



Міністерство освіти і науки України

**ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В. ЛАЗАРЯНА**

Кафедра «Хімія та інженерна екологія»

«До захисту»
Зав. кафедрою
Д.т.н. професор

_____ Ю. В. Зеленько
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	101 Екологія
ОП	Екологія

Тема: «Оптимізація процесів пом'якшення води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту»

Theme: «Optimization of water softening processes for thermal power plants of railway transport»

Керівник дипломної роботи	доцент	_____	Яришкіна Л.О.
		(підпис)	

Консультант економічного розділу	професор	_____	Зеленько Ю. В.
		(підпис)	

Студентка групи	ЕО1921	_____	Коваль М. В.
		(підпис)	

Student			Koval Margarita
---------	--	--	-----------------

Дніпро
2020 р.

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В.Лазаряна

Факультет Промислове та цивільне будівництво

Кафедра Хімія та інженерна екологія

Спеціальність 101“Екологія ”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Зав. кафедрою

_____Ю.В.Зеленько
“__” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

студентки групи ЕО 1921 Коваль Маргарити Вікторівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

1.Тема дипломної роботи «Оптимізація процесів пом'якшення води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту» затверджена наказом по університету № 177 ст від “13” травня 2020 року.

2. Термін подання студентом закінченого проекту 30.11.2020 року.

3. Вихідні дані до дипломної роботи: теоретичний та практичний досвід у галузі впровадження методів катіонування для пом'якшення води в теплоенергетичних установках залізничного транспорту , результати огляду науково- технічної інформації за темою магістерської роботи, стандартизовані методики визначення жорсткості та мінералізації в живильній воді .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань до розробки):

Загальні відомості щодо застосування теплоенергетичних установок на залізничному транспорті, аналіз сучасних методів пом'якшення води; огляд технологій та технологічних схем очищення води від солей жорсткості в Україні та в світі; розробка рекомендацій щодо технології глибокого очищення води для охолодження дизелів методом іонного обміну, дослідження можливості використання сучасних іонітів у підготовці живильної води, техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем.

5. Перелік демонстраційного матеріалу: мультимедійна презентація за результатами виконання дипломної роботи у обсязі до 20 слайдів, які повною мірою відображають актуальність поставленої мети та задач дослідження, методологію та постановку експериментів, практичну та наукову новизну отриманих результатів.

6. Консультанти (з назвами розділів)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічний розділ	д.т.н., проф. Зеленько Ю.В.	13.05.2020	13.05.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділів дипломної роботи	Термін виконання розділів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з роботою теплоенергетичних установок на підприємствах Придніпровської залізниці	24.01.20 26.02.20	
2.	Аналіз сучасних методів пом'якшення води для теплоенергетичних установок	15.07.20- 10.08.20	
3.	Аналіз сучасних технологічних схем пом'якшення води катіонуванням Характеристики сучасних катіонітів	11.08.20- 30.08.20	
4.	Дослідження можливості використання сучасних іонітів у підготовці обігової води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту	01.09.20- 30.09.20	
5	Техніко – економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем	26.11.20- 10. 12.20	

7. Дата видачі завдання 13.05. 2020 р.

Керівник дипломного проекту _____ Яришкіна Л.О.

к.х.н,доцент, _____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Коваль М.В.

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. Теплоенергетичні установки на залізничному транспорті	10
1.1 Класифікація теплоенергетичних установок	10
1.2 Вимоги до якості живильної та охолоджуючої води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту.....	12
2. Сучасні методи пом'якшення води в системах залізничного водокористування.....	15
2.1 Термічний метод пом'якшення води	16
2.2. Реагентні методи пом'якшення води.....	17
2.3 Методи іонного обміну.....	20
3. Характеристики сучасних катіонітів.....	22
4. Аналіз сучасних технологічних схем пом'якшення води катіонуванням	31
4.1 Технологічні схеми Na-катіонітових водопом'якшувальних установок ...	31
4.3 Технологічні схеми H- Na-катіонітових установок.....	35
4.4 Технологічні схеми NH_4 -Na- катіонітових установок.....	37
4.5 Технологічні схеми Na-Cl-іонування.....	37
4.6 Комбіновані схеми іонообмінних водопом'якшувальних установок	38
5. Дослідження можливості використання сучасних іонітів у підготовці води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту.....	43
5.1 Вибір оптимальної технології іонообмінного очищення води	43
5.2 Оптимізація процесу пом'якшення води з використанням катіоніту КУ-2-8	45
5.3 Рекомендації з проведення процесів знесолення води з використанням катіоніту КУ-2-8	46
5.3.1 Розпушування катіонітового завантаження фільтру.....	47
5.3.2 Регенерація катіоніту.....	48
5.3.3 Відмивання катіоніту зі скидом води в дренаж.....	49
5.4 Дослідження впливу домішок води на роботу іонообмінних смол.....	50
5.4.1 Визначення основних характеристик вихідних іонітів.....	50
5.4.1.1 Визначення статичної обмінної ємності	50

5.4.1.2	Визначення динамічної обмінної ємності з повною регенерацією іоніту (ДОЄ _з)	52
5.4.1.3.	Визначення динамічної обмінної ємності з заданими витратами регенеруючої речовини (ДОЄ _з)	53
5.4.2	Вплив НПАР на процеси іонообмінного знесолення води.....	55
5.4.3	Вплив нафтопродуктів на процеси іонного обміну.....	56
5.5	Розробка рекомендацій щодо технології глибокого очищення води для охолодження дизелів методом іонного обміну	61
6.	Техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем	67
6.1	Техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем	67
6.1.1	Розрахунок капітальних вкладень.....	67
6.1.2	Розрахунок експлуатаційних витрат	70
6.1.3	Розрахунок збитків	72
6.1.4	Визначення чистого економічного ефекту.....	72
6.1.5	Визначення загальної економічної ефективності природоохоронних витрат	73
6.1.6	Визначення загальної розрахункової економічної ефективності грошових вкладень в захист навколишнього середовища	73
6.1.7	Визначення загальної розрахункової економічної ефективності грошових вкладень в захист навколишнього середовища	74
	ВИСНОВКИ.....	75
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 83 стор., 15 табл., 17 рис., 43 джерела.

Об'єкт дослідження – теплоенергетичні установки підприємств залізничного транспорту.

Мета роботи – дослідження можливості використання сучасних іонітів у підготовці води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту.

Методологія та методи дослідження – планування та постановка експериментальної частини дослідження базується на стандартизованих методиках визначення жорсткості та мінералізації води в системах водопостачання підприємств залізничного транспорту.

Проведено оптимізацію процесу знесолення води з використанням сучасних іонітів вітчизняного виробництва. Нами рекомендовано застосування катіоніту КУ-2-8 і аніоніту АВ-17-8 виробництва Черкаського хімічного комбінату, які мають максимальну обмінну ємність і стійкі фізико-хімічні і механічні параметри. Визначено основні фізико-хімічні параметри катіонітів: статична і динамічна обмінна ємність. Паспортний термін служби – 8-10 років.

Досліджено вплив домішок нафтопродуктів і неіонообмінних поверхнево активних речовин (НПАР) на ефективність використання іонообмінних смол. При вивченні впливу НПАР нами встановлено, що в їх присутності після 50 циклів роботи динамічна обмінна ємність (ДОЄ) катіоніту КУ-2-8 падає на 11,8%, аніоніту АВ-17-8 на 48,8% і аніоніту ЕДЕ-10П-на 51,4%. Повна регенерація спостерігається при використанні в якості регенераційних розчинів ізопропілового спирту (6,3 % обсягу на 1 обсяг смоли).

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці технології глибокого очищення води для локомотивного депо ст. Мелітополь з застосуванням катіонітів вітчизняного виробництва.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень можуть бути використані широким колом спеціалістів у галузі водопостачання та водовідведення, екологічної безпеки, раціонального природокористування.

Перелік ключових слів: ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ, ЖОРСТКІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, МІНЕРАЛІЗАЦІЯ, КАТІОНІТИ, АНІОНІТИ, ОБМІННА ЄМНІСТЬ.

SUMMARY

Thesis : 83 pages, 15 pictures, 17 tables, 43 literary sources.

The object of research - thermal power plants of railway transport enterprises.

The purpose of the research - to study the possibility of using modern ion exchangers in water treatment for thermal power plants of railway transport.

Methodology and research methods - planning and formulation of the experimental part of the study is based on standardized methods for determining the hardness and mineralization of water in the water supply systems of railway transport enterprises.

The process of water desalination with the use of modern ion exchangers of domestic production has been optimized. We recommend the use of cation exchange resin KU-2-8 and anion exchange resin AV-17-8 produced by Cherkasy Chemical Plant, which have the maximum exchange capacity and stable physico-chemical and mechanical parameters. The main physicochemical parameters of cation exchange resins are determined: static and dynamic exchange capacity. Passport service life is 8-10 years. The influence of impurities of oil products and non-ion exchange surfactants on the efficiency of ion exchange resins has been studied. When studying the effect of non-ion exchange surfactants we found that in their presence after 50 cycles of work, the dynamic exchange capacity (DEC) of cation exchange resin KU-2-8 decreases by 11.8%, anion exchange resin AV-17 by 48.8% and anion exchange resin EDE-10P by 51.4%. Complete regeneration is detected when using as regenerative solutions of isopropyl alcohol (6.3% of the total number of resins).

The practical significance of the obtained results is to develop the technology of deep water purification for the locomotive depot in Melitopol station with the use of cation exchange resins of domestic production.

The results of experimental and theoretical research can be used by a wide range of specialists in the field of water supply and sewerage, environmental safety, environmental management.

List of keywords THERMAL POWER PLANTS, HARDNESS, TECHNOLOGICAL SCHEME, MINERALIZATION, CATION EXCHANGE RESINS, ANION EXCHANGE RESINS, EXCHANGE CAPACITY.

ВСТУП

Нормальне функціонування більшості галузей промисловості неможливе без забезпечення їх водою необхідної якості [1]. Майже всі залізничні підприємства мають у своєму складі теплоенергетичне господарство, де використовуються різні типи парових котлів, казанів-утилізаторів для вироблення гарячої води й пари, що використовується на технологічні потреби. При цьому кожний водний технологічний процес на залізничному транспорті висуває свої вимоги до якості води [2]. Для теплоенергетичного господарства залежно від умов і параметрів роботи теплосилових установок, теплових мереж, систем охолодження дизелів локомотивів, котелень використовують пом'якшену, частково або повністю знесолену воду.

Проблема дефіциту й погіршення якості поверхневих вод призводить до необхідності застосування обігових та безстічних систем водокористування. При цьому залучення в систему водообігу підприємств залізничного транспорту жорстких та високомінералізованих вод стає усе більш актуальною проблемою. Їх знесолення й створення безвідхідних технологій засновано на технічних рішеннях, що передбачають різні способи пом'якшення й демінералізації води з наступною утилізацією стоків [3].

Експлуатація тепловозного парку залізниць України також вимагає для систем охолодження значних кількостей демінералізованої води.

Мета роботи – дослідження можливості використання сучасних іонітів у підготовці води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту.

У ході виконання роботи будуть вирішені наступні завдання:

- критичний аналіз сучасних методів та технологічних схем пом'якшення та знесолення живильної та охолоджуючої води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту, зокрема для систем охолодження дизелів;
- аналіз ринку катіонітів та аніонітів;

- визначення основних фізико-хімічних параметрів катіонітів та оптимізація процесу знесолення води з використанням сучасних іонітів вітчизняного виробництва.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в дослідженні впливу домішок нафтопродуктів, потенційно кислих органічних речовин і неіонообмінних поверхнево активних речовин (НПАР) на ефективність використання іонообмінних смол.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці оптимальної технології знесолення води методом іонного обміну для потреб локомотивного господарства.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень можуть бути використані широким колом спеціалістів у галузі водопостачання та водовідведення, екологічної безпеки, раціонального природокористування.

Основні наукові положення за результатами роботи були представлені на 80 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Секція «Екологічна безпека» 13.05 – 14.05.2020 р. Дніпро, 2020 р.

1. Теплоенергетичні установки на залізничному транспорті

Залізничний транспорт один з найбільших користувачів природного палива та електричної енергії. На його підприємствах працює багато теплосилових установок, теплових мереж, систем охолодження дизелів локомотивів, основним робочим елементом яких є вода.

Сучасна обробка живильної та охолоджуючої води для котелень, опалюваних систем а також дизелів та акумуляторів вимагає сучасних знань, основних способів обробки води, конструкцій теплоенергетичних установок та кваліфікованого вирішення питань їх застосування.

1.1 Класифікація теплоенергетичних установок

Котельні установки за виробленим енергоносієм поділяють на три класи: парові (з виробництвом водяної пари); водогрійні (відпуск гарячої води); комбіновані (відпуск і пари, і гарячої води).

Для технологічних потреб залізничних підприємств основним теплоносієм є водяна пара. Гаряча вода як теплоносій використовується переважно в теплофікаційних системах (опалення, гаряче водопостачання, вентиляція).

Парогенератори (парові котлоагрегати) за тиском пари, що відпускається, поділяють на: котли парові із низьким тиском пари (до 20 т / г) виробляються для тиску низьких і середніх пар. Вони стали широко поширеними і широко використовувалися для технологічних та економічних потреб, також являються частиною стаціонарних та мобільних котельних опалювальних установок.

Котли із середньою продуктивністю (до 100 т / год), це як правило, котли середнього тиску із помірною температурою перегрітого пару (425-450 ° С), що широко застосовуються як джерело технологічного пару на промислових підприємствах та існують котли високого тиску (до 140 бар).

Досягнення сучасної науки та техніки у сфері отримання нових конструкційних матеріалів та сталей дозволило створити нові види парових

котлів, що працюють над надкритичним тиском (до 240 бар) та супернадкритичних параметрів (до 300 бар і більше) [1].

Водогрійні котлоагрегати потужністю до 2 МВт відпускають гарячу воду з температурою 95°C, потужністю 2–10 МВт – з температурою 115°C, потужністю більше 10 МВт – з температурою 150°C. Існують водогрійні котли, що відпускають воду з температурою до 220°C. За конструкцією котлоагрегати можна поділити на водотрубні та газотрубні. Котлоагрегати великої потужності виконують переважно водотрубними, а невеликі промислові та опалювальні котли – газотрубними.

Важливою ознакою класифікації котельних установок є розміщення в них продуктів горіння палива і робочого тіла (води, водяної пари). Виробничі котельні установки призначено для одержання водяної пари або гарячої води на різні технологічні потреби. В опалювальних котельних установках виробляють водяну пару низького тиску або нагрівають воду лише для опалення, вентиляції і гарячого водопостачання житлових будинків і виробничих споруд. Котельні установки, у яких продукти горіння рухаються в трубках, а вода – ззовні труб, називають газотрубними, інакше – водотрубними (вода рухається в трубках, а газ – ззовні).

Опалювальні й опалювально-промислові котельні установки можуть бути газотрубні і водотрубні, для енергетичних цілей використовують лише водотрубні котли.

Важливою ознакою, за якою класифікують парові котельні установки, є спосіб руху в них робочого тіла. За цією ознакою вони можуть бути з природною, примусовою та комбінованою циркуляцією [3].

