

## Тема 8. Пом'якшення води катіонами

1. Показники якості води.
2. Вапняно-содово-катіонітові установки.
3. Натрій-катіонітові установки.

1. Технологія очищення води в значній мірі визначається фізико-хімічними і біологічними показниками її якості й необхідним ступенем його поліпшення.

Якісна й кількісна характеристики домішок, присутніх у воді, визначають можливість її використання для господарсько-питних і виробничих потреб, а також оптимальні методи її кондиціювання.

Основними *фізичними показниками* якості води є: температура, мутність (вміст зважених речовин), кольоровість, сухий і прожарений залишок.

Температура води ( $t^{\circ}$ ) для виробничих потреб визначається завданням на проектування і залежить від характеру технологічного процесу.

Мутність (М) характеризує вміст вискодисперсних зважених і колоїдних домішок. Вміст зважених речовин (ЗР) характеризує кількість домішок мінерального та органічного походження, що мають розмір більше 100 нм. Припустимі величини мутності і вміст ЗР залежать від вимог споживача технічної води. Наприклад, вода, використовувана для охолодження агрегатів або охолодження продукції через стінку теплообмінного апарата, не повинна містити більше 20-50 мг/л ЗР.

Кольоровість води (Ц) обумовлена в основному наявністю в ній колоїдно розчинених органічних сполук, зокрема гумусових речовин, що надають воді жовтий і бурий відтінки. Для більшості виробничих процесів кольоровість води не нормується. У деяких випадках вміст органічних домішок, що спричиняють кольоровість, обмежується. Зокрема, при промиванні пряжі повинна використовуватися вода з кольоровістю, що не перевищує 20 град. Кольоровість води, що піддається зм'якшенню й

знесоленню на іонітових фільтрах, не повинна перевищувати 30 град. Ще більш жорсткі вимоги по цьому показнику пред'являються до води, що використовується для підживлення парових котлів високого тиску.

Сухий залишок (СЗ), що утворюється при просушуванні осаду проби профільтрованої води при 105° С, і прожарений сухий залишок (ПСЗ), що утворюється при прожарюванні сухого залишку, орієнтовно характеризують вміст розчинених мінеральних речовин.

Сухий залишок (СЗ) орієнтовно можна визначити по формулі

$$CЗ = \Sigma[Me^{m+}] + \Sigma[A_{c}^{p-}] + 0,5 [HCO_3^{-}] + 1,4 [Fe] + [SiO_3^{2-}] + C_{орг},$$

де  $[Me^{m+}]$  – концентрація кожного катіона (за винятком Fe), мг/л;

$[A_{c}^{p-}]$  – концентрація кожного з аніонів за винятком ( $HCO_3^{-}$ ,  $SiO_3^{2-}$ ), мг/л;

$[HCO_3^{-}]$  – концентрація бікарбонат-іонів, мг/л;

$[SiO_3^{2-}]$  – концентрація кремнекислоти у формі  $SiO_2$ , мг/л;

$[Fe]$  – сумарна концентрація іонів заліза, мг/л;

$C_{орг}$  – вміст органічних домішок, мг/л.

ПСЗ визначається з виразу

$$ПЗЗ = \Sigma[Me^{m+}] + \Sigma[A_{c}^{p-}] + 0,13[HCO_3^{-}] + 1,4 [Fe] + [SiO_3^{2-}].$$

Величини З і ПЗЗ, що характеризують загальний солевміст Р, нормуються для води оборотних систем водопостачання (не більше 2000 мг/л), живильної та котлової води парогенераторів, води, використовуваної для виготовлення іонообмінних матеріалів, і т.п.

До основних *хімічних показників* якості води відносяться: вміст катіонів ( $NH_4^{+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ), аніонів ( $Cl^{-}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HS^{-}$ ,  $S^{2-}$ ,  $HSiO_3^{-}$ ,  $SiO_3^{2-}$ ,  $NO_2^{-}$ ,  $NO_3^{-}$ ,  $F^{-}$ ), розчиненого кисню  $O_2$ , сірководню  $H_2S$ , вугільної кислоти  $H_2CO_3$ , кремнієвої кислоти  $H_2SiO_3$ , окисність, лужність, твердість, активна реакція рН.

