуін болдырмау үшін қорекі суын оттегінің мөлшері  $\leq 30 \text{ мкг/кг}$  болатындай етіп алдын ала деаэрациялау қажет.

Минералданған су булану үшін қыздыратын элементке жылу (көбінесе бу) сыртқы көзден не тұздалған сумен салқындатылатын шықтағыштан әкелінеді.

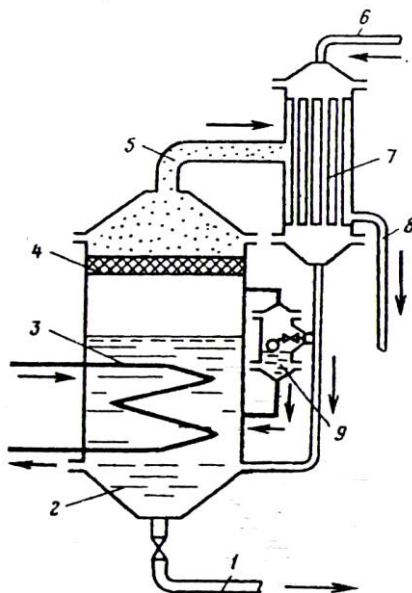
Тұздалған су, фазалық ауысудың жылуын алып, қыздырылады. Оның бір бөлігі буландырғышты қоректендіруге жіберіледі, қалған мөлшері

шығарылады. Тұздық қайнағанда буландырғышта түзілетін бу сепарацияланып немесе тамшылы әкетумен жуылып, тазарады.

1-сатылы буландырғышта қыздыратын будың 1 тоннасынан 0,9 тонна дистиллятты алуға болады.

Бір сатылы дистилляциялық тұзсыздандырғыш қондырғының жұмыс істеу қағидасы келесі: бастапқы тұзды су шықтағыш-қыздырғыш арқылы буландырғышқа жіберіледі (28 – сурет). Мұнда ол су қабатында орналасқан ирек түтіктерінде айналып жүретін ыстық су немесе қыздыратын бу жылуымен қыздырылып буланады. *Екіншілік бу* деп аталатын түзілген бу шықтағышқа келіп, бастапқы тұзды сумен салқындатылып дистиллятқа айналады. Бұл дистиллят тұтынушыларға тұщыландырылған су түрінде жіберіледі. Шықтану жылуы (539,55 ккал/кг) буландырғыштың қосылатын қорекі тұздалған суын алдын ала қыздыруына пайдаланылады. Қайнап жатқан тұзды су тамшыларының бумен бірге буландырғыштан шығуын болдырмау үшін арнайы ажыратқыш құрылғы ескерілген. Буландырғыштағы су деңгейі деңгей реттеуіш арқылы ұсталып тұрады. Әдетте буландырғыштатұзды судың 20-50% буланып кетеді. Қалған тұздық буландырғыштан мезгіл-мезгілімен шығарылып тұрады.

Буландырғыш көлемін сулға және булыға бөледі, олардың арасындағы шекара *булану айнасы* деп аталады. Қазіргі кезде қолданылатын буландырғыштар буланатын судың табиғи және жасанды циркуляциясымен, горизонталды және тік (вертикалды), сонымен қатар вакуумдық және атмосфералыққа бөлінеді.



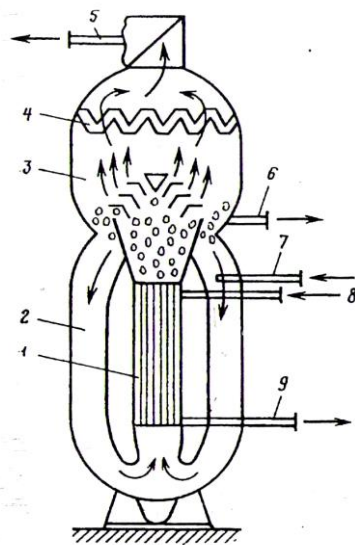
- 1 – тұздықты әкету; 2 – буландырғыш; 3 – жылу тасымалдағышты әкелу;  
4 – ажыратқыш; 5 – буды әкету; 6 – бастапқы суды әкелу; 7 – шықтағыш;  
8 – дистильденген суды әкету; 9 – деңгей реттеуіші.