За видом пароводяного тракту розрізняють барабанні і прямоточні котли. У всіх типах котлів через економайзер і перегрівник вода і пара проходять одноразово. У барабанних котлах пароводяна суміш у випарних поверхнях нагріву циркулює багаторазово (від барабана по опускних трубах до колектора і до барабана). В котлах з примусовою циркуляцією перед входом води у випарні поверхні встановлюють додатковий насос. У прямотечійних котлах робоче тіло

по всіх поверхнях нагріву проходить одноразово під дією напору, що створює живильний насос.

1.2 Вимоги до якості живильної та охолоджуючої води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту

Вимоги до якості для різних водних технологічних процесів, найбільш характерних для залізничного транспорту, наведені в таблицях 1.1 – 1.4 [4,10-12].

Показники якості води для живлення випарників не повинні перевищувати дані для котлів з тиском до 4,0 МПа. Використання якісної води для систем охолодження дизелів тепловозів має особливе значення. Висока температура й наявність агресивних домішок, у першу чергу корозійно-активних іонів хлориду, призводить до швидкого руйнування контурів охолодження й інших деталей цих систем, що може привести до непередбачених наслідків, аж до аварійних ситуацій.

У таблиці 1.3 наведені вимоги до якості охолоджувальної води для тепловозів. У випадку використання додатково в якості пасиваторів фосфорного або хромового ангідридів або нітриту натрію, їх вводять у рекомендованих кількостях [4].

У подальшому у роботі будуть детально розглянуті методи пом'якшення та знесолення вихідної води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту, а також обігової води для систем охолодження.

Таблиця 1.1 – Якість живильної води парових котлів з природною циркуляцією [5].

Показники	Значення показників при тиску пари в котлі, МПа					
	До 1,4 для котлів		1,4 – 2,4	2,5 – 3,9	4,0 – 10,0	10, 1- 13,5
	Неекранова- них	Екранова- них				
1	2	3	4	5	6	7
Загальна жорсткість, мкгЕ/кг	20/15	20/15	15/10	10/5	5-3	3

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂ , мкг/кг	-	-	-	-	80	40/120
Залізо загальне, мкг/кг	-	-	200/ 100	100/ 50	100/ 50	20
O ₂ , мкг/кг	-	-	0	0	0	0
CO ₂ , мкг/кг	50/30	50/30	50/20	30/20	20	10
Значення рН при 25°C	9,1±0,1					
Зважені речовини, мг/кг	5	5	5	0	0	0
Масло, мг/кг, менш	3	3	3	1	0,3	0,3

Таблиця 1.2 – Якість парокотельних агрегатів [5]

Показники	Значення показників при тиску пари, МПа, у котлах			
	Промислових		Енергетичних	
	1,4	2,4	4,0	ТЕЦ
Солевміст (у перерахуванні на Na ₂ SO ₄), мг/кг	1,0	0,5	0,3	0,2
Вміст CO ₂ , мг/кг	0,02	0,02	0,02	0,02

Таблиця 1.3 – Вимоги до охолоджувальної рідини для локомотивів [5].

Показники	Вода із застосуванням фосфату натрію				Вода з використанням нітрату натрію, силікату натрію.
	Нітриту натрію			Каус-тичної соди, хром-піка	
	Каус-тичної соди	Каус-тичної соди, хром-піка	Хром-піка		
1	2	3	4	5	6
Жорсткість загальна, мгЕ/л, не більш	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6
Вміст хлор-іона, мг/л, не більш	30	50	30	50	30
Лужність за фенолфталеїном, мгЕ/л, не більш	0,3	-	-	-	1-3
Водневий показник рН	7-9	8-8,5	6, 5-7,5	7-8	8-9
Вміст фосфорного ангідриду, мг/л	15-25	15-25	94	15-25	-
Вміст хромового ангідриду, мг/л	-	800-1000	800-1000	800-1000	-
Вміст азотистокислого натрію, мг/л	2500-3000	1500-2000	94	-	1000-1500

Таблиця 1.4 – Допустимий вміст домішок у воді для підживлення теплових мереж [5]

Показник	Температура підігрівання води, 0 ⁰ С	
	76 – 100	101 – 200
Розчинений кисень, мг/кг	0.1	0.05
Зважені речовини, мг/кг	5	5
Карбонатна жорсткість, мг –екв/кг	0.7	0.7
Залишкова загальна жорсткість, мг- екв/кг	0.1	0.05
Вільна вуглекислота	відсутня	відсутня
рН	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5

2. Сучасні методи пом'якшення води в системах залізничного водокористування

Якість води, що застосовується в системах залізничного водопостачання в першу чергу залежить від вимог споживачів. Очищення такої води від солей жорсткості може бути виконано декількома способами: хімічним, термічним, іонообмінним.

Коротка характеристика й умови застосування методів пом'якшення води наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика й умови застосування методів пом'якшення води [6]

Показники \ Метод	Термічний	Реагентний	Іонообмінний
Каламутність, г/м ³	до 50	до 500	менш 18
Вихідна жорсткість, г-екв/м ³	будь-яка	5-35	менш 15
Залишкова жорсткість, г-екв/м ³	<0,035	0, 5-1,0	0, 05-0,01
Температура води	105-120 200-270	35-40	30-130
Витрата води на власні потреби	-	20-30 %	20-30 %

Коротка характеристика й умови застосування методів знесолення води наведені в таблиці 2.2 .

Таблиця 2.2 – Характеристика основних методів знесолення води [8]

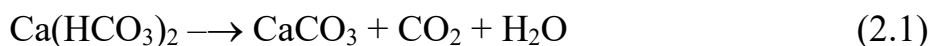
Метод	Солевміст води, мг/л		Умови застосування методу
	вихідної	обробленої	
1	2	3	4
Дистиляція	Більш 10000	0, 5-50	

Продовження таблиці 2.2.

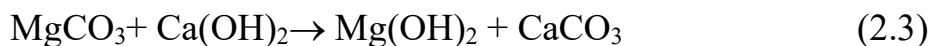
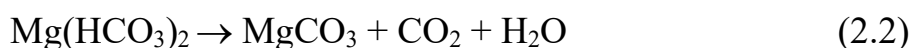
1	2	3	4
Іонний обмін	500-2000	0, 1-20	$\Sigma Cl^- + SO_4^{2-} < 5$ мг-екв/л зміст зважених речовин < 8 мг/л кольоровість < 30 град. витрата води на власні потреби до 30%
Дистиляція	Більш 10000	0, 5-50	
Електродіаліз	500-15000	< 500	Окиснюваність < 7 мг O_2 /л Вміст зважених речовин < 15 мг/л, Кольоровість < 20 град Вміст Fe $< 0,05$ мг/л; Mn $< 0,05$ мг/л, Br $< 0,4$ мг/л, I $< 0,3$ мг/л
Зворотний осмос	До 40000	10-1000	вміст зв. речовин до 0,5 мг/л

2.1 Термічний метод пом'якшення води

Термічний метод пом'якшення води заснований на зниженні карбонатної жорсткості води відповідно до рівняння 2.1:



Видалення магнієвої та карбонатної жорсткості відбувається відповідно до рівнянь (2.2-2.3):



Даний метод реалізується в термопом'якшувачах різних конструкцій, зокрема, у термопом'якшувачі Копйова (рис. 2.1)

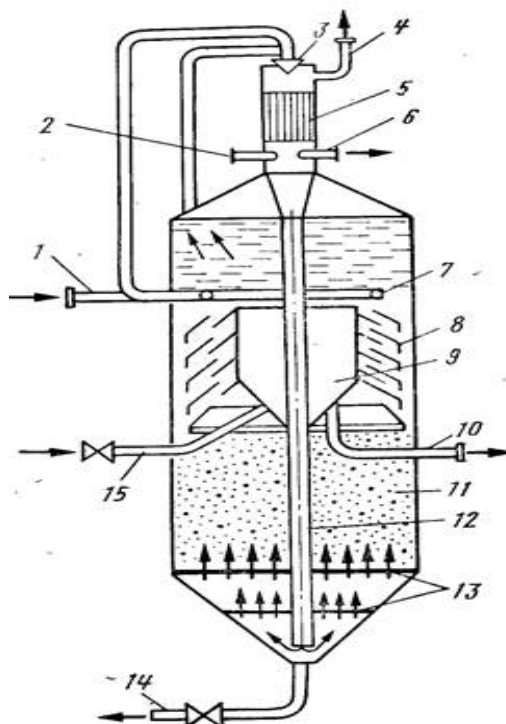


Рисунок 2.1 – Термопом'якшувач Копйова [7]

1,10 – подача вихідної та відвод обробленої води; 2 – продувка котлів; 3 – ежектор; 4 – випар; 5 – плівковий підогрівач; 6 – скид пари; 7 – кільцевий перфорований трубопровід відводу води в ежектор; 8 – похилі сепаруючі перегородки; 9 – збірник пом'якшеної води; 11 – зважений шар; 12 – центральна труба; 13 – ложе перфороване днище; 14 – скид шламу; 15 – скид дренажної води.

2.2. Реагентні методи пом'якшення води

Реагентні методи пом'якшення води засновані на обробці її реагентами, аніони яких утворюють із катіонами Ca^{+2} і Mg^{+2} малорозчинні осад. В якості реагентів і застосовують: вапно, соду, гідрокарбонат натрію й барію, фосфати натрію [9].

Вапнування (декарбонізація) води застосовується при високій карбонатній і малій некарбонатній жорсткості й при високій лужності вихідної води.

Теоретична межа пом'якшення вапнуванням – добуток розчинності CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Залишкова жорсткість – 0,55 мг-екв/л – 0° С, 0,23 мг-екв/л – 80°С.

У наш час вапнування використовують для зниження карбонатної жорсткості або для попереднього очищення при знесоленні води методом іонного обміну.

Вапняно-содовий метод пом'якшення застосовують для води з будь-яким складом.

Так як сода й вапно утворюють тонкодисперсні осад CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а наявність органічних колоїдів гальмує процес осадження, то спочатку вводять частину вапна й коагулянти, потім вводять інше вапно й соду. В якості коагулянту використовують солі Fe^{+2} , тому що при високих рН солі Fe^{+3} не утворюють гідроксид [10].

Використання соди та вапна для пом'якшення – багатоступеневий процес, що вимагає значної витрати різних реагентів (кальцинована сода, вапно, їдкий натр) і великих витрат. У технологічній схемі використовується обладнання для приготування й дозування реагентів, змішувачі, відстійники або прояснювачі, фільтри й пристрої для стабілізаційної обробки води. (див. рис. 2.2, 2.3).

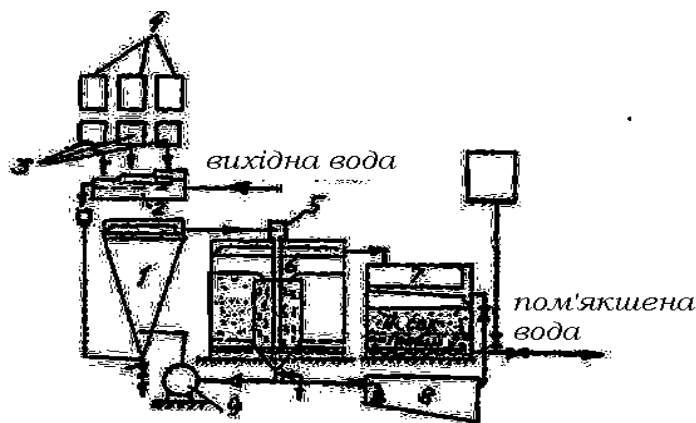
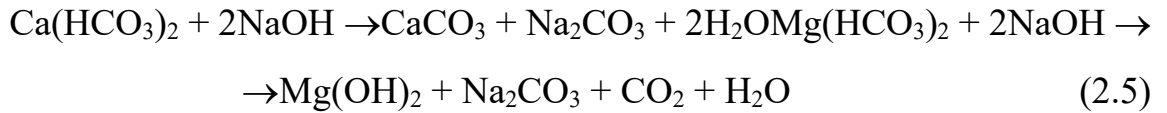


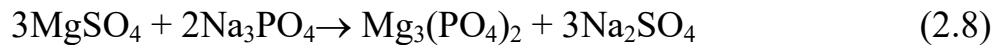
Рис. 2.2 – Схема установки реагентного пом'якшення води з прояснювачами [5]

1–вертикальна камера утворення пластівців; 2 – змішувач; 3 – дозатор; 4. витратні баки для реагентів; 5 – відокремлювач повітря; 6 – прояснювач; 7 – фільтр; 8 – бак; 9 – насос.

Содо-натрієвий метод пом'якшення застосовують у випадку $J_K = J_{H.K.}$, при цьому протікають наступні хімічні процеси (2.4–2.5):



Фосфатне й барієве пом'якшення застосовують у сполученні з іншими реагентними методами або для додаткового пом'якшення води за рівнянням (2.7–2.8):



Залишкова жорсткість 0,04–0,05 мг-екв/л, $t=100^\circ\text{C}$.

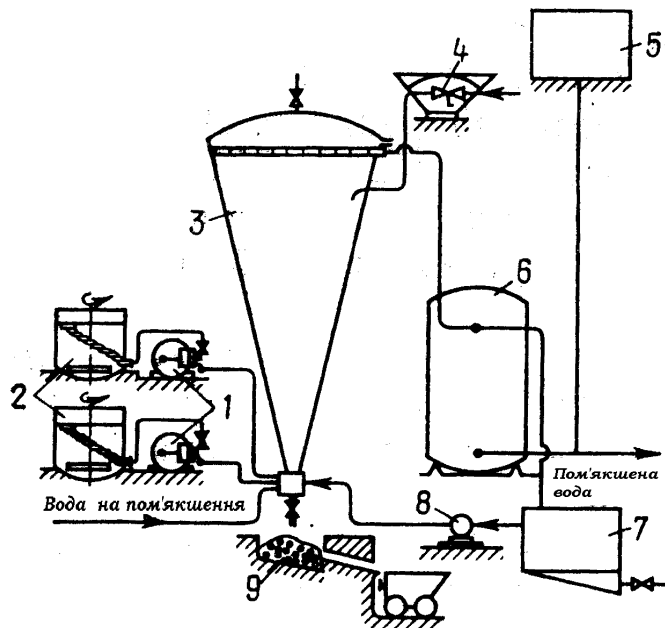


Рисунок 2.3 – Схема реагентного пом'якшення води із застосуванням вихрового реактора [11]

1 — дозатори вапняного молока і розчину соди; 2 — баки для вапняного молока і розчину соди; 3 — вихровий реактор; 4 — ежектор для подачі в реактор контактної маси; 5 — бак промивної води; 6 — напірний фільтр; 7 — відстійник для води від промивання фільтрів; 8 — насос для перекачування проясненої води промивання фільтрів; 9 — відпрацьована контактна маса.

2.3 Методи іонного обміну

Іонний обмін залишається одним з найбільш ефективних промислових методів одержання пом'якшеної й знесоленої води [12].

Принцип дії методу іонного обміну полягає в здатності іонообмінних матеріалів або іонітів поглинати позитивно і негативно заряджені іони з розчину електроліту в обмін на еквівалентну кількість однойменно заряджених іонів іоніту [13].

З електрохімічної точки зору кожна молекула є своєрідним твердим електролітом. У результаті електролітичної дисоціації іоніту навколо нерозчинного у воді ядра утворюється іонна атмосфера, тобто обмежений навколо молекули іоніту простір, в якому знаходяться рухомі й здатні до обміну іони. На рисунку 2.4 у спрощеному вигляді зображена схема структури молекули іоніту. Залежно від характеру активних функціональних груп іоніту його рухомі, здатні до обміну іони можуть мати або позитивні заряди (рис. 2.4, б), тоді такий іоніт називають катіонітом, або негативні заряди (рис. 2.4, а), тоді такий іоніт називають аніонітом.