Підвищений вміст катіонів лужних металів характерний для солонуватих і солоних вод. Видалення  $Na^{+}$  і  $K^{+}$  із природних вод застосовується при підготовці води для прямоочних парогенераторів

докритичного й закритичного тиску, промивання деяких деталей радіотехнічних і електронних приладів і деяких інших технологічних процесів.

Наявність у воді катіонів  $Mg^{2+}$  і  $Ca^{2+}$  надає їй твердість і створює умови для відкладення їхніх солей на внутрішній поверхні трубопроводів і апаратів. Для дуже багатьох виробничих процесів вміст солей твердості у використовуваній воді нормується. М'яка вода використовується при виготовленні штучних волокон, кіноплівки, синтетичного каучуку, пластмас і ін. Особливо жорстко регламентується вміст солей твердості в живильній воді парогенераторів. Так, для парогенераторів з тиском від 2,4 до 4,0 Мпа твердість живильної води не повинна перевищувати 0,003-0,005 мг-екв/л, для прямоточних парогенераторів - відповідно не більше 0,0005 мг-екв/л.

Наявність у воді сполук заліза й марганцю навіть у невеликих кількостях ( $>0,3$  мг/л) надає воді неприємний смак, колір і може виявитися причиною обростання апаратури і трубопроводів колоніями залізистих та марганцевих бактерій. Тому води з підвищеним вмістом заліза і марганцю піддають знезалізненню і деманганації. Зокрема, вода, використовувана при фарбуванні тканин, не повинна містити залізо в кількості, що перевищує 0,1 мг/л, і марганцю більше 0,05 мг/л.

Для багатьох виробничих процесів вміст у воді аніонів  $Cl^-$  і  $SO_4^{2-}$  зазвичай не регламентується.

Практично повне видалення аніонів з води необхідне при використанні її в якості живильної для барабанних і прямоточних котлів з докритичним і закритичним тиском.

У воді, використовуваній для охолодження устаткування і продукції в теплообмінних апаратах, вміст хлоридів залежно від температури стінок апаратів і устаткування не повинен перевищувати 350-150 мг/л, вміст сульфатів - не більше 500-250 мг/л.

Вміст сполук кремнієвої кислоти  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  регламентується для живильної води парогенераторів тиском більше 4 МПа і для промивання деяких деталей радіоелектронного виробництва.

Окисність води обумовлюється присутністю в ній органічних речовин і деяких легкоокиснюваних неорганічних домішок (сульфітів, сірководню, двовалентного заліза і ін.). Домішки органічного походження можуть бути причиною інтенсивного біологічного обростання охолоджувальних градирень систем оборотного водопостачання. По рекомендаціях [1] у цьому випадку перманганатная окисненість не повинна перевищувати 20 мг/л.

Показник концентрації водневих іонів рН обумовлює інтенсивність протікання фізико-хімічних реакцій при обробці води і дозволяє судити про характер її впливу на стінки трубопроводів і апаратури.

Згаданими нормами [1] для більшості виробничих процесів рекомендується рН технічної води підтримувати в межах від 7,2 до 8,5.

Лужність води, зумовлена вмістом аніонів слабких кислот (бікарбонатів, карбонатів, фосфатів, гуматів) і гідратів  $\text{OH}^-$ , є важливим нормованим для ряду технологічних процесів показником. Величина лужності впливає також на процеси поліпшення якості води при коагулюванні, вапнуванні та ін.

До біологічних забруднень, що впливають на якість води, використовуваної для технічного водопостачання, відносяться мікроорганізми, водорості, водяні рослини та тварини. Деякі з них є причиною обростання внутрішніх поверхонь трубопроводів і апаратів, інші своєю присутністю у воді збільшують загальний вміст механічних домішок. Тому іноді нормуються швидкість розвитку біологічних обростань, вміст біогенних елементів (Р и N), біохімічна потреба в кисні і т.п.

Технологічні показники якості води дозволяють оцінити ефективність використання основних методів поліпшення її якості. До них, для води господарсько-питного призначення, відносяться показники: осаджуваність суспензії, здатність до коагулювання, знебарвлення, фільтрування,

хлорування та стабільність води. Ці показники й методика їх визначення поширюються й на воду, використовувану для технічних потреб підприємств.