28 сурет – Бір сатылы дистилляциялық тұзсыздандырғыш қондырғысының сұлбасы



Тұзсыздандырғыш қондырғыларын құрастыруда қыздыру беті 120 – 965 м<sup>2</sup> құрайтын сериялық шығарылатын буландырғыштарды қолдануға болады (29 – сурет).

Көп сатылы буландырғыштар қатар істейтін буландырғыштардан тұрады. Екіншісінен бастап қыздыратын бу рөлін алдыңғы сатыда алынған бу орындайды. Буландырғыштың екіншілік буы жылуалмастырғышта (буландырғыш шықтағышында) шықтанса мұндай қондырғы *бір сатылы* деп аталады. Сатылар санын көбейту өнделген дистилляттың мөлшерінің өсуін қамтамасыз етеді. Мұнда қыздыратын будың 1тоннасына 1,5-4,2 т. дистиллят келеді. Сатылардың саны біріншілік және екіншілік будың арасындағы мүмкін температуралық (5-10°С) құламасымен шектеледі.



- 1 – жылуалмастырғыш камерасы; 2 – су қыздырушы құбырлар;  
3 – ажыратқыш қондырғысы; 4, 5 – екіншілік бу; 6 – үрлеу; 7 – қорекі суы;  
8 – қыздырушы бу; 9 – шықты әкету.

29 сурет – Қайнау зонасы шығарылған тік сукұбырлы буландырғыш

Термокомпрессорлық қондырғыларда түзілетін екіншілік бу компрессорда немесе булы эжекторда қысылады, онда буландырғыштағы қысым төмендеп, бу буландырғыштағы судың температурасынан жоғарырақ температураға дейін қызады. Қызған бу буландырғышқа қайтып келіп, құбырлы жылуалмастырғыш шықтағышқа жіберіледі. Бұл шықтағыштың жылуы судың жаңа партиясын буландыруда қолданылады. Яғни, мұнда сырттан жылуды әкелу қажет болмайды.

Су буланғанда нашар еритін заттардың ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ) концентрациясы ерігіштік көбейтіндісі мәнінен ( $a_{\text{kt}} \cdot a_{\text{An}} > \text{IP}_{\text{ktAn}}$ ) артады да қақтың түзілуіне әкеледі. Негізгі қақ түзушілер:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ .

Аса қаныққан ерітіндіден түзілген кристалдық шөгінділердің тығыз қабатының өсуі келесі факторлардың нәтижесінде жүреді:

1) бетінде кристалдар болғандықтан (біріншілік тат түзілу);

2) буланатын судың көлемінде түзілген жұқа дисперсті бөлшектердің адгезиясы мен адсорбциясының нәтижесінде.

Осы екі фактор бойынша таттың түзілуі бірге бір кезде жүреді, бірақ біріншінің мүмкіндігі жоғарырақ болады. Теңіз суы бар буландырғыштарда 80-85°C-де  $\text{CaCO}_3$  таты, 85-105°C-де -  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , >105°C-де  $\text{CaSO}_4$  түзіледі.

Буландырғыштарда таттың түзілуімен күресу әдістері *физикалық (реагентсіз) және химиялыққа* бөлінеді.

**Физикалық (реагентсіз) әдістерге жатады:**

а) Контактті тұрақтандыру әдісі.

Мұнда кристаллизация тұрақтандырғыш затында (ізбес тасы, мрамор, құм) ерітіндінің азырақ қанығуында өтеді, көптеген кристаллизациялық орталықтардың арасында қақ түзушілердің ерігіштігінен артық мөлшерде тұну процесі жүреді.

б) Кристаллизациялық затравканы қолдану.

Суға концентрациясы 8-10 г/кг жұқа дисперсті ұнтақтарды (бор, ұнтақталған ізбес, магнезия) қосады. Кемшілігі: затравка мен қақ жылуөткізуші беттерге жабысады.