Процес обробки води методом іонного обміну, в результаті якого відбувається обмін катіонів, називається катіонуванням. Процес обробки води методом іонного обміну, в результаті якого відбувається обмін аніонів, називається аніонуванням.

Сутність іонообмінного пом'якшення (катіонування) полягає в заміщенні катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , що знаходяться у вихідній воді на катіони H^{+} або Na^{+} . У процесі водень-катіонування вода пом'якшується – катіони жорсткості Ca^{2+} і Mg^{2+} обмінюються на водень; бікарбонатний іон, що утворює карбонатну жорсткість, руйнується з утворенням вуглекислоти, натрій у свою чергу обмінюється на водень, при цьому утворюються еквівалентні кількості мінеральних кислот.

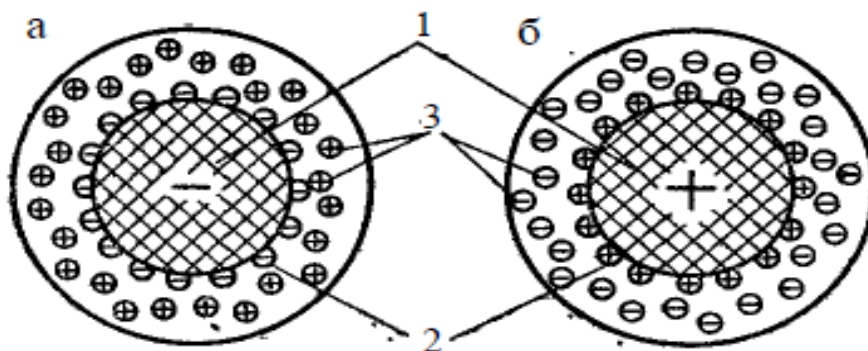
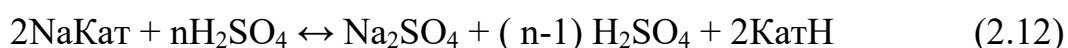
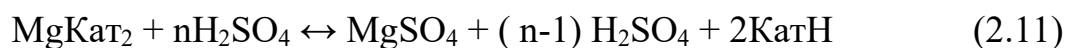
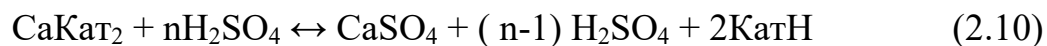


Рисунок 2.4 – Схема структури молекули іоніту [13]

а) аніоніт; б) катіоніт

1- твердий багатоатомний каркас іоніту; 2- пов'язані з каркасом нерухомі іони активних груп; 3- обмежено рухомі іони активних груп, здатні до обміну

Після виснаження катіоніту проводять його регенерацію розчином кислоти. Як промивний агент рекомендуються розчини соляної або сірчаної кислоти, виходячи з необхідності зниження швидкості корозії [13]. При цьому протікають наступні реакції обміну (2.10–2.13) :



3. Характеристики сучасних катіонітів

Іонний обмін протікає на іонітах, що уявляють собою тверді поліелектроліти, у яких іони одного знаку заряду закріплені на твердій матриці, а іони протилежного знаку заряду здатні переходити у розчин та замінюються на інші іони того ж знаку заряду [14] .

У катіонітів в розчин переходять катіони, які потім можуть обмінюватися на катіони з розчину. Функціональними групами у катіонів є сульфогрупи – SO_3H , фосфорнокислі групи – $\text{PO}(\text{HO})_2$, карбоксильні групи – COOH , гідроксильні групи – OH .

У аніонітів функціональні групи при дисоціації посиляють у розчин аніони, а на іоніті залишаються позитивно заряджені іони. Функціональними групами слугують аміногрупи – NH_2 , – NH , – N та четвертинні амонійні луки – NR [15].

При дисоціації цих груп іоніт заряджається позитивно, а розчин навколо іоніту – негативно.

Фізичні властивості катіонітів залежать від їх фракційного складу, механічної міцності й насипної щільності. Фракційний (або гранулометричний) склад характеризує експлуатаційні властивості катіонітів і визначається ситовим аналізом. При цьому враховуються такі характеристики: середній розмір зерен, ступінь однорідності й кількість пилоподібних частинок, не придатних до використання.

Енергія входження різних катіонів у катіоніт за величиною їх динамічної активності може бути охарактеризована для однакових умов наступним рядом: $\text{Na}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{K}^+ < \text{Ba}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$, тобто чим більший заряд катіонів, тим більша їх енергія входження в катіоніт. Для катіонів однакової валентності енергія входження залежить від ступеня їх гідратації [14] .

Аніоніти містять наступні хімічно активні функціональні групи: слабкоосновні первинні (—NH_2), вторинні (=NH), третинні (N) аміногрупи, сильноосновні четвертинні амонієві групи (—NR_3). Залежно від хімічного складу аніоніти поділяють на слабкоосновні, здатні до обміну аніонів тільки в

кислому середовищі, і сильноосновні, що обмінюють іони в будь-яких середовищах. До складу аніонітів можуть бути введені різні обмінні аніони. У практиці водопідготовки такими обмінними аніонами є OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Слабкоосновні аніоніти характеризуються неоднаковою здатністю до поглинання різних аніонів; для більшості з них справедливим є такий ряд: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$, в якому кожен попередній аніон поглинається активніше та в більшій кількості, ніж наступний. Аніони слабких кислот (HSiO_3^- , HCO_3^-) не вступають в обмінні реакції із слабкоосновними аніонітами. Сильноосновні аніоніти здатні витягувати з води аніони як сильних, так і слабких кислот, що містяться в ній.

Кожен іоніт володіє певною обмінною ємністю, що визначається кількістю іонів, які іоніт може обміняти протягом циклу фільтрування. У практиці водопідготовки обмінну ємкість іоніту виражають у грам-еквівалентах затриманих катіонів на 1 м³ катіоніту, що знаходиться в набряклому стані після перебування у воді, тобто в такому стані, в якому іоніт знаходиться у фільтрі.

Розрізняють такі види обмінної ємкості [11]:

а) статичну обмінну ємкість (СОЄ) – визначається шляхом контакту вколбі певної кількості іоніту і розчину солей протягом 24-48 годин;

б) динамічну (робочу) обмінну ємкість (ДОЄ, РОЄ) іоніту, яка характеризується кількістю іонів, яка поглинається 1 м³ іоніту, до досягнення у фільтраті допустимої концентрації іону, що видаляється (тобто до «проскакування»);

в) повну обмінну ємкість (ПОЄ) іоніту, що характеризується тією кількістю іонів, яку може поглинути даний іоніт до його повного виснаження, коли концентрація солей у фільтраті буде дорівнювати концентрації їх в розчині.

Робоча обмінна ємкість визначає об'єм іоніту, необхідного для завантаження фільтрів за заданих умов їх експлуатації. РОЄ залежить від виду катіонів або аніонів, що видаляються з води, яка обробляється, співвідношення різних іонів у вихідному розчині, швидкості фільтрування води, що

знесолюється, через іоніт, висоти шару іоніту, значення рН води, режиму експлуатації фільтру щодо проскакування іонів у фільтрат, і питомої витрати регенеруючої речовини.

Найчастіше іоніти завантажуються у стандартні напірні фільтри, які звичайно застосовуються на станціях хімоводоочистки.

Регенерація іоніту проводиться в три послідовних етапи:

- а) розпушування завантаження іонообмінного фільтру при подачі розпушуючої води зверху вниз;
- б) пропуск регенераційного розчину (власне регенерація);
- в) відмивання завантаження фільтру від регенераційного розчину і продуктів регенерації.

Залежно від того, як пропускається крізь фільтр регенераційний розчин, фільтри можуть бути:

- паралельнопоточні, в яких вода, що обробляється і регенераційний розчин пропускаються через фільтр в одному напрямі;
- протиточні, в яких вода і регенераційний розчин пропускаються крізь фільтр у протилежних напрямках.

Для підготовки води на підприємствах залізничного транспорту останнім часом найбільше широко застосовується сульфовугілля. Строк придатності сульфовугілля не регламентується. Необхідно тільки враховувати його неминучі втрати за рахунок подрібнювання й виносу з фільтра, які повинні періодично поповнювати. Сульфовугілля може застосовуватися як натрій-, водень- або амоній-катіоніт.

У таблиці 3.1 наведені основні характеристики катіонітів, що випускаються в країнах СНД для потреб пом'якшення та знесолення води.

Як видно з даних, наведених у таблиці 3.1 сульфовугілля, що має до останнього часу найбільш широке застосування в процесах водопідготовки на залізничному транспорті, має найменшу обмінну ємність. У цей час в Україні, країнах СНД і за кордоном виготовляють найбільш перспективні матеріали з $E_{\text{полн.}}=2100\div4000$ гЕ/м³. Зокрема, у цей час у СНД іонообмінні смоли

випускаються чотирма заводами: хімічним комбінатом м. Черкаси (КУ- 2-8, КУ- 2-8 ЧС, КУ- 2-20, КУ- 2-23, АВ- 29-12П, АН-21, АН- 22-8, АН-221), заводом “Карболіт” м. Кемерово (КУ- 2-8, КБ-2, КБ- 2-4, КБ- 2-7П, КБ- 2-10П, КБ-4, КБ-4П-2), Дніпродзержинське виробниче об’єднання «Азот» (КУ- 2-8ЧС, АВ- 17-8, АВ- 17-8чс, АН- 18-8, АН-18П) і заводом пластичних мас м. Нижній Тагіл (КУ-1, АН-1, АВ-16Г, ЭДЭ-10П, АН-2ФН, АН-31).

Таблиця 3.1 – Основні технологічні характеристики катіонітів, що випускаються в країнах СНД для потреб водопідготовки [16]

Марка іоніту	Насипна щільність товарного продукту, т/м ³	Розмір зерен, мм	Повна обмінна ємність, г-екв/м ³
Сульфовугілля (СК-1)	0, 67-0,70	0, 5-1,20	500
КУ-1	0, 60-0,75	0, 3-2,00	650
КУ-2	0, 7-0,9	0, 3-1,50	1300-1800
КУ- 2-8	0, 7-0,9	0, 3-1,50	1800
КУ- 2-8ЧС	0, 7-0,9	0, 4-1,50	1700
КБ-4-П2	0, 68-0,82	0, 25-1,00	2800
КБ-4	0, 55-0,60	0, 3-2,00	4200

Іонообмінні смоли, що виробляються компанією Purolite, являють собою нерозчинні високомолекулярні сполуки з функціональними іоногенними групами, що здатні вступати в реакцію обміну з іонами розчину. Катіоніти компанії Purolite поділяють на:

- сильнокислотні (С100 табл.3.2, С100Е, С100×10, С120, С145, С150, С160 та інш.), які обмінюють катіони в розчинах при будь-яких значеннях рН;
- слабкокислотні (С104, С105, С106 и др.), здатні до обміну катіонів в лужних розчинах при рН > 7.

Аніоніти компанії Purolite поділяють на:

- сильноосновні (А100, А103, А104, А105, А830, А840 та інш.), здатні до обміну аніонів будь-якого ступеню дисоціації в розчинах при будь-якому значенні рН;
- слабкоосновні (А400, А600, А200, А300, А500, А500Р, А505, А510, А860, А845, та інш.), здатні до обміну аніонів з розчинів кислот при рН 1-6;

– проміжної та змішаної активності.

Таблиця 3.2 – Основні властивості катіоніту С100[17]

Структура полімерної матриці	полістирол, зшитий дивинілбензолом
Зовнішній вигляд	Прозорі сферичні частки
Кількість цілих часток	мінімум 90%
Функціональні групи	сульфогрупи
Іонна форма	Na^+
Розподіл часток за розміром	+ 1,2 мм < 2%, -0,42 мм < 2%
Вміст води, форма Na^+	44-48%
Набряк, $\text{Na}^+ - \text{H}^+$	макс. 5%
Питома вага, форма Na^+ , вологий катіоніт	1,29
Форма Na^+ , вологий катіоніт, за об'ємом	мін. 2,0 г-екв/л
Форма Na^+ , сухий катіоніт, за вагою	мін. 4,5 г-екв/кг
Робоча температура, форма Na^+	макс. 150 °С

Компанія Purolite випускає також готові суміші іонітів для використання у фільтрах змішаної дії.

Іонообмінні смоли, компанії Purolite порівняно з вітчизняними іонітами мають ряд значних переваг:

- висока робоча обмінна ємність (більш на 20 – 25%);
- за рахунок більш високої осмотичної стабільності щорічна досипка до 2% (для КУ-2-8 – до 10%);
- питома витрата солі на регенерацію 100 – 105 г/г-екв (для КУ – 2-8 – 120-140 г/г-екв);
- витрата води на власні потреби нижче на 20-25%;
- за рахунок більш однорідного гранулометричного складу значно менший перепад тиску у робочому режимі;
- за рахунок кращої однорідності більше видалення заліза з вихідної води;
- значне зниження вмісту хлоридів у стічних водах на 15-20%, за рахунок зменшення витрат кухарської солі.

Якщо порівняти якості катіонітів вітчизняного та закордонного виробництва, видно що за більшістю показників вони майже не розрізняються. Катіоніти фірм Purolite, DOWEX мають таку ж саму обмінну ємність, але вартість цих катіонітів у порівнянні з КУ-2-8 майже в 3 рази більше. Ще більша різниця у вартості між катіонітом КУ-2-8 та Амберліт IRA-100. Тому я рекомендую використовувати для роботи водопідготовчих споруд залізничного транспорту катіоніт КУ-2-8 та аніоніти АН-18, АВ-31 виробництва Черкаського хімічного комбінату. Усі подальші дослідження були проведені з використанням саме цих марок іонітів.