Докладні відомості про методики виконання технологічних аналізів містяться в спеціальній літературі [3 – 5].

**2. Найбільш типові схеми вапняно-содово-катіонітових установок (або реагентно-катіонітових) показані на рис. 8.1.**

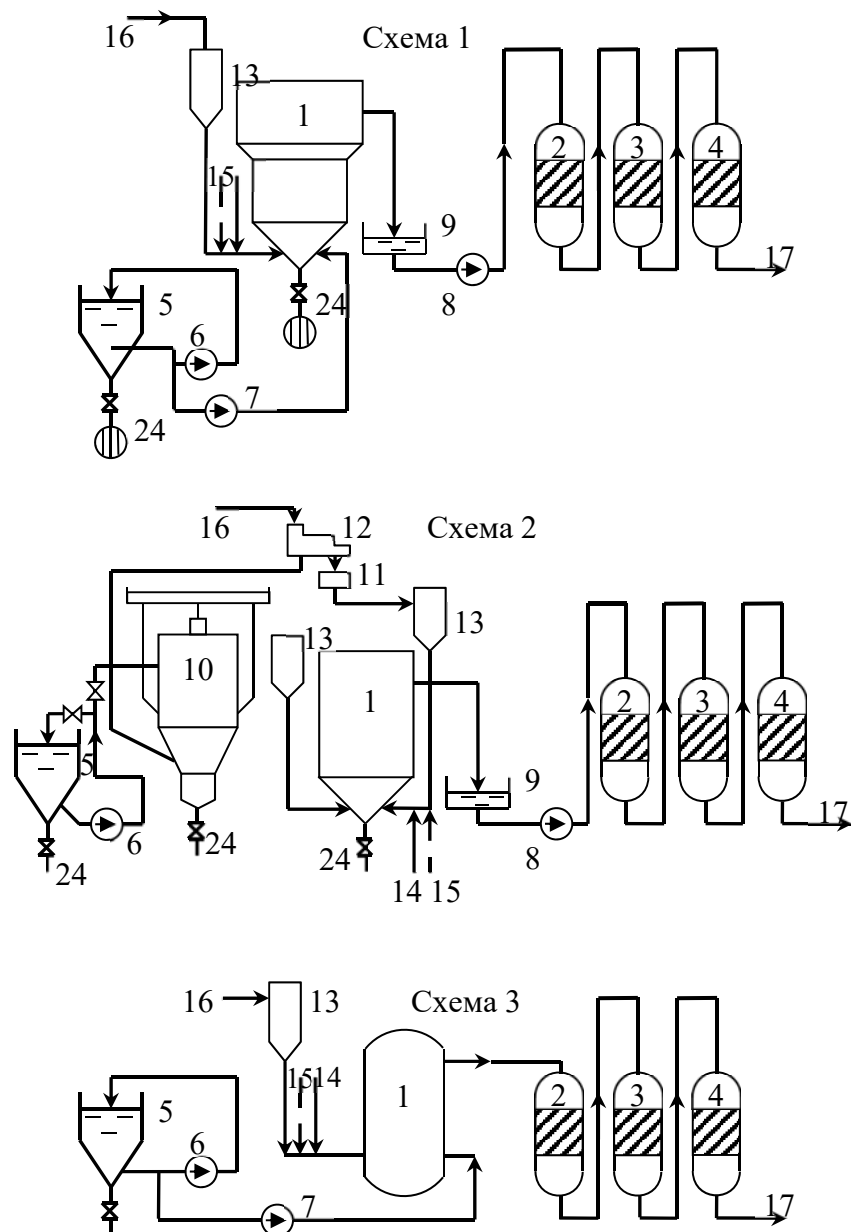


схема 1 - без застосування сатуратора; схема 2 - з застосуванням сатуратора; схема 3 - з напірним прояснювачем; 1 – прояснювачі зі зваженим осадом; 2 - напірні фільтри; 3 і 4 - катіонітові фільтри I і II ступенів; 5 - гідравлічна мішалка вапна; 6 - насос для перемішування вапняного молока; 7 - насос-дозатор; 8 - насос для подачі води на катіонітові фільтри; 9 - проміжний бак; 10 - сатуратор; 11 - підігрівач; 12 - водорозподільник; 13 – повітровідділювачі (варіанти); 14 - подача коагулянту; 15 - подача содового розчину (варіант); 16 - подача на зм'якшення вихідної води; 17 - вихід зм'якшеної води; 18 - гідроелеватор; 19 -