в) суды магниттік өндеу – ерітіндінің аса қанығуына әкелетін магниттік өрісі түзілетін аппарат арқылы суды тазарту.

Буланатын суды ультрадыбыспен өндеу құрылымдық түзілулердің артуының нәтижесінде кристалданудың жаңа орталықтарының түзілуіне әкеледі.

*Химиялық әдістерде* тұрақтандыру процесін қышқылды қолданумен жүргізеді:



$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  қоспалары бар табиғи су көмір қышқыл тепе-теңдігінің күйіне байланысты *агрессивті, тұрақты және тұрақсыз* болады.

Жүйенің тұрақтылығының негізгі критеріі болып тұрақтылық индексі саналады:

$$J = \text{pH}^{\text{факт}} - \text{pH}^{\text{м-м}}, \quad (92)$$

$J = 0$  – су тұрақты болады;

$J < 0$  – су агрессивті болады;

$J > 0$  – су тұрақты емес және қақты түзуге қабілеттілігі бар болады.

$$\text{pH}^{\text{м-м}} = \lg EK_{\text{CaCO}_3} - \lg K_{\text{H}_2\text{CO}_3}^{\text{II}} - (\lg C_{\text{Ca}^{2+}} + \lg C_{\text{HCO}_3^-}) - \lg(f_{\text{II}} + \lg f_{\text{I}}). \quad (93)$$

$K^{\text{II}}$  – II сатыдағы  $\text{H}_2\text{CO}_3$ -тің диссоциациялану тұрақтысы;

$f_{\text{I}}$ ,  $f_{\text{II}}$  – 1 және 2 валентті иондардың активтілік коэффициенттері.

Суды қышқылдатумен тұрақтандыратын өндеуде  $J \approx 0$  болу керек.

Қышқылдың дозасы судың сілтілігіне, дистилляциялану процесінің температурасы мен булану дәрежесіне байланысты және әдетте бастапқы судың сілтілігінің 70 – 90% құрайды.

Қышқылдың дозасын арттыру конструкциялық материалдарды сутекті деполаризациямен жүретін жемірленуге әкеледі.

## **8 Суды жұмсартудың аз ағынды және ағынсыз технологиялары**

ЖЭС да суды шығыр шықтағыштарын салқындату үшін; буөндіргіштерінде; қатты отындардың қождарын гидравликалық әдіспен алып кетуде; жылулық жүйелерде; ғимараттарды гидротазалауда қолданады. Бұл технологиялық процестердің нәтижесінде құрамы бойынша әртүрлі ағын сулары пайда болады.

Ағындар мөлшері ЖЭС өндірулігіне, оның тағайындалуына (тек электр энергиясын шығаратын, электр және жылу энергиясын немесе буды өндіріске беретін ғана), отынның түрі мен табиғи судың бастапқы құрамына және т.б.

Суды химиялық өңдеу кезінде ионитті сүзгілерді регенерациялау қажет, ал регенерациядан шыққан суларды бейтараптау қажет. Нәтижесінде мұндай суларда тұздардың концентрациясы бастапқы сумен салыстырғанда әлдеқашан жоғары болады.

Су бассейндерін СДҚ қондырғыларының ағын суларымен ластануынан қорғау үшін технологиялық сұлбаға тазарту қондырғыларын орнату қажет немесе су сапасын санитарлы нормаларға сәйкес ету қажет. СДҚ сұлбасын таңдауда және технологиясын өңдеуде жетілген қондырғылар мен рационалды сұлбалық шешімдерді пайдалану арқылы ағын суларының түзілуін болдырмайтын немесе мөлшерін азайтатын мүмкіндіктерді ескеру қажет. Санитарлы нормаларды сақтау критеріі болып суатқа тасталатын судың тұз мөлшері суаттан алынатын судың тұз мөлшерінен аспау шарты болып келеді. Ең тиімді болып тұздалған ағын суларының түзілмеуімен сипатталатын және бастапқы сумен салыстырғанда өңделген судың тұз мөлшерінің жоғарлауын болдырмайтын технологиялар келеді. Мұндай технологиялар *ағынсыз* деп аталады.