Таблиця 3.3 – Монодисперсні іонообмінні смоли DOWEXMONOSPHERE [18]

Назва продукту	Структура матриці	Активна група	Іонна форма	Середній розмір часток, мкм	Розподіл часток за розмірами, мкм	Загальна обмінна ємність (у вологому стані) екв/л	Вологоутримання, %	Насипна вага кг/м ³	Щільність часток, кг/м ³	Максимальна робоча температура °С	pH	Іншісуючі марки.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Катіоніти												
С-350	Гель	Сульфонат	Na [*]	350	85%±150	2,2	38-45	830	1310	130	0-14	S, UG, UP
			H [*]	360	85%±150	1,9	46-53	790	1210			
С-400	Гель	Сульфонат	Na [*]	400	85%±150	2,2	38-45	830	1310	130	0-14	S, UG, ES UP
			H [*]	410	85%±150	1,9	46-53	790	1210			
С-500	Гель	Сульфонат	Na [*]	525	85%±150	1,9	42-50	820	1290	130	0-14	S, UG, ES,UP
			H [*]	550	85%±150	1,8	50-56	780	1200			
С-650	Гель	Сульфонат	Na [*]	630	90%±150	2,1	38-45	830	1310	130	0-14	S, UG, UP
			H [*]	650	90%±150	1,9	46-51	800	1220			
С-425	Гель	Сульфонат	Na [*]	400	85%±150	2,2	38-45	830	1310	130	0-14	S
99/320	Гель	Сульфонат	Ca ^{**}	320	90%±50	1,5(H [*])	48-52	850	1200	130	0-14	S
			K [*]	330	90%±50		50-55	840	1190			
99/350	Гель	Сульфонат	Ca ^{**}	350	90%±50	1,5(H [*])	48-52	850	1200	130	0-14	S
			K [*]	355	90%±50		50-55	840	1190			

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
99/390	Гель	Сульфонат	Ca ^{**} K [*]	390 395	90%±50 90%±50	1,5(H [*])	48-52 50-55	850 840	1220 1190	130	0-14	S
C-600B	Гель	Сульфонат	Na [*]	600	90%±150	1,9	41-51	840	1300	130	0-14	S
650 C	Гель	Сульфонат	H [*]	650	90%±100	1,9	46-51	800	1220	130	0-14	S
M-31	Макропориста	Сульфонат	H [*]	500	95%±150	1,7	50-54	760	1190	130	0-14	S
88	Макропориста	Сульфонат	Na [*]	550	95%±150	1,8	42-50	800	1250	130	0-14	S
Аніоніти												
AMW-400	Макропориста -	Диметил-амін	FB	400	85%±100	1,25	50-58	640	1040	60 (FB) 100 (HCl)	0-7	S, UG, LBUG
AMW-400	Макропориста	Диметил-амін	FB	500	95%±150	1,25	50-58	640	1040	60 (FB) 100 (HCl)	0-7	S, UG
66	Макропориста -	Диметил-амін	FB	550	95%±150	1,60	40-46	650	1050	60 (FB) 100 (HCl)	0-7	S
Al-400	Гель	Триметил-амоній	Cl ⁻	400	85%±150	1,1	50-60	690	1090	60 (OH ⁻) 100 (Cl ⁻)	0-14	UG

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Al-500	Гель	Триметил-амоній	Cl ⁻	540	95%±100	1,2	44-50	690	1090	60 (OH ⁻) 100 (Cl ⁻)	0-14	S, UG
Al-625	Гель	Триметил-амоній	Cl ⁻	650	85%±100	1,1	47-53	690	1090	60 (OH ⁻) 100 (Cl ⁻)	0-14	LBUG
55 A	Гель	Триметил-амоній	Cl ⁻ OH ⁻	550 590	95%±100 95%±100	1,25 1,1	44-50 55-65	690 640	1090 1060	60 (OH ⁻) 100 (Cl ⁻)	0-14	S, UP
All-400	Гель	Триметил-амоній	Cl ⁻	400	85%±150	1,1	45-55	690	1090	35 (OH ⁻) 70 (Cl ⁻)	0-14	UG
All-500	Гель	Триметил-амоній	Cl ⁻	540	85%±100	1,1	42-52	690	1090	35 (OH ⁻) 70 (Cl ⁻)	0-14	UG

Марки: S – Стандартна; ES – Підвищена механічна міцність; UP – Класа ос.ч.; LB – Пошарова; UG – UPCORE.

4. Аналіз сучасних технологічних схем пом'якшення води катіонуванням

При виборі технологічної схеми пом'якшення води необхідно враховувати якість вихідної води (загальна жорсткість, карбонатна жорсткість, лужність, концентрація хлоридів і сульфатів, концентрація іонів натрію, рН) та вимоги, що пред'являються до якості обробленої води (див.розд.2). Остаточний вибір технологічної схеми пом'якшення виконується після техніко-економічного порівняння можливих варіантів. У таблиці 4.1 наведені технологічні схеми пом'якшення води методом катіонування, які зазвичай застосовують на промислових підприємствах [12].

Таблиця 4.1 – Технологічні показники різних схем іонного пом'якшення води [19]

Тип технологічної схеми	Показники, умови застосування	Якість фільтрату
одноступеневе Na-катіонування	неглибоке пом'якшення без зниження лужності	$J_{\text{зал.}}=0,05-0,1 \text{ мгЕ/л}$ $\text{Щ}_{\text{зал.}}=\text{Щ}_{\text{вих.}}$
двухступеневе Na-катіонування	глибоке пом'якшення, якщо $J_{\text{вих.}} > 6 \text{ мгЕ/л}$	$J_{\text{зал.}}=0,01 \text{ мгЕ/л}$ $\text{Щ}_{\text{зал.}}=\text{Щ}_{\text{вих.}}$
Н-катіонування з декарбонізацією	пом'якшення води з Σ вмістом $\text{Cl} + \text{SO}_4 \leq 1 \text{ мгЕ/л}$	$J_{\text{зал.}}=0,05-0,1 \text{ мгЕ/л}$ $\text{Щ}_{\text{зал.}}=0,75 \text{ мгЕ/л}$
паралельне Н- Na-катіонування	глибоке пом'якшення вод з $\Sigma \text{Cl} + \text{SO}_4 \leq 3-5 \text{ Na} < 2 \text{ мгЕ/л}$	$J_{\text{зал.}}=0,01 \text{ мгЕ/л}$ $\text{Щ}_{\text{зал.}}=0,75 \text{ мгЕ/л}$
послідовне Н- Na-катіонування	пом'якшення води з $J > 6 \text{ мгЕ/л}$, $J_{\text{карб.}} = 0,5 J_{\text{вих.}}$, солеутримання більш 700 мг/л	$J_{\text{зал.}}=0,01 \text{ мгЕ/л}$ $\text{Щ}_{\text{зал.}}=0,7 \text{ мгЕ/л}$
Одноступеневе Na-катіонування з декарбонізатором	глибоке пом'якшення зі зниженням концентрації вуглекислоти	$J_{\text{зал.}}=0,02-0,03 \text{ мгЕ/л}$ $[\text{CO}_2]_{\text{зал.}}=50 \text{ мкг/кг}$

4.1 Технологічні схеми Na-катіонітових водопом'якшувальних установок

Найбільш простою схемою обробки води є Na-катіонування за одноступиневою схемою – фільтрування крізь один Na-катіонітовий фільтр, або

за двоступеневою- послідовне фільтрування крізь фільтр першого, а потім другого щабля.

При фільтрації жорсткої води крізь шар Na-катіоніту в результаті іонного обміну, катіони кальцію й магнію, що перебувають у воді, поглинаються катіонітом, а замість них у воду переходять катіони Na^+ , що раніше знаходились в зерні катіоніту. Завдяки цьому вода практично повністю звільняється від іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} і стає пом'якшеною.

Схема одноступеневої катіонітової установки наведена на рис. 4.1. Вода, минувши Na-катіонітові фільтри, збирається в бак, з якого подається споживачу. За схемою, наведеною на рис. 4.2, можна досягти більш глибокого пом'якшення води за рахунок двоступеневої обробки води. У цьому випадку у фільтрах 1 ступеня вода піддається пом'якшуванню до залишкової жорсткості 0,1-0,2 мг-екв/дм³. Потім на фільтрах 2 ступеня жорсткість заздалегідь пом'якшеної води знижується до 0,02-0,01 мг-екв/дм³.

Фільтри 2-го ступеня створюють свого роду бар'єр, перешкоджаючи проскакуванню іонів, що видаляються, при випадкових відхиленнях в роботі фільтрів 1 ступеня; тому фільтри 2 ступеня називають бар'єрними. При їх наявності спрощується експлуатація установки, оскільки катіонітові фільтри першого ступеня відключаються на регенерацію не за проскакуванням іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} , що вимагає ретельного контролю жорсткості води після цих фільтрів, а за кількістю води, пропущеної крізь них. Ємність поглинання на фільтрах і термін їх корисної роботи при двохступеному катіонуванні збільшуються.

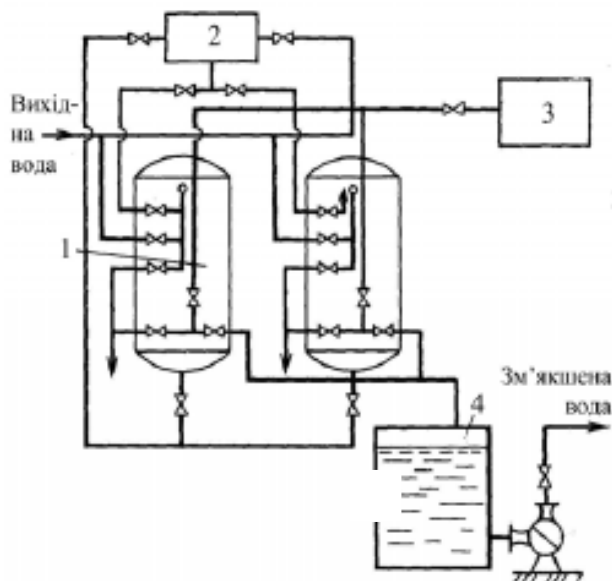


Рисунок 4.1 – Схема одноступеневого Na-катіонування води

1 – Na-катіоновий фільтр; 2 – бак з розчином куховарської солі; 3 – бак з частково зм'якшеною водою для розпушування катіоніту; 4 – резервуар зм'якшеної води [20]

У зв'язку з тим, що фільтри другого ступеня несуть невелике навантаження щодо зниження жорсткості води, термін їх роботи до регенерації досягає 150-200 год. При пропусканні розчину NaCl зверху вниз в ньому зростає концентрація катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} , що витісняються з катіонітів, і знижується концентрація катіонів Na^+ .

Збільшення концентрації проти іонів (у даному разі Ca^{2+} і Mg^{2+}) в регенераційному розчині пригнічує дисоціацію виснаженого катіоніту і погіршує процес іонного обміну. Виникаючий при цьому протиіонний ефект гальмує реакцію регенерації, внаслідок чого в міру руху регенеруючого розчину в нижні шари катіоніту регенерація останнього відбувається менш повно і деяка кількість катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} залишається невитісненими з нижніх шарів катіоніту.

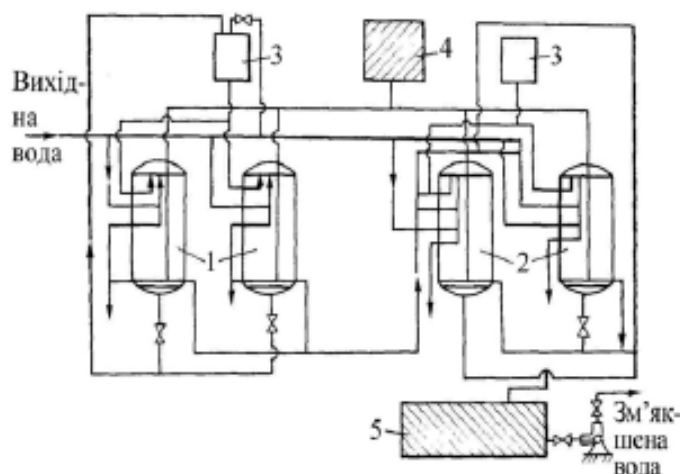


Рисунок 4.2 – Схема двоступеневого Na-катіонування води:

1 – Na-катіоновий фільтри 1 ступеня; 2 – Na-катіоновий фільтри 2 ступеня; 3 – баки з розчином солі; 4 – бак з водою для розпушування; 5 – резервуар зм'якшеної води [20]

Для усунення цього явища необхідно одночасно пропускати через катіоніт свіжі порції розчину реагенту і відводити продукти регенерації.

Схема одноступеневого Na-катіонування має наступні недоліки: одержання фільтрату із жорсткістю до 0,1 мг-екв/л можливо при пом'якшенні вихідної води із жорсткістю не більш 7 мг-екв/л; відносно висока витрата солі на регенерацію фільтрів; неповне використання ємності поглинання катіоніту; необхідність ретельного контролю за “проскакуванням” солей жорсткості, кількість яких після “проскакування” наростає у фільтрі порівняно швидко; практично неможливе одержання глибокого пом'якшення води із залишковою жорсткістю 0,01–0,02 мг-екв/л.

При двоступеновому катіонуванні перераховані недоліки усуваються.

Число щаблів катіонування визначається вимогами до якості пом'якшеної води. Наприклад, приготування води для парових екранованих котлів, коли потрібне глибоке пом'якшення, здійснюється шляхом двоступеневого Na-катіонування; для тепломереж, коли потрібне зниження тільки карбонатної жорсткості до 0,7 мг-екв/л, досить одноступеневого Na-катіонування з відключенням фільтра на регенерацію при загальній жорсткості фільтрату 0,1–

0,2 мг-екв/л. В одноступеневій схемі вода, що обробляється після фільтру звичайно подається в деаератор, де змішується з конденсатом і після видалення з неї газів, надходить для потреб теплоенергетичного господарства [21].

4.2 Технологічні схеми Н-катіонітових установок.

Н-катіонування води застосовується в схемах пом'якшення й хімічного знесолення води. При пропуску води крізь Н-катіоніт відбувається обмін катіонів, що втримуються в ній, кальцію, магнію й натрію на катіон водню.

Велике поширення в практиці водопостачання одержав метод Н-катіонування з “голодною” регенерацією. Він призначений для обробки природних вод гідрокарбонатного класу з метою зниження їхньої тимчасової жорсткості, лужності й солевмісту; у цих водах жорсткість переважає над лужністю. При застосуванні такої технології для пом'якшення вод сульфатно-хлоридного класу, які відрегенеровані при стехіометричній витраті кислоти іонітовий фільтр у початковий період роботи видає кислий фільтрат. Сутність технології полягає в тому, що при сорбції карбонатів слабкокислотними функціональними групами рівновага зрушена у бік утворення сольової форми іоніту за рахунок виділення слабкодисоційованої вуглекислоти. Однак цей метод дозволяє вирішувати більш вузьку проблему: його застосуванням не можна змінити склад аніонів сильних кислот в воді, що обробляється, підвищити абсолютний або відносний вміст бікарбонатів у фільтраті [22].

4.3 Технологічні схеми Н- Na-катіонітових установок

Схема послідовного Н-Na-катіонування з “голодною” регенерацією водень-катіонітових фільтрів передбачає пропуск води спочатку крізь Н-катіонітовий фільтр, що працює в режимі “голодної” регенерації, потім вона через буферний фільтр, що саморегенерується, надходить у декарбонізатор і далі проходить через Na-катіонітовий фільтр.

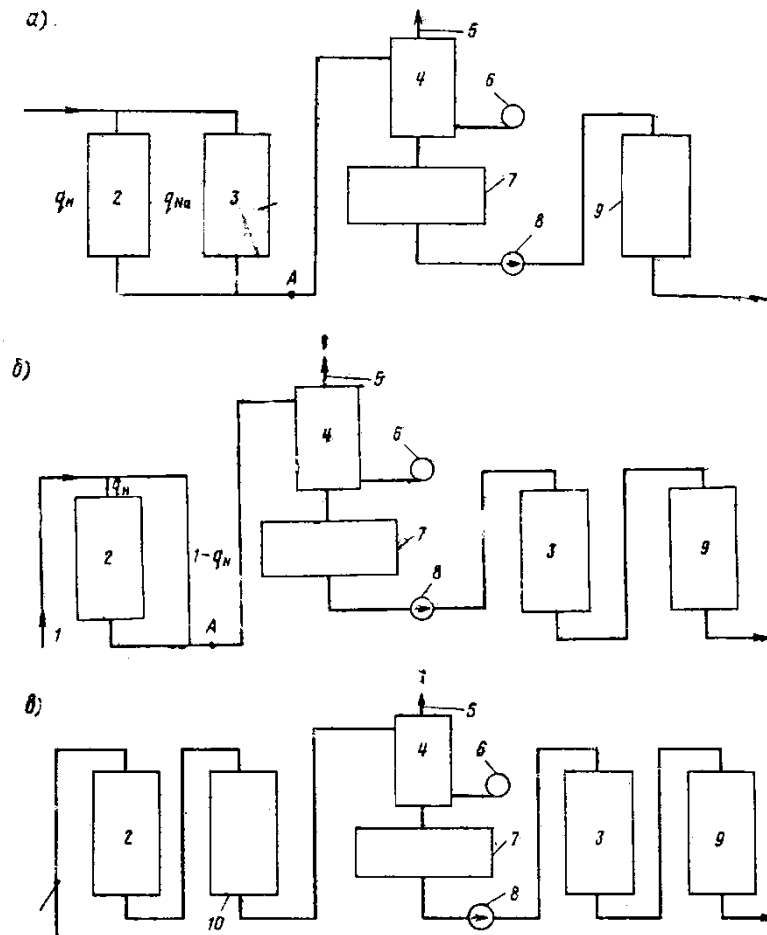


Рисунок 4.3 – Комбіновані схеми Н-Na-катіонування [23]

а – паралельна; б – послідовна; в – послідовна з “голодною” регенерацією Н-катіонітових фільтрів: 1 – підведення проясненої води; 2 – катіонітовий фільтр; 3 – Na-катіонітовий фільтр першого щабля; 4 – декарбонізатор; 5 – від вуглекислоти; 6 – вентилятор; 7 – проміжний бак; 8 – насос; 9 – Na-катіонітовий фільтр другого щабля; 10 – буферний фільтр, що саморегенерується.