ємність для контактної маси; 20 - лійка для завантаження ємності контактною масою; 21 - вихровий реактор; 22 - уведення реагентів; 23 - випуск відпрацьованої контактної маси; 24 - спорожнювання споруд.

### **Рисунок 8.1 - Схеми вапняно-катіонітового зм'якшення води**

Вапняні або вапняно-содові установки, що працюють за схемою відстоювання – фільтрування – Na-катіонування (або без нього), є найбільш універсальними. Вони знижують лужність вихідної води  $L_{\text{в}}$  до 0,7–1,0 мг-еквл, твердість  $T$  – до 0,01–0,02 мг-екв/л і трохи знижують сухий залишок води; дозволяють обробляти воду майже будь-якої якості й забезпечують високу надійність роботи пристроїв. Основний недолік – громіздкість споруд, наприклад, сатуратора і прояснювачів. Вапняно-содово-катіонітові установки, зазвичай, застосовуються при високій мутності (більше 150 мг/л) і кольоровості (більше 150 градусів) вихідної води, значному вмісті органічних і мінеральних колоїдів, що викликає необхідність ведення коагуляції більше 3–4 місяців у році, високій твердості ( $T_0 > 6$  мг-екв/л) і величині сухого залишку більше 1000 мг/л. Реагентне зм'якшення води здійснюється як з підігрівом, так і без підігріву. У всіх схемах необхідно досить повне видалення повітря з води, що надходить в прояснювач. Натрій-катіонована вода має підвищену агресивність, вапняно-катіонована вода із  $\text{pH} > 8$  помітно менш агресивна. При декарбонізації загальна твердість вихідної води не обмежується. Залишкова твердість дорівнює некарбонатній твердості плюс 0,4–0,8 мг-екв/л; лужність може бути знижена до 0,8–1,2 мг-екв/л; температура оброблюваної води може бути будь-якою. При содово-вапняному способі загальна твердість вихідної води також не обмежується. Межа можливого зниження загальної твердості  $T_z$ : без підігріву води - до 0,5–1,0 мг-екв/л, з підігрівом (до 80–90° С) - до 0,2–0,4 мг-екв/л; лужності - до 0,8–1,2 мг-екв/л.

Схеми вапняно-содового зм'якшення без натрій-катіонування застосовуються для приготування води господарсько-питного призначення з високою початковою мутністю й кольоровістю [3 і 4].

Застосування різних варіантів реагентних методів зм'якшення води визначається якістю вихідної води й необхідним ефектом зм'якшення.

Декарбонізація води може застосовуватися в тих випадках, коли потрібне одночасне зниження її твердості й лужності. Причому основним

завданням іноді є усунення лужності води. При вапнуванні необхідно стежити за дозами вапна, оскільки надлишок його (більше 0,5 мг-екв/л) може привести до зростання твердості оброблюваної води.

При вапняно-содовому методі також не рекомендується застосовувати надлишок вапна, тому що це може привести до перевитрати соди і збільшення гідратної лужності води.

Вибір сполучення реагентного методу зм'якшення води і Na-катіонування в кожному конкретному випадку повинний обґрунтовуватися техніко-економічними розрахунками можливих варіантних схем зм'якшення води. Часто вапнування в сполученні з наступним Na-катіонуванням дає можливість одержувати дешевшу глибоко зм'якшену воду з невеликою лужністю.

Застосування прояснювальних фільтрів напірних або ненапірних (рис.2.2) обумовлюється конкретними умовами проектування. Застосування другого ступеня Na-катіонітових фільтрів також визначається техніко-економічною доцільністю.