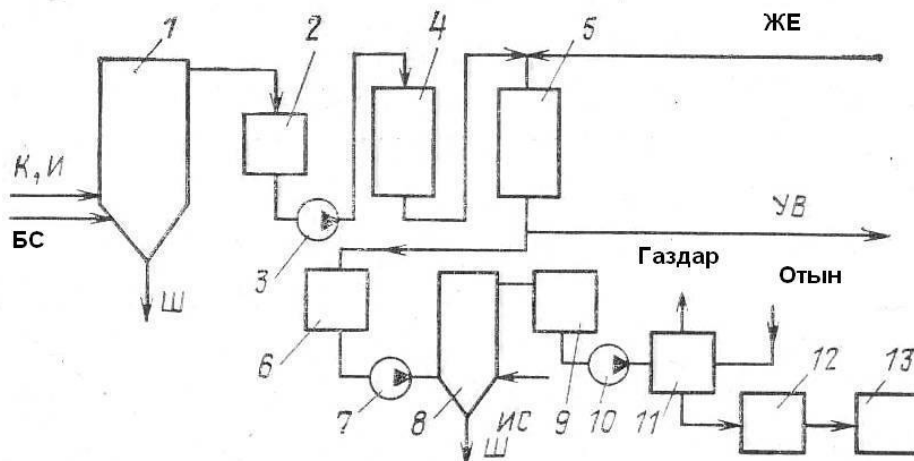
### ***Аз ағынды технологиялар***

Ионитті сүзгілердің тұзды ағындарды утильдеу әдістердің біріне буландыру жатады. Нәтижесінде утильдеуді қарапайым ететін құрғақ тұз немесе өте концентрленген ерітінділер түрінде тұз қалдықтары түзіледі.

30 – суретте суды аз ағынды жұмсарту қондырғысының сұлбасы көрсетілген.

Мөлдірлеткіште (1) ізбестеу мен коагуляциялаудан (не тек коагуляциялаудан ғана) өткен су мөлдірленген су күбісінде (2) жиналады.

(3) сорғы арқылы бұл су механикалық сүзгіден (4), катионитті сүзгіден (5) сүзіледі. Алынған жұмсартылған су (УВ) тұтынушыға жіберіледі. Істеп шыққан регенерациялаушы ерітінді мен катионитті сүзгілерді жуған сулар (6) күбінде жиналады.



БС – бастапқы су; ЖЕ – жұмыстық ерітінді; УВ – жұмсартылған су;  
К, И – коагуляциялау, ізбестеу.

30 сурет – Суды аз ағынды жұмсарту қондырғысының сұлбасы

Егер катионитті сүзгілердің ағын суларында бос көмір қышқылдары болса, оларды ізбестен немесе басқа сілтілік реагентпен бейтараптайды. Бұл ағын сулар (7) сорғы арқылы (8) мөлдірлеткішке жіберіліп, сода-ізбестеумен жұмсартылып (9) күбісінде жиналады. (10) сорғымен буландырғыш қондырғысына (11) жіберіліп 100-200 г/л концентрациясына дейін буландырылады да тұз қоспасының ерітіндісі құрғақ күйіне дейін буландыратын (12) қондырғыға жіберіледі. Құрғақ тұздары су өткізбейтін қабірге көміледі.

Технологияның кемшіліктері: тазартудың күрделілігі, реагенттер мен қондырғыларға шығындану.