Після Н-катіонітового фільтра, що працює в режимі “голодної” регенерації, відбувається зниження тільки карбонатної жорсткості й лужності води до 0,7-1,5 мг-екв/л. Для зменшення коливання лужності й запобігання проскакування кислоти у воду після Н-катіонітових фільтрів використовуються буферні фільтри, які поглинають зайву кислоту. Обробка води за цією схемою забезпечує зниження лужності, солевмісту й призводить до зниження вмісту вуглекислоти в парі.

Схема паралельного водень-натрій-катіонування наведена на рисунку 4.3а. Схема звичайно застосовується при $J_{\text{к}} > 0,5 J_0$ й $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^- \leq 7$ мг-екв/кг. Вміст заліза в воді, що обробляють, не повинен перевищувати 0,5 мг/кг.

Схема паралельного H-Na-катіонування вимагає захисту каналізаційної системи від кислотної корозії або нейтралізації кислих вод перед скиданням їх у каналізацію [4].

Сумісне H-Na-катіонування проводиться в одному фільтрі, верхнім шаром завантаження якого є H-катіоніт, а нижчим – Na-катіоніт. Перевагою даної схеми є відсутність кислих стоків, недоліком – складність регенерації для отримання верхнього шару H-катіоніту і нижнього шару Na-катіоніту.

4.4 Технологічні схеми NH_4 -Na- катіонітових установок

Схема NH_4 -Na-катіонування за своїми результатами аналогічна комбінованим схемам H-Na-катіонування. Весь потік води, що обробляється, поділяють на дві частини й подають на NH_4 -Na-катіонітові фільтри першого, а потім другого щабля. Після фільтрів другого щабля вода змішується й подається в деаератор і далі в паровий котел. У випадку одноступеневого NH_4 -Na-катіонування вода після фільтрів подається в деаератор. При спільній схемі NH_4 -Na-катіонування процеси здійснюються в одному фільтрі. Спільна схема також може бути одноступеневою або двоступеневою. NH_4 -Na-катіонування води застосовується для пом'якшення води й зниження її лужності й солевмісту, а також вмісту вуглекислоти в парі. При такій схемі не потрібно кислототривких арматур, а також кислотостійких матеріалів, протикорозійних покриттів всіх арматур і трубопроводів, не потрібне кислотне господарство й нейтралізація кислих стоків. Даний спосіб використовується в промислових котельнях при відсутності теплообмінників з латунними трубами [24].

4.5 Технологічні схеми Na-Cl-іонування

У ряді випадків, як показує аналіз, для запобігання утворення накипу кращим може виявитися Na-Cl-іонування, зокрема, коли передбачається утилізація залишкових розсолів з одержанням NaCl без домішки Na_2SO_4 . При Na-Cl-іонуванні потрібна глибоке очищення води, у першу чергу від сульфат-іонів, що досягається на відносно дорогих й складних в експлуатації

протиточних фільтрах. При Na-Cl-іонуванні, що передбачає одночасне видалення іонів жорсткості й сульфат-іонів, можуть бути допущені більш високі рівні залишкових концентрацій іонів, що видаляються, та використані прості в конструкції й відносно дешеві прямоточні фільтри. У цьому режимі не потрібна установка кислотостійкого устаткування. Застосування Na-Cl-іонування дозволяє також реалізувати роздільне концентрування катіонів (кальцію, магнію) і аніонів (сульфатів, бікарбонатів) і забезпечувати виділення в осад бікарбонату й сульфату кальцію, а також карбонату кальцію й гідроксиду магнію після обробки змішаного стоку вапном.

Таким чином, метод Na-Cl-іонування дозволяє знизити жорсткість води до 0,01 мг-екв/кг, лужність-до 0,2 мг-екв/кг і зменшити вміст вуглекислоти в парі. Схему Na-Cl-іонування рекомендується застосовувати при відношенні бікарбонатної лужності до суми сульфатів, нітритів і нітратів більшому або рівному 1, вмісті аніонів сильних кислот не більш 3 мг-екв/кг. У воді, що надходить на аніонний фільтр, повинні бути відсутні органічні речовини й залізо. До числа факторів, що ускладнюють використання схеми Na-Cl-іонування, відносяться: застосування дорогих і дефіцитних сильноосновних аніонітів; необхідність видалення з води сполук заліза й органічних речовин, що для обігових вод не завжди економічно доцільно; збільшення корозійної активності через надходження у воду іонів натрію й хлору, особливо при кипінні її в котлі [25].

4.6 Комбіновані схеми іонообмінних водопом'якшувальних установок

У практиці очищення обігової води та води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту широко застосовуються комбіновані методи, складовою частиною яких є метод іонного обміну.

Одним із прогресивних методів очищення води, що може бути використаний на підприємствах залізничного транспорту є спосіб, наведений на рис 4.4 [26].

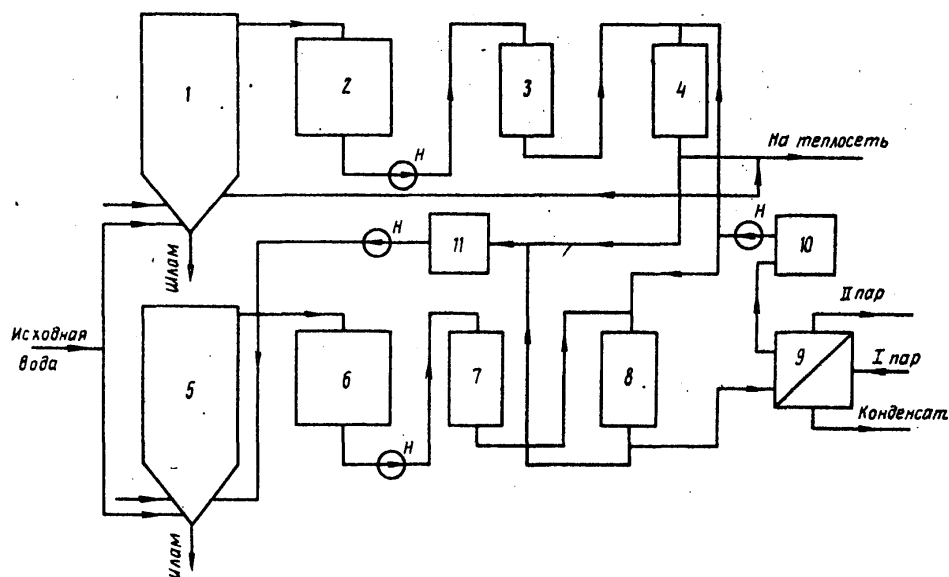


Рисунок 4.4 – Комбінована схема водопідготовчої установки [26]

1, 5 – прояснювачі ; 2, 6, 10 – збірні баки; 3, 7 – фільтри механічні; 4, 8 – катіонітові фільтри; 9 – випарник.

Установки безперервної електродеіонізації нового покоління являють собою комбінацію іонного обміну, мембранних технології й електродіалізу [40].

Основний принцип безперервної електродеіонізації зводиться до наступного: вода подається в напірні канали, утворені іонселективними мембранами. Простір каналів займають катіоніт та аніоніт. Крайні канали зв'язані з катодом і анодом, що створюють постійне електричне поле. У сполученні зазначених процесів, створюються умови безперервного видалення розчинених солей і інших заряджених часток. Сконцентровані солі попадають у трансмембранну зону напірного каналу й виводяться з нього, як потік концентрату. Співвідношення потоків « фільтрат-концентрат » становить 95% до 5%. Середня селективність становить 99,6%.

Для забезпечення експлуатаційної стабільності фільтрів-деіонізаторів, на виробництві бажано мати стандартний вузол зовнішньої рециркуляції, що складається з напірної ємності й насоса, що підкачує.

Метод часткового знесолення води “ Сул-Бисул ” розроблений компанією “Halco Camical”. Його перевага в порівнянні із традиційною технологією пов'язана з виключенням витрат гідроксиду натрію на знесолення води.

Технологія включає обробку вихідної води шляхом послідовного фільтрування крізь сильнокислотний сульфокатіоніт і високоосновний аніоніт. Регенерація катіоніту не відрізняється від традиційної й здійснюється сильною мінеральною кислотою, наприклад, сірчаною. Режим експлуатації аніоніту принципово відрізняється від традиційного, коли для знесолення води застосовується гідроксильна форма іоніту, а її регенерація здійснюється гідроксидом натрію. В “Сул-Бисул”-процесі на стадії знесолення води застосовується аніоніт у сульфат-формі. При фільтруванні води, що пройшла Н-катіонування крізь шар аніоніту, сульфатна форма іоніту переходить у бісульфатну, що супроводжується додатковою сорбцією аніонів сильних кислот, а отже, і зниженням мінералізації води. Регенерація аніоніту здійснюється вихідною водою. Завдяки нейтральній реакції середовища й наявності у вихідній воді бікарбонатів, що надають буферність системі, рівновага між бісульфат-сульфатною формами аніоніту зміщується у бік утворення останньої з виділенням у розчин десорбованих аніонів сильних кислот. Результати випробувань Сул-Бисул процесу показали, що для його успішного й економічно виправданого застосування необхідне виконання наступних умов:

- солевміст вихідної води не повинен перевищувати 2 г/л у перерахуванні на карбонат кальцію;
- відношення концентрацій сульфатів і хлоридів, у вихідній воді повинне бути не менш 9;
- лужність вихідної води повинна становити не менш 10 % від загального вмісту аніонів.

Метод рекомендовано для знесолення води з високою жорсткістю й малим вмістом іонів натрію, але найкращі результати отримані при знесоленні вод з високим вмістом сульфату кальцію й значної бікарбонатною лужністю. Регенерація аніонообмінника в цьому методі може здійснюватися вапняним молоком [27].

“Десал”-процес розроблений компанією “Rohm and Haas”. Класичний варіант технології включає знесолення води в три стадії. Вихідна вода

послідовно фільтрується крізь слабоосновний аніоніт у бікарбонат-формі, потім крізь слабокислотний катіоніт. Аніони сильних кислот вихідної води обмінюються на бікарбонат-іони, що дозволяє застосовувати слабокислотний катіонообмінник для видалення з води катіонів на другій стадії. При Н-катіонуванні води в розчин виділяється вуглекислота, що поглинається слабоосновним аніонообмінником у ОН-формі на третій стадії. Для регенерації аніонообмінника, насиченого аніонами сильних кислот, застосовують розчин аміаку. Відрегенований аніоніт використовують на третій стадії процесу для поглинання вуглекислоти, а насичений вуглекислотою сорбент на першій стадії для поглинання аніонів сильних кислот із вихідної води. Слабокислотний катіонообмінник регенерується практично стехіометричною кількістю сильної кислоти. Можлива також його регенерація розчином вуглекислоти при підвищеному парціальному тиску діоксиду вуглецю в рівноважній газовій фазі. Надлишок аміаку, який застосовується для регенерації низькоосновного аніоніту, може бути вилучений з відпрацьованих регенераційних розчинів, наприклад, віддувкою повітрям і потім повторно використаний у наступному циклі для регенерації аніоніту.

Таким чином, “Десал”-процес може здійснюватися при стехіометричній витраті реагентів, що, з одного боку, знижує вартість іонообмінної технології знесолення води, а з іншої, в 1,5-2 рази зменшує скид мінеральних забруднювачів зі стічними водами.

Модифікацією технології “Десал” є двостадійний процес, у якому третя стадія обробки аніонітом катіонованої води замінена на її декарбонізацію, а насичення ОН-форми аніоніту вуглекислотою здійснюється при регенерації іоніту. Техніко-економічні розрахунки показали, що “Десал”-конкурентноспроможен відносно інших методів знесолення солонуватих вод при солевмісті останніх до 2 г/л [28].

Метод “Карикс” дозволяє регулювати лужність (вміст бікарбонатів) у технічній воді, що вигідно відрізняє його від Н-катіонування з “голодною” регенерацією слабокислотного катіоніту. Лужність води, обробленої останнім

методом, у середньому становить 0,7 мг-екв/л і залежно від аніонного складу води може істотно змінюватися протягом фільтроциклу, досягаючи низьких значень (0,2-0,3 мг-екв/л). Метод “Карикс” дозволяє як знижувати, так і підвищувати лужність вихідної води. Наприклад, при обробці вихідної води із жорсткістю 10,8 мг-екв/л, лужністю 6,2 мг-екв/л, вмістом сульфатів і нітратів відповідно 3,7 і 0,6 мг-екв/л. Вміст бікарбонатів протягом фільтроциклу коливався в межах 3,2-4,7 мг-екв/л при жорсткості фільтрату 5-8 мг-екв/л. В описаному прикладі іонування води здійснювалося з метою її часткового пом'якшення із застосуванням суміші іонітів в об'ємному співвідношенні 1:1 при регенерації сорбентів вуглекислим газом без додавання карбонату кальцію. Середня за фільтроцикл жорсткість фільтрату склала ~ 50 % від вихідної [29].

Головним недоліком методу “Карикс” є низька робоча обмінна ємність іонітів, що по оцінках, заснованих на графічному матеріалі, становить як для катіоніту, так і для аніоніту не більш 0,2 мг-екв/дм³. Зіставлення цієї величини з повною обмінною ємністю іонітів Амберлаит і Леватит, які застосовуються, показує, що в технологічному процесі використовується не більш 15% ємності аніоніту. Для катіоніту аналогічний параметр ще менше, але становить 30-40 % від величини робочої обмінної ємності, що досягається при регенерації слабкокислотних катіонітів сильними кислотами в “голодному” режимі.

Аналогічні технічні показники має система пом'якшення та демінералізації води “Ионсорб”, де передбачається переробка відпрацьованого регенераційного розчину на установці зворотного осмосу. Така операція приводить до додаткового зменшення кількості розчинених у воді солей у стоках іонообмінної установки.