Схема 1 застосовується для установок з  $Q > 100$  м<sup>3</sup>/год або при витраті вапна більше 0,5 т/доб (по СаО). У схемі відсутній сатуратор. Дозування вапна здійснюється подачею вапняного молока.

Схему 2 рекомендується використовувати для установок із продуктивністю до 100 м<sup>3</sup>/год або витраті вапна менше 0,25 т/доб (по СаО). У цьому випадку застосовується сатуратор, за допомогою якого задовільно вирішується дозування вапняного розчину.

Схема 3 рекомендується для невеликих установок. У ній застосований прояснювач напірного типу. Перевагою цього варіанта є відсутність розриву струменя та усунення тим самим другої групи насосів.

### 3. Натрій-катіонітові установки

Натрій-катіонітовий метод застосовується для зм'якшення води підземних і поверхневих джерел з вмістом зважених речовин не більше 5-8 мг/л і кольоровістю до 30 град. При одноступінчастому Na-катіонуванні

твердість води знижується до 0,03-0,05 мг-екв/л; при двоступінчастому - до 0,01 мг-екв/л. При цьому рН і лужність залишаються без змін; солевміст збільшується.

Застосовність Na-катіонування для готування котлової води обмежується розміром продувки по лугах, величиною лужності вихідної води й значенням сухого залишку котлової води  $S_k$  і вихідної води  $S_v$ :

$$T_k \leq \frac{P_n \cdot L_k}{(100 + P_n) \cdot a_x}; S_v \geq 200 T_k,$$

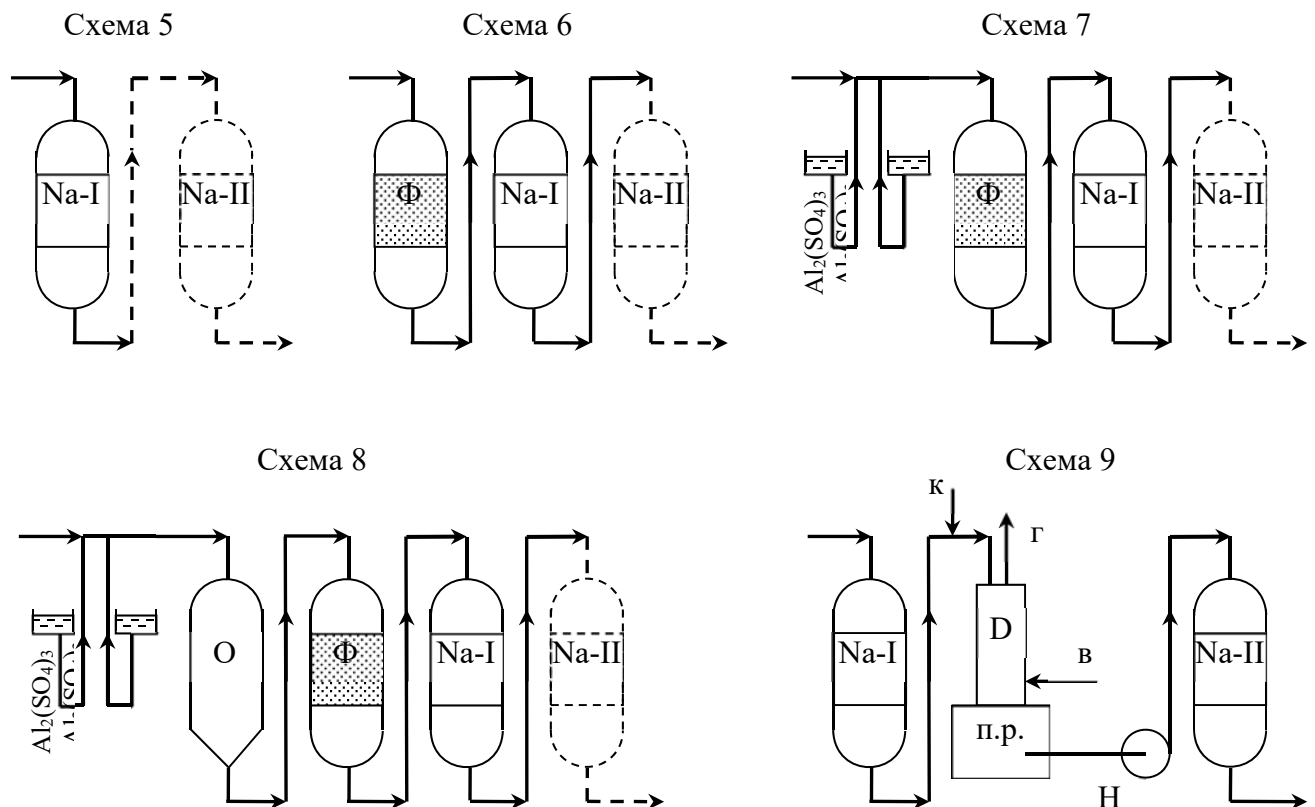
де  $T_k$  – карбонатна твердість, мг-екв/л;