### *Ағынсыз технологиялар*

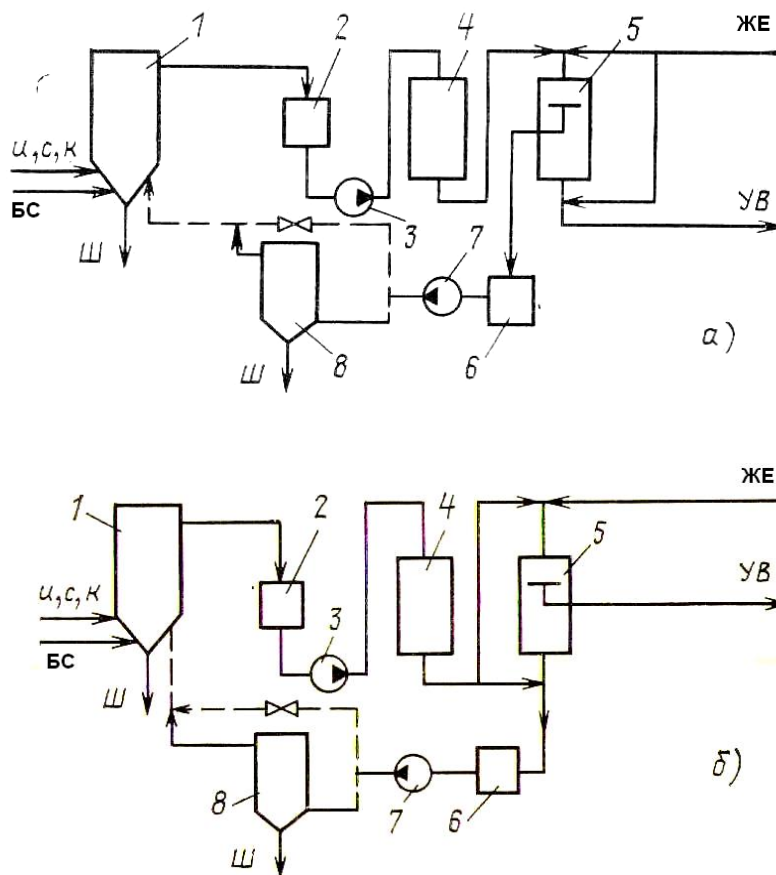
Суды жұмсартудың ағынсыз технологияларын құрастыруда түзілетін ағындарды қосымша қондырғыларды орнату арқылы тазарту емес, оларды суды тазарту процесі жүрген кезде жою болып табылды.

Мұнда бастапқы су мөлдірлеткіште сода-ізбестеуден өтіп, катионитті сүзгілерде терең жұмсартылады. Катионитті сүзгілерде істеп шыққан регенерациялаушы ерітінді күбілерге жиналып ары қарай жұмсарту процесінде бастапқы су мөлдірлеткішіне дозаланады. Осылайша, мөлдірлеткіште бастапқы су ағын суларымен бірге сода-ізбестеу әдісімен өңделіп, нәтижесінде кальций және магний иондарының барлығы нашар еритін шлам түрінде тұнады. Құрғақ шлам құрылыс материалы ретінде немесе ізбестті алуда қолданылады.

Өңделетін судың құрамы мен шарттарына байланысты терең жұмсартуда Na- немесе H-катиондау қолданылады. Na-, H- немесе H-Na-

катионитті сүзгілердің жұмыстық режимдерін зерттеу, сүзгілердің соңғы екі түрінде әлсіз қышқылды немесе полифункционалды катиониттермен тиелген кері ағынды немесе екі ағынды сүзгілерді қолдану қажет екендігін көрсетті.

31 – суретте суды ағынсыз жұмсарту қондырғысының сұлбалары көрсетілген.



31 сурет – Суды ағынсыз жұмсарту қондырғысының сұлбасы

Бастапқы су (1) мөлдірлеткішке жіберіледі. Мұнда коагулянт, сода, ізбес дозаланады және Na-катионитті сүзгісінің (5) істеп шыққан регенерациялаушы ерітіндісі жіберіледі.

Мөлдірлеткіште мөлдірленген және жарым-жартылай жұмсартылған су (2) күбіге жиналып, одан сорғы (3) арқылы механикалық (4) және Na-катионитті сүзгісінен (5) жоғарыдан төмен қарай ізді сүзіледі. Жұмсартылған су тұтынушыға жіберіледі; істеп шыққан регенерациялаушы ерітінді күбіге (6) жиналып, (7) сорғы арқылы мөлдірлеткішке жіберіледі.

**a** және **б** сұлбаларының айырмашылығы келесі: біріншісінде екі ағынды сұлба бойынша регенерациялау процесі жүргізіледі, ал екіншісі бойынша – өңдеу процесі.