5. Дослідження можливості використання сучасних іонітів у підготовці води для теплоенергетичних установок залізничного транспорту

5.1 Вибір оптимальної технології іонообмінного очищення води

Аналіз літературних джерел однозначно свідчить про складність завдання вибору оптимальної технології іонування, необхідність врахування великої кількості факторів, основними з яких є параметри роботи обладнання (температура, тиск), склад вихідної води, продуктивність установки, наявність іонітних фільтрів тієї чи іншої конструкції, доступність іонітів тієї або іншої марки, умови утилізації залишкових розсолів, наявність матеріалів, стійких до дії розчинів HCl. Тому спочатку вибір технологій іонування, здатних вирішити задачу забезпечення безнакіпний роботи того чи іншого обладнання, повинен проводитися на основі технологічного критерію, яким є ступінь очищення води. При наявності декількох технологій, які відповідають цьому критерію, подальший відбір слід проводити з екологічними та техніко-економічними критеріями. Коефіцієнт екологічності технології (відношення кількості іонів, що скидаються до кількості солей, що надходять з вихідною водою) повинен бути близький до одиниці. Подальше рішення задачі зводиться до розрахунку питомих приведених витрат для кожної з альтернативних технологій і вибір технології за мінімум витрат, а також до пошуку оптимальних умов організації процесу, так званого глобального мінімуму (підбір типорозміру фільтра і числа працюючих фільтрів). При вирішенні цього завдання доводиться враховувати, що промисловістю випускаються іонітні фільтри стандартних типу розмірів (діаметром 1; 1,5; 2; 2,6; 3; і 3,4 м). Тому оптимізацію технологічної схеми пропонується заснувати на принципі підбору типу розміру фільтра і кількості фільтрів, що працюють. Для установок середньої та великої продуктивності в якості одиничного елемента пом'якшення доцільно використовувати блок, що складається з двох послідовно включених фільтрів.

Відповідно до зазначеного принципу пошук оптимальних умов може бути здійснений за такою схемою [30]:

1. Приймаються до установки фільтри з різними діаметрами і для кожного значення кількості працюючих блоків ($1 \leq n_{p.б.} \leq 10$); зі співвідношенням 5.1:

$$n_{p.б.} t_{рег.} = n_{p.б.} T \quad (5.1)$$

Визначається відповідне значення кількості блоків, що регенеруються – $n_{p.б.}$ при цьому тривалість регенерації $t_{рег.}$ може бути прийнята рівною 2,5-3, а межрегенерацийний період T розрахований за формулою 5.2:

$$T = 24 / N - t_{рег.} \quad (5.2)$$

Де N – кількість регенерацій блоку на добу, $1 \leq N \leq 3$.

2. Визначається кількість встановлених блоків за формулою 5.3:

$$n_{y.б.} = n_{p.б.} + n_{p.б.} + 1 \quad (5.3)$$

3. З урахуванням вартості кожного фільтра і обсягу матеріалу (іоніту), що завантажують визначається залежність капітальних витрат від числа встановлених блоків і типу розміру фільтрів за формулою 5.4:

$$Z_k = f(n_{y.б.}, D) \quad (5.4)$$

4. Для кожного значення чисел $n_{p.б.}$ і N розраховується відповідне значення швидкості фільтрування і розраховується за формулою 5.5:

$$v = n_{p.б.} \cdot h \cdot E_p \cdot N / (C_{вих.} - C_{зал.}) 24 \quad (5.5)$$

де h – висота завантаження, для одного фільтра приймається стандартної 2,5 або 3,3 м, для блоку подвоюється;

$C_{вих.}$, $C_{зал.}$ – вихідна і залишкова концентрація іонів, що вловлюються;

E_p – робоча обмінна ємність іоніту: розраховується на підставі раніше розроблених моделей в залежності від іонного складу вихідної води і швидкості фільтрування води. Оскільки E_p залежить від v , то розрахунок v ведеться методом проб і помилок.

5. Установлюється залежність експлуатаційної складової витрат на іонування від $n_{p.б.}$ і D – $Ze = \varphi(n_{p.б.}, D)$.

6. Для кожного значення $n_{p.б.}$ і відповідного значення v розраховується продуктивність установки розраховується за формулою 5.6:

$$Q = 0,785 n_{p.б.} v D^2 \quad (5.6)$$

За отриманими даними підбирається таке поєднання $n_{p.б.} - D$, яке забезпечує задану продуктивність установки іонування за умови $Z_k + Z_e \rightarrow \text{мин.}$

Наведена методика носить універсальний характер з точки зору можливості застосування її в будь-який із зазначених вище технологій іонування. Разом з тим, стосовно технології повного пом'якшення Na -катіонуванням, яке як правило, ґрунтується на східчасто-протиточних схемах іонування і передбачає використання сульфовугілля на другому щаблі очищення, зазначений порядок оптимізації може бути віднесений лише до перших щаблів, на частку яких припадає основна частина витрат. Наступний етап оптимізації в даному випадку зводиться до вибору оптимального співвідношення обсягів завантажень іонітів по щаблях.

Під оптимальним повинно розумітися таке співвідношення обсягів завантажень, при якому максимально використовуються робочі обмінні ємності іонітів в обох щаблях.

5.2 Оптимізація процесу пом'якшення води з використанням катіоніту КУ-2-8

Як Na -катіоніт в даний час в водопом'якшувальних установках котелень залізничних підприємств застосовується сульвугілля з розміром зерен 0,5-1,2 мм і повною обмінною ємністю 300 г-екв/м³. Термін служби без заміни за паспортом становить 8-10 років.

Нами в якості Na -катіоніту запропоновано використовувати катіоніт КУ-2-8, виробленої хімічним комбінатом м Черкаси.

Заміна сульфовугілля ($E_{\text{повн.}} = 300 \text{ г-екв /м}^3$) на катіоніт КУ-2-8 з повною обмінної ємністю до 1800 г-екв/м³ призводить до зменшення обсягу катіонітового завантаження, а отже площі фільтрів; підвищення коефіцієнта регенерації іоніту, підвищує ефективність і економічність процесу пом'якшення води.

У табл. 5.1. наведені технологічні дані для контролю за експлуатацією Na -катіонітових фільтрів.

5.3 Рекомендації з проведення процесів знесолення води з використанням катіоніту КУ-2-8

В процесі роботи катіонітового фільтру виконуються наступні операції:

- а) розпушування;
- б) регенерація;
- в) відмивання в дренаж;
- г) відмивання в бак;
- д) пом'якшення.

Схеми руху води і розчинів солі при виконанні різних операцій наведені на рис.5.1

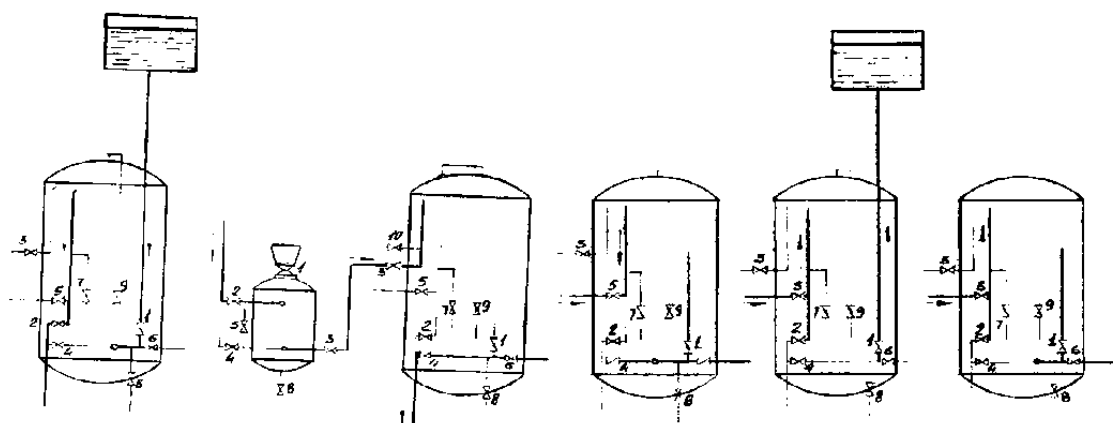


Рисунок 5.1 – Схеми руху води і розчинів солі :

- а) розпушування; б) регенерація; в) відмивання в дренажну систему; г) відмивання в бак; д) пом'якшення.

Таблиця 5.1 – Технологічні дані для розрахунку і контролю за експлуатацією Na-катіонітових фільтрів.

Показники	Значення показників для фільтрів	
	Першого ступеня	Другого ступеня
1	2	3
Висота шару катіоніту, м	2-2,5	1,5
Крупність зерен катіоніту, мм	0,5-1,1	0,5-1,1
Швидкість фільтрування, м / год (в чисельнику-нормальна, в знаменнику-найбільша при регенерації одного з фільтрів) при загальній жорсткості води, мгЕ / кг:		
до 5	25/35	40/50
до 10	15/25	-
до 15	10/20	-

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
Втрата напору на фільтрах, МПа.102, при швидкості фільтрування, м / год:		
10	5(6)	-
20	5(7)	-
30	6(9)	-
40	7(11)	13
60	9(14)	14
Розпушуюче промивання катіоніту: інтенсивність I, кг / (м ² с) тривалість t _{взр.} , хв.	4(3) 30(15)	4(3) 30(15)
Питома витрата харчової солі на регенерацію, г / г-екв, при двухступеновому катіонуванні і жорсткості води, що обробляється, мг-екв / л:		
до 5	100-200	300-400
до 10	120-200	-
до 15	170-250	-
Концентрація регенераційних розчинів C _{pp} ,%	5-8	8-12
Швидкість пропуску регенераційного розчину V _{pp} , м/год	3-4	3-5
Робоча обмінна ємність катіоніту, г-екв / м ³	За формулою	250-300
Відмивання катіоніту від продуктів регенерації: швидкість пропуску відмивної води, вв., м / год питома витрата отмивочной води, м ³ /м ³ , при завантаженні фільтра:	6-8	6-8
сульфувугіллям	4	6
катіонстом КУ-2-8	6	8
Загальна тривалість регенерації, год, при завантаженні фільтра:		
сульфувугіллям	2	2,5-3,5
катіонітом КУ-2-8	3-4,5	3,5-5,0

Примітка. У дужках дані значення для катіоніту з розміром зерен 0,3-0,8 мм.

5.3.1 Розпушування катіонітового завантаження фільтру

Призначення цієї операції усунути ущільнення маси катіоніта, що злежалася, з тим, щоб забезпечити більш вільний доступ регенераційних розчинів до зерен іоніту.

При цьому також відбувається видалення з фільтра дрібних частинок, що перебували в шарі катіоніту, які вносяться сирогою водою і соляним розчином, а також утворюються внаслідок поступового зносу катіоніту в процесі експлуатації фільтра.

Розпушування катіоніту проводиться відмивною водою від попередньої регенерації, вода подається вниз фільтра самопливом з вище розташованих баків для розпушування катіонітових фільтрів, або за допомогою насосів.

Спочатку відкривають повністю засувку 1 на лінії підведення води, що розпушує, потім відкривають засувку 2 на зливному трубопроводі. Засувка 2 повинна відкриватися плавно, щоб уникнути поштовхів, що можуть викликати винос катіоніту з фільтра або перемішування його з кварцовою підстилкою (у фільтрів старої конструкції).

Незалежно від якості вихідної води і умов роботи фільтра розпушування необхідно проводити перед кожною регенерацією.

При розпушуванні катіоніту швидкість потоку води, що розпушує встановлюється дослідним шляхом. Ця швидкість повинна забезпечувати збільшення обсягу катіоніту у фільтрі не більше, ніж в 1,5 рази. Для типових фільтрів з висотою шару катіоніту 1,5-2,0 м швидкість потоку води, що розпушує, повинна бути наступна:

- 1) 10-12 м / год при розпушуванні КУ-2-8 розміром 0,25-0,7 мм;
- 2) 20-23 м / год при розпушуванні КУ-2-8 розміром 0,5-2,0 мм.

Розпушування катіоніту триває до моменту прояснення зливних вод і відсутності в них великої кількості зерен катіоніту, що повільно осідають. Тривалість розпушування катіоніту зазвичай становить 10-15 хв.

При розпушуванні неприпустимо повне спорожнення промивного бака щоб уникнути підсосу повітря у фільтр, що призводить до зниження працездатності фільтра. Після закінчення розпушування необхідно закрити дренажну засувку на зливному трубопроводі і потім засувку на лінії води, що розпушує.

5.3.2 Регенерація катіоніту

Регенерація виснаженого катіоніту починається після розпушування. Регенерацію фільтрів виконують заздалегідь заготовленим розчином кухонної

солі ("мокре зберігання"), при якому готується насичений 25% розчин NaCl в спеціальному резервуарі.

З резервуара насичений розчин періодично подають в бак в кількості, необхідній для приготування 8-10% розчину, який і подають в фільтр для регенерації катіоніту.

При вмісті великих забруднень насичений розчин фільтрують або відстоюють.

При відсутності пристроїв для попереднього приготування і зберігання розчину солі, регенерацію фільтрів виконують за допомогою солерозчинників.

Для цього спочатку повністю відкривають засувку 2 і 3 підготовленого до роботи солерозчинника, потім відкривають засувку 3 на солепроводі фільтру і засувку 4 на трубопроводі для скидання води в каналізацію. При регенерації фільтра через солерозчинник потрібна (розрахована) кількість солі завантажуються в солерозчинник і розчиняється сирою водою, а потім за рахунок тиску водопровідної води (швидкість води не більше 1 м / год) цей розчин подається на фільтри через засувку 3 на солерозчиннику. При необхідності зменшення часу регенерації швидкість ця може бути збільшена до 3-4 м/годину. При такій швидкості тривалість пропуску розчину солі становить 12-15 хв.

5.3.3 Відмивання катіоніту зі скидом води в дренаж

1) Після закінчення регенерації, тобто після припинення подачі розчину кухонної солі в фільтр, на ньому повністю відкривають засувку 5 для подачі вихідної води і закривають засувку 3 на солепроводі.

2) Засувку 4 для спуску з фільтра і дренажу відпрацьованого розчину відкривають так, щоб швидкість фільтрації води становила - 3-4 м / годину.

Тривалість промивки фільтра при такій швидкості становить 40-50 хв. Спуск відпрацьованого регенераційного розчину і отмивних вод в дренаж проводиться доти, поки відмивна вода не стане прозорою і коли її жорсткість не буде перевищувати 0,5-0,7 мг-екв / л.

3) після припинення відмивання фільтра в дренаж закривають засувку 4 і відкривають засувку 1 для подачі промивної води в бак (бак збору води для розпушування і відмивання).

Відбирають проби для визначення залишкової жорсткості в пом'якшеній воді. При досягненні жорсткості 0,08-0,04 мг-екв / л фільтр воду перемикають на поживний бак. Під час роботи фільтру (пом'якшення) через кожні 2 години проводяться відбір проб води для експрес-аналізу.

Під час роботи фільтра (пом'якшення) слід періодично через кожні 1,5-2 години відкривати вентиль 9 для випуску повітря, що накопився в фільтрі.

Якщо ж фільтр після регенерації стає в резерв то відмивання фільтра до необхідної жорсткості не проводиться. В цьому випадку відмивання проводиться в дренаж і тільки перед включенням фільтра в роботу проводиться відмивання до необхідної жорсткості в бак розпушування.

5.4 Дослідження впливу домішок води на роботу іонообмінних смол

5.4.1 Визначення основних характеристик вихідних іонітів

Перед початком випробувань щодо визначення найбільш оптимальних умов роботи фільтруючого матеріалу необхідно визначити основні показники і характеристики катіоніту, що використовується.

5.4.1.1 Визначення статичної обмінної ємності

Проводимо випробування згідно вимог ГОСТ 20255.1-89 [40].