$P_n$  – розрахункова величина продувки котлів по парі, %;

$L_k$  – лужність, вихідної води, мг-екв/л;

$a_x$  – добавка хімічно обробленої води (для компенсації втрати пари, конденсату), %;

$S_v$  – сухий залишок вихідної води.



Na<sub>I</sub> і Na<sub>II</sub> – натрій-катіонітові, фільтри I і II ступенів; Ф – механічний фільтр;  
О – напірний прояснювач; Д – дегазатор; 2 – видалення газу; в – подача повітря;  
ПР – проміжний резервуар; Н – насос

**Рисунок 8.2 – Схеми натрій-катіонітових установок**



Схема 5 застосовується для неглибокого зм'якшення води ( $\text{Na}_I$ ) і глибокого зм'якшення ( $\text{Na}_I + \text{Na}_{II}$ ).

Схема 6 допускає обробку поверхневих вод, що містять зважені речовини до 100 мг/л, а також артезіанських вод, забруднених залізом (>5 мг/л).

Зважені речовини й сполуки заліза затримуються на фільтрах Ф. Схему доцільно застосовувати при постійній або періодичній (у паводки) наявності у воді грубодисперсних зважених речовин.

Схема 7 з попередньою коагуляцією вихідної води  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$  і, якщо є потреба, підлужуванням її ( $\text{NaOH}$ ). Схема дозволяє видаляти з води дрібнодисперсні й колоїдні домішки.

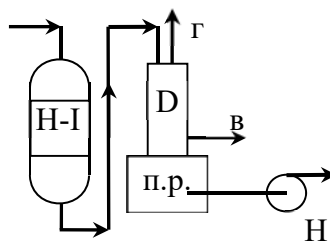
Напірні механічні фільтри, що працюють на лужній воді (після реагентного зм'якшення), повинні бути завантажені антрацитом або мармуровою крихтою.

При продуктивності станції більше 200 м<sup>3</sup>/год рекомендується застосовувати дво- і трипоточні фільтри.

Схема 8 може застосовуватись для вихідної води з будь-яким вмістом зважених і колоїдних речовин. Основне грязьове навантаження в цьому випадку лягає на напірні прояснювачі зі зваженим осадом.

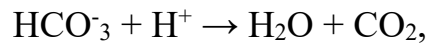
Схема 9 дозволяє здійснювати Na-катіонування зі зниженням лужності води шляхом підкислення її перед декарбонізатором. У декарбонізаторі віддається  $\text{CO}_2$ . Застосовується для обробки води з підвищеною карбонатною твердістю. При необхідності видалення кисню й вуглекислого газу використовуються вакуумні дегазатори. Водень-катіонітові установки

Схема 10



**Рисунок 8.3 - Схема водень-катіонітової установки: Н-І -перший ступінь установки, інші позначення див. рис. 6.2**

Схема 10 самостійно застосовується тільки при наявності у воді бікарбонатної твердості. При цьому лужний аніон  $\text{HCO}_3^-$  руйнується:



що спричиняє зниження лужності і солевмісту (сухого залишку). Кислотний показник рН залишається без зміни.

#### **Питання для повторювання**

1. Які головні показники якості води вам відомі?
2. З яких елементів складаються вапняно-содово-катіонітові установки?
3. З яких елементів складаються натрій-катіонітові установки?