**a** сұлбасында су жұмсартылуы сүзгіден суды жоғарыдан төмен қарай жіберіп жүргізіледі. Регенерацияны натрий тұзы ерітіндісінің екі ағынымен жүргізеді – жоғарыдан төмен қарай және төменнен жоғары қарай. Жұмыс істеп шыққан регенерациялаушы ерітінді ионитті тиелудің жоғарғы жағында

орналасқан дренажды жүйе арқылы шығарылады. Бұл сұлбаны бастапқы судың тұз мөлшері жоғары болғанда жоғары сапалы жұмсартылған суды алуда қолданады.

б сұлбасында өңделетін су сүзгіге екі ағынмен - жоғарыдан төмен қарай және төменнен жоғары қарай жіберіледі, ал жұмсартылған су орташа бөлімінен шығарылады. Катионитті сүзгісін регенерациялау ерітіндіні сүзгіге жоғарыдан төмен қарай жіберу арқылы жүреді. Бұл сұлба жұмсартылған су сапасына қатаң талап қойылмайтын жағдайда қолданылады.

### Әдебиет тізімі

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 310с.
2. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат., 1991. – 328с.
3. Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: Процессы и аппараты: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат., 1990. – 272с.
4. Белан Ф.И. Водоподготовка. – М.: Энергия, 1979. – 208с.
5. Вихрев В.Ф., Шкроб М.С. Водоподготовка. – М.: Энергия, 1973. – 420с.
6. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. – М.: МГУ, 1996. – 680с.
7. Водоподготовка. Справочник. / Под ред. С.Е. Беликова. – М.: Акватерм, 2007. – 240с.

## Мазмұны

Кіріспе	
1. Суды жылуэнергетикада пайдалану	4
1.1 Табиғи сулар қоспаларының жіктелуі	5
Су сапасының көрсеткіштері	6
Жылутасығыш ластануының көздері	9
2. Суды алдын-ала тазарту	10
2.1 Суды коагуляциялау	10
2.2 Суды ізбестеу әдісімен тазарту	18
2.2.1 Суды ізбестегенде кермектілік тұздары кристалдануының кинетикасы	22
2.3 Суды сүзу арқылы коагуляциялау және мөлдірлету	24
2.3.1 Мөлдірлеткіш сүзгілердің жіктелуі мен құрылымы	26
2.3.2 Сузу процесінің физика-химиялық негіздері	28
2.3.3 Сүзгіш материалдары	29
3. Суды ион алмасу әдісімен өңдеу	30
3.1 Иониттердің технологиялық сипаттамалары	33
3.2 Ион алмасудың технологиясы	35
3.2.1 Na-катиондау	36
3.2.2 H-катиондау	37
3.2.3 OH-аниондау	38
3.2.4 Ионитті сүзгілер	39
3.2.5 Ион алмасу сұлбалары	42
4. Суды мембраналық әдістермен өңдеу	48
5. Суды еріген газдардан тазарту	57
6. Салқындататын суды өңдеу	63
6.1 Минералды шөгінділердің түзілуін болдырмау	66
6.2 Суды әр түрлі реагенттермен өңдеу	67
7. Суды термиялық әдіспен тұзсыздандыру	68
8. Суды тазартудың аз ағынды және ағынсыз технологиялары	74
Әдебиет тізімі	78

Тұманова Айтбала Айтеновна

## СУДЫ ДАЙЫНДАУДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІ

Оқу құралы

Редактор Э.Т.Ахметова  
2010 ж. жиынтық жоспары, реті. 5

\_\_\_.\_\_\_. терілуге берілді  
Пішімі 60x84 1/16  
№ 2 типографиялық қағаз  
Оқу баспа таб. 5. Таралымы 100 дана. Тапсырыс \_\_\_\_. Бағасы 800 т.  
Басуға \_\_\_.\_\_\_. қол қойылды

«Алматы энергетика және байланыс университетінің»  
Коммерциялық емес акционерлік қоғамының  
Көшірмелі – көбейткіш бюросы  
050013, Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126