Повну статичну обмінну ємність (Π_m) в мілімоль на грам (мгекв / г) обчислюємо за формулою 5.7:

$$\Pi_m = \frac{(V \cdot K_1 \cdot K \cdot V_1 \cdot K_2) \cdot 100}{m \cdot (100 - W) \cdot C} \quad (5.7)$$

де V – об'єм робочого розчину, см^3 ;

K – коефіцієнт, який дорівнює співвідношенню обсягу робочого розчину до об'єму розчину, взятому на титрування;

m – маса іоніта, г;

V_1 – об'єм розчину, який витрачено на титрування проби розчину після взаємодії з іонітом, см^3 ;

C – задана концентрація робочого розчину і розчину для титрування,

$C = 0,1\text{н}$; W – масова частка води, % ;

K_1 і K_2 – коефіцієнти поправки відповідно робочого розчину і розчину для титрування.

1. $m=1.9895\text{г}$

$V=100$

$W=46\%$

$V_1=13.5\text{см}^3$

$K=4$

$C=0.1$

$K_1=1.05$

$K_2=1.05$

$\Pi_m=4.495\text{мг екв/г}$

2. $m=2.0576\text{г}$

$V=100$

$W=46\%$

$V_1=14.2\text{см}^3$

$K=4$

$c=0.1$

$K_1=1.05$

$K_2=1.05$

$\Pi_m=4.082\text{мг екв/г}$

$\Pi_m=4.289\text{мг екв/г}$

Повну статичну обмінну ємність іоніту (Π_v) в мілімоль на кубічний сантиметр ($\text{мг} \cdot \text{екв} / \text{см}^3$) обчислюємо за формулою 5.8:

$$\Pi_v = \frac{(V \cdot K_1 - K \cdot V_1 \cdot K_2) \cdot 100}{m \cdot (100 - W) \cdot V_{\text{уд}}} \quad (5.8)$$

де V – об'єм робочого розчину, см^3 ;

K – коефіцієнт, що дорівнює відношенню обсягу робочого розчину до об'єму розчину, взятому на титрування;

K_1 і K_2 – коефіцієнти поправки відповідно робочого розчину і розчину для титрування;

C – задана концентрація робочого розчину і розчину для титрування $C = 0,1\text{н}$; $V_{\text{уд}}$ – питомий об'єм, $\text{см}^3 / \text{г}$;

W – масова частка води, %; m – маса іоніту, г;

V_1 – об'єм розчину, який витрачено на титрування проби розчину після взаємодії з іонітом, см^3 .

1. $V=100\text{см}^3$

$K=4$

$K_1=1.05$

2. $V=100\text{см}^3$

$K=4$

$K_1=1.05$

$$K_2=1.05$$

$$m=1.9895\text{г}$$

$$W=46\%$$

$$V_1=13.5\text{см}^3$$

$$c=0.1$$

$$V_{\text{уд}}=2.17\text{см}^3/\text{г}$$

$$\Pi_v=2.07\text{мг екв/см}^3$$

$$K_2=1.05$$

$$m=2.0576\text{г}$$

$$W=46\%$$

$$V_1=14.2\text{см}^3$$

$$c=0.1$$

$$V_{\text{уд}}=2.17\text{см}^3/\text{г}$$

$$\Pi_v=1.882\text{мг екв/см}^3$$

$$\Pi_v=1.975\text{мг екв/см}^3$$

5.4.1.2 Визначення динамічної обмінної ємності з повною регенерацією іоніту (ДОЄ₃)

Підготовку до випробування і випробування проводимо згідно вимог ГОСТ 202255.1-89 [40].

Динамічна обмінна ємність (ДОЄ) в молях на кубічний метр до появи іонів робочого розчину в фільтраті обчислюється за формулою 5.9:

$$\text{ДОЄ}_3 = \frac{V_{\phi} \cdot C \cdot 1000}{V_i} \quad (5.9)$$

де V_{ϕ} —загальний об'єм фільтрату, який пропущено крізь іоніт до появи іонів робочого розчину, см^3 ;

C — концентрація робочого розчину, $\text{моль/дм}^3(\text{н.})$;

V_i —об'єм іоніту, см^3 .

$$1. V_{\phi} = 17,5 \text{ л}$$

$$c = 0.01 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ}_3 = 1750 \text{ г екв/м}^3$$

$$2. V_{\phi} = 17,0 \text{ л}$$

$$c = 0.01 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ}_3 = 1700 \text{ г екв/м}^3$$

$$\text{ДОЄ}_3 = 1725 \text{ г екв/м}^3$$

Фактичні витрати регенеруючого розчину (K_{ϕ}) в грамах на моль (г/г*екв) іонів, що поглинаються обчислюємо за формулою (5.10):

$$K_{\phi} = \frac{V_p \cdot C_p}{V_{\phi} \cdot C_p} \quad (5.10):$$

де V_{ϕ} — обсяг регенеруючого розчину, см^3 ;

C_p – концентрація регенеруючого розчину, г / дм³;

V_p – загальний обсяг фільтрату, пропущеного крізь іоніт до появи іонів розчину, моль / дм³ (н.)

$$1. V_{\phi} = 2,3 \text{ л}$$

$$C_p = 5\%$$

$$V_p = 17,5 \text{ л}$$

$$C = 0,01 \text{ н.}$$

$$K_{\phi} = 38 \text{ г/г екв}$$

$$2. V_{\phi} = 2,5 \text{ л}$$

$$C_p = 5\%$$

$$V_p = 17,0 \text{ л}$$

$$C = 0,01 \text{ н.}$$

$$K_{\phi} = 34 \text{ г/г екв}$$

$$K_{\phi} = 36 \text{ г/г екв}$$

Повну динамічну обмінну ємність (ДОЄ_п) в молях на кубічний метр обчислюємо за формулою (5.11):

$$\text{ДОЄ}_{\text{п}} = \frac{(V_{\phi} \cdot C - \sum V_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}}) \cdot 100}{V_i} \quad (5.11)$$

де V_{ϕ} – загальний обсяг фільтрату, який пропущено крізь іоніт до зрівнювання концентрації фільтрату і робочого розчину, см³;

C – концентрація робочого розчину, н;

$V_{\text{п}}$ – обсяг порції фільтрату після появи іонів робочого розчину (проскоку), см³; $C_{\text{п}}$ – концентрація розчину в порції фільтрату після появи іонів робочого розчину (проскоку), н; V_i – обсяг іоніту, см³

$$1. V_{\phi} = 18,0 \text{ л}$$

$$c = 0,01 \text{ н.}$$

$$V_{\text{п}} = 300 \text{ см}^3$$

$$C_{\text{п}} = 0,015 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ}_{\text{п}} = 1755 \text{ г екв/м}^3$$

$$2. V_{\phi} = 18,2 \text{ л}$$

$$c = 0,01 \text{ н.}$$

$$V_{\text{п}} = 350 \text{ см}^3$$

$$C_{\text{п}} = 0,015 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ}_{\text{п}} = 1767,5 \text{ г екв/м}^3$$

$$\text{ДОЄ}_{\text{п}} = 1761,3 \text{ г екв/м}^3$$

5.4.1.3. Визначення динамічної обмінної ємності з заданими витратами регенеруючої речовини (ДОЄ_з)

Підготовку до випробування, випробування і обробку результатів проводимо згідно ГОСТ 202255.1-89 [40].

Динамічна обмінна ємність (ДОЄ) до появи іонів робочого розчину в фільтраті:

$$1) V_{\phi} = 23 \text{ л}$$

$$c = 0.0035 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ} = 805 \text{ г екв/м}^3$$

$$2) V_{\phi} = 24 \text{ л}$$

$$c = 0.0035 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ} = 840 \text{ г екв/м}^3$$

$$\text{ДОЄ} = 822,5 \text{ г екв/м}^3$$

Повна динамічна обмінна ємність (ДОЄ_п):

$$1) V_{\phi} = 23500 \text{ см}^3$$

$$c = 0.0035 \text{ н.}$$

$$V_{\pi} = 250 \text{ см}^3$$

$$C_{\pi} = 0,003 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ}_{\pi} = 815 \text{ г екв/м}^3$$

$$2) V_{\phi} = 24600 \text{ см}^3$$

$$c = 0.0035 \text{ н.}$$

$$V_{\pi} = 220 \text{ см}^3$$

$$C_{\pi} = 0,003 \text{ н.}$$

$$V_i = 100 \text{ см}^3$$

$$\text{ДОЄ}_{\pi} = 854,4 \text{ г екв/м}^3$$

$$\text{ДОЄ}_{\pi} = 834,7 \text{ г екв/м}^3$$

Порівнюючи отримані в результаті випробувань фізико-хімічні показники промислових партій катіоніту КУ-2-8 (Черкаський хімічний завод), можна зробити висновок, що показники якості катіонітів, відповідають вимогам.

У роботі проводилося кількісне вивчення впливу вмісту антропогенних забруднювачів (нафтопродуктів, СПАР, ПКОВ) в воді, яка піддається знесоленню та пом'якшенню, на працездатність іонітів КУ-2-8 і АМ-п. У досліджах використані іоніти, що мають початкову ДОЄ 820 гЕ/м³ (КУ-2-8) і 710 гЕ/м³ (АМ-п), 770 гЕ/м³ (АВ-17-8) нафтопродукти (бензин автомобільний марки А-80, дизельне паливо марки - Л і вакуумне масло марки - ВМ-6), а також сульфат магнію, гідрокарбонат кальцію, хлорид натрію, соляна кислота і гідроксид натрію кваліфікації «х.ч.». Всі розчини приготовані на дистильованій воді, вміст нафтопродуктів в якій не перевищує 0,12 мг/л і враховувався в розрахунках.

Умови роботи іонообмінного фільтра моделювали за допомогою лабораторної установки (рис.5.2).

Колонку 6 діаметром $d = 50$ мм завантажували катіонітом або аніонітом ($V_i = 451\text{см}^3$). Воду з вихідною жорсткістю фільтрували крізь колонку зі швидкістю до 1 м / год і визначали такі показники якості іоніту:

- Повну статичну обмінну ємність;
- динамічну обмінну ємність:
- з повною регенерацією іоніту (ДОЄ_p);
- із заданою кількістю регенеруючого розчину (ДОЄ_3).

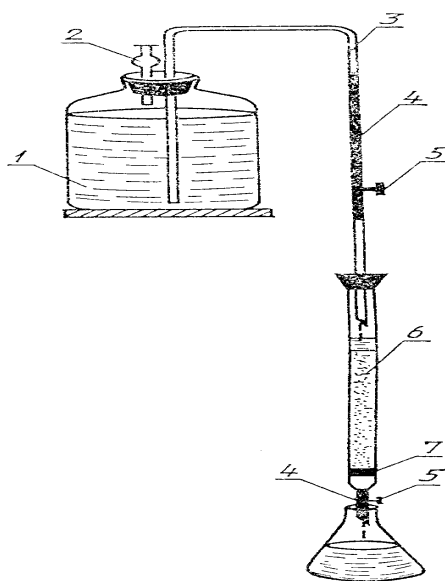


Рисунок 5.2 – Схема лабораторної установки [30]:

1 – ємність; 2 – хлоркальцієва трубка з поглиначем ХПП-1; 3 – скляна трубка; 4 – гумовий шланг; 5 – гвинтовий затиск; 6 – скляна трубка (діаметр 25 мм, висота не менше 600мм), завантажена іонітом; 7 – фільтр типу ФКП ПОР 250 ХС.

5.4.2 Вплив НПАР на процеси іонообмінного знесолення води

Дуже часто промислові підприємства скидають стічні води, що містять органічні речовини, зокрема неіоногенні поверхнево-активні речовини (НПАР). Ці речовини забруднюють вихідні та обігові води, які надходять на водопідготовчі установки та дуже часто впливають на роботу іонообмінних смол. Поверхнево-активні речовини (миючі засоби) поділяють на іоногенні (які дисоціюють в воді) і неіоногенні (які не піддаються електролітичній дисоціації). У свою чергу, іоногенні ПАР поділяють на аніонактивні, що несуть

негативний заряд і катіонактивні, які мають поверхнево-активні позитивно заряджені іони, а також амфотерні, що несуть негативні поверхнево-активні іони в лужному середовищі і позитивні – в кислому. Найбільш поширені аніонактивні ПАР. Найважливіші з них: солі сульфокислот і кислих сульфоефірів (алкіл-сульфати, алкіл-сульфонати), сульфовані жири і жирні кислоти. Було відмічено, що речовини типу ОП-7 і ОП-10 дуже слабо поглинаються іонітами, але впливають на обмінні властивості останніх щодо неорганічних іонів. Єдиної думки не було висловлено щодо дії НПАР на робочі характеристики іонітів, що використовуються. Так, в ряді робіт [31] не помічено негативного впливу НПАР на обмінну ємність іонітів КУ-2, АН-31 та ін. і навпаки, в інших [32] показано погіршення обмінної ємності за неорганічними іонами після контакту іонітів з НПАР. Нами встановлено, що після 50 циклів роботи динамічна обмінна ємність (ДОЕ) катіоніту КУ-2 зменшується на 11,8%, аніоніту АВ-17-на 48,8% і аніоніту ЕДЕ-10П-на 51,4%. Також було вивчено вплив НПАР типу ОП-10 на обмінну ємність слабкоосновного аніоніту АН-31, що застосовується в замкнутому циклі водопостачання. В результаті було виявлено, що ОП-10 поглинається аніонітом за механізмом молекулярної сорбції. В результаті регенерації аніоніта звичайними реагентами (NaOH, NaCl і їх суміш) обмінна ємність АН-31 відновлюється на 20-50%. Повна регенерація спостерігається при використанні в якості регенераційних розчинів ізопропілового спирту (6,3 обсягу на 1 обсяг смоли).

5.4.3 Вплив нафтопродуктів на процеси іонного обміну

Однією з домішок, що все частіше зустрічається як в поверхневих, так і в підземних джерелах, є нафтопродукти, що потрапляють в них в результаті протікання, транспортних аварій, скидання неочищених вод та інше. Така ситуація також характерна для обігових вод, що використовуються підприємствами залізничного транспорту.

Нами була зроблена спроба кількісного вивчення впливу вмісту нафтопродуктів у воді, яка піддається пом'якшенню, на працездатність катіоніту КУ-2-8. У дослідях використані іоніти, що мають початкову ДОЕ 850 гЕ/м³ (КУ-2-8), нафта і нафтопродукти (бензин А-80, дизельне паливо - Л, вакуумне масло ВМ-6), а також хлорид кальцію, хлорид натрію, соляна кислота і гідроксид натрію кваліфікації "х.ч.". Всі розчини приготовані на дистильованій воді вміст нафтопродуктів в якій не перевищував 0,16 мг/л і враховувався в розрахунках [33]. Порції нафти зважували з точністю до 0,1мг/л, вводили в ємності певного обсягу, що містять розчини, які використовували в дослідях і інтенсивно перемішували. Хоча в дослідях не виключалася затримка деяких залишкових кількостей нафти на стінках судин, відповідна поправка, зазвичай, була невеликою і не позначалася на загальному характері отриманих залежностей.

Колонки заповнювалися порціями іонітів, після чого стандартні розчини CaCl_2 або NaCl , що містять різні кількості нафти, використовували для визначення ДОЄ.

На рис.5.3-5.8. показані залежності ДОЄ з заданою витратою регенеруючого розчину (ДОЄз) і аналогічної величини до встановлення рівноваги по контрольованим іонам (Ca^{2+} , Mg^{2+}) (ДОЄр) від вмісту нафти і нафтопродуктів в розчині.

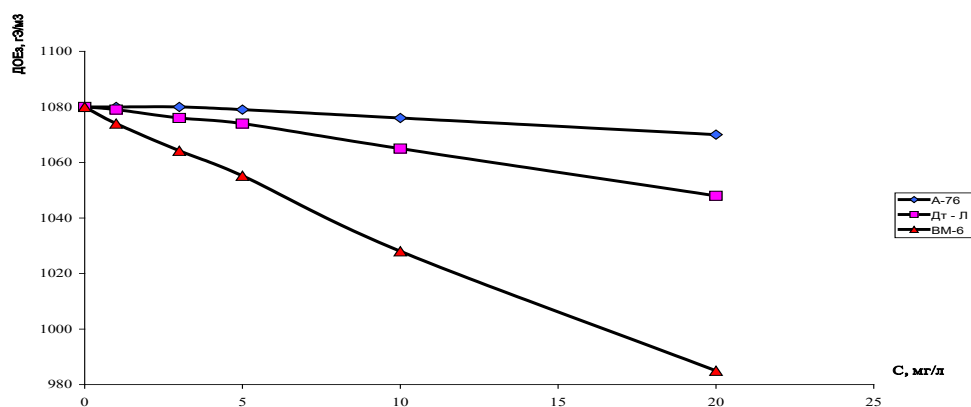


Рисунок 5.3 – Залежність ДОЄ_р від концентрації нафтопродуктів для КУ-2-8

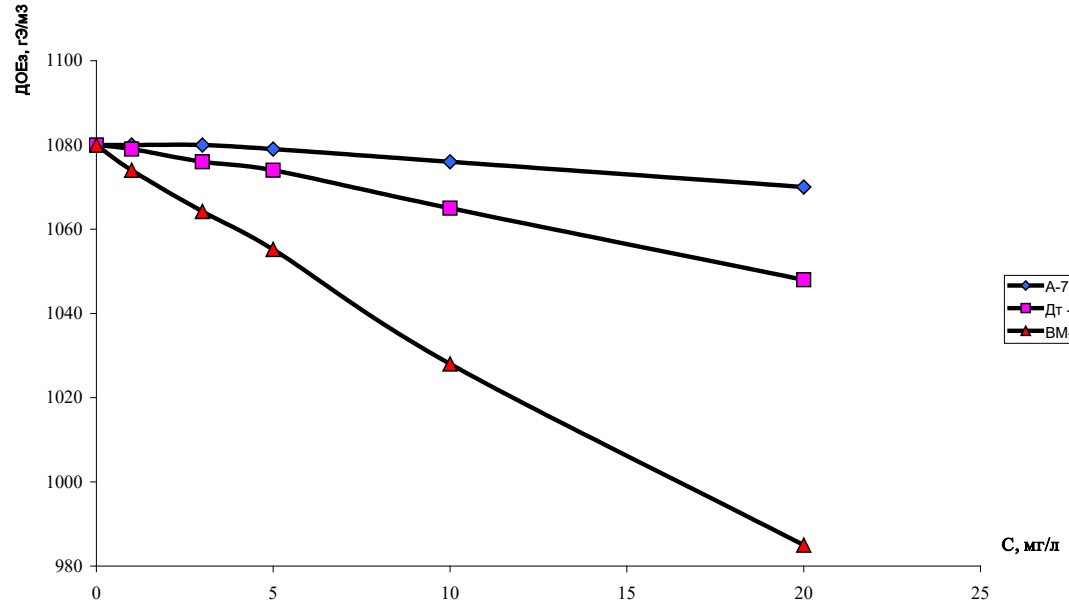


Рисунок 5.4 – Залежність DOE_3 від концентрації нафтопродуктів для КУ-2-8

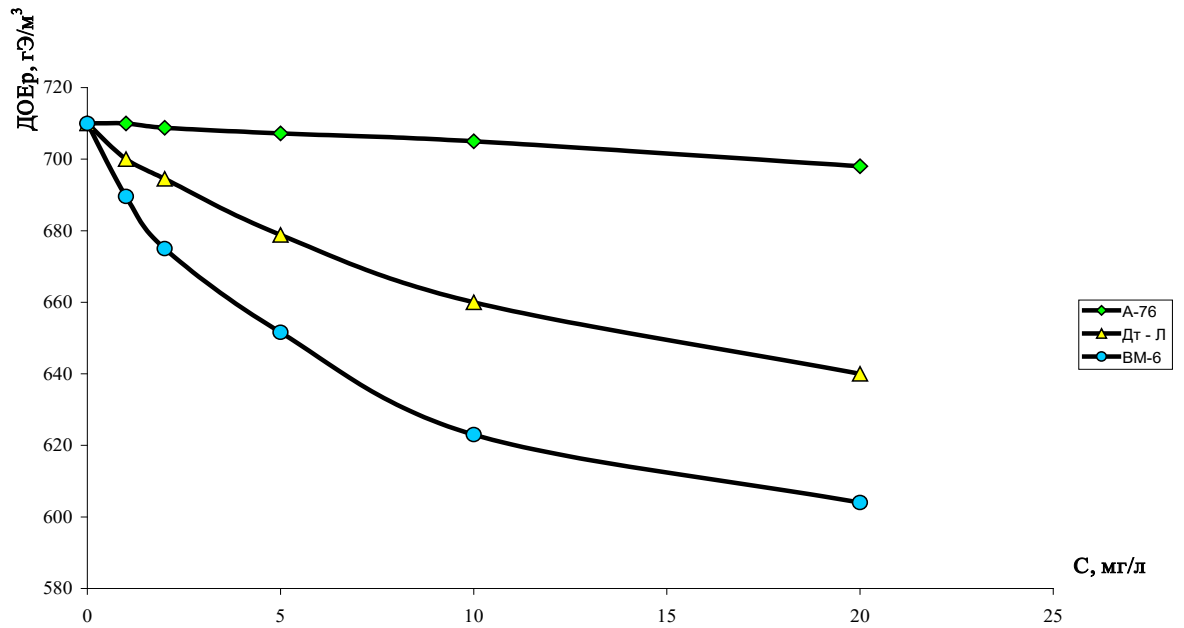


Рисунок 5.5.– Залежність DOE_p від концентрації нафтопродуктів для аніоніту АМ-п.

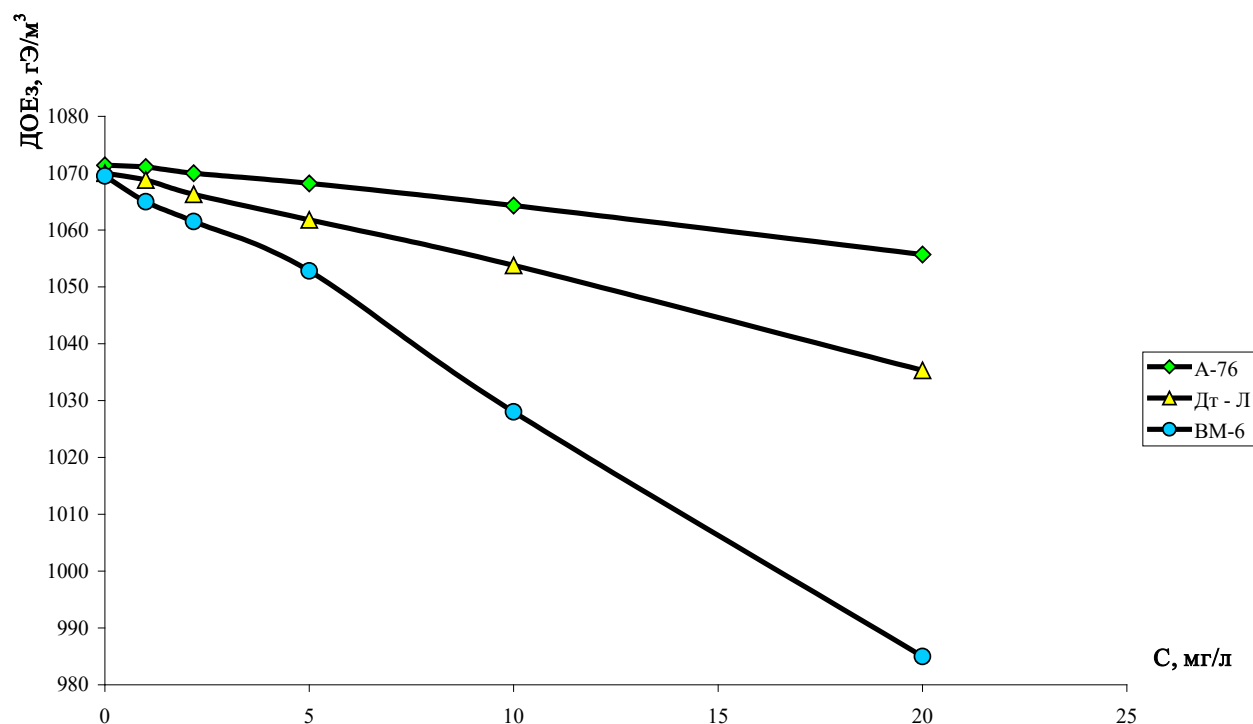


Рисунок 5.6 – Залежність ДОЕз від концентрації нафтопродуктів для аніоніту АМ-п.

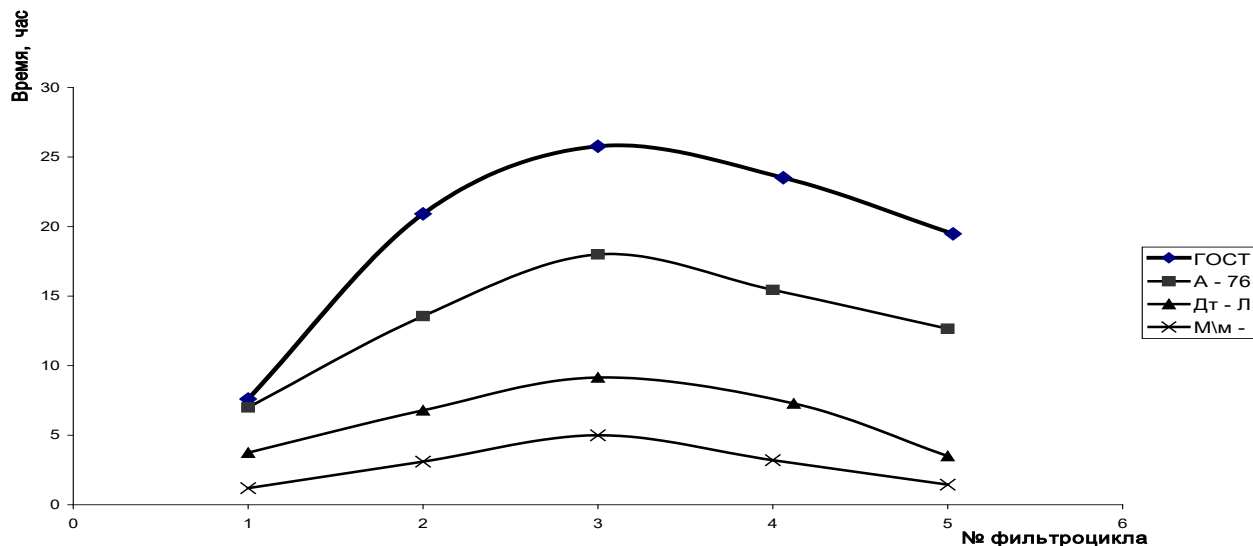


Рисунок 5.7 – Вплив типу нафтопродуктів на тривалість фільтрцикла для катіоніту КУ-2-8.

Збільшення вмісту нафти призводить до систематичного зниження ДОЕ іонітів, при цьому особливо істотні зміни спостерігаються в інтервалі вмісту нафти і нафтопродуктів 70-90 мг / л (див.рис.5.8.) (на 60-62%). Іншими словами,

особливо сильна втрата працездатності іонітів відбувається при деякому пороговому значенні концентрації нафти в умовах визначення ДОЄ [34].

Аналіз результатів наведених на графіках (рис.5.3-5.7) дозволяє зробити висновок, що у всіх випадках, зі збільшенням концентрації досліджуваних нафтопродуктів спостерігається загальна тенденція до зниження обмінних ємностей іонітів. При цьому особливо істотні зниження ДОЄ іонітів спостерігаються в інтервалі вмісту нафтопродуктів 10-20 мг/л. Спостерігається чітко виражене систематичне зниження динамічної обмінної ємності іонітів в ряду: бензин → дизельне паливо → моторне масло. При цьому доречно відзначити, що згідно з отриманих даних (рис.5.7.), в разі моторного масла після дозрівання іонітів різко падає їх здатність до відновлення властивостей в процесі регенерації. А в разі бензину цей процес виражений менш яскраво і показники ДОЄ незначно відхиляються від результатів, отриманих згідно методики [35] з використанням стандартного сольового розчину без нафтопродуктів.

Зіставлення кривих 1 і 2 (рис.5.8) показує, що втрата обмінної ємності іонітів не настільки істотна при наявності у воді значних концентрацій іонів Ca^{2+} . Ймовірно, в нашому випадку спостерігається протікання конкуруючих процесів взаємодії зазначених іонів і молекул нафтопродуктів з поверхнею зерен.

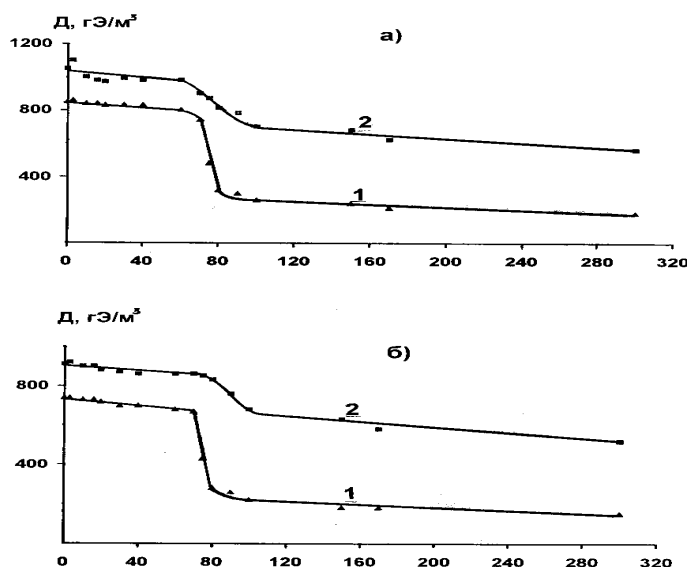


Рисунок 5.8 – Залежність динамічної обмінної ємності ДОЄ від вмісту нафти в воді [36]:

а) -на катіоніті КУ-2-8; б) на аніоніті АВ-17-8;

1—динамічна обмінна ємність до проскоку; 2—повна динамічна обмінна
ємність

5.5 Розробка рекомендацій щодо технології глибокого очищення води для охолодження дизелів методом іонного обміну

Досвід експлуатації тепловозів на залізницях України показує, що в результаті застосування не очищеної води відбувається руйнування систем водяного охолодження. Особливо гостро ця проблема виглядає для районів з підвищеною жорсткістю і мінералізацією природних вод, наприклад, Придніпровська, Південна, Львівська залізниці.

В окремих випадках є спроби вирішення цієї проблеми шляхом використання конденсату близько розташованих котелень, однак великі витрати енергоносіїв і коштів для отримання конденсату збільшують експлуатаційні витрати і з цієї причини в системах охолодження дизелів використовують іноді навіть неочищену воду. Наприклад, в локомотивному депо Мелітополь спроби використання такої води або привізної води призводить до наявності в системах охолодження яскраво вираженою виразкової корозії, що проходить на глибину кількох міліметрів і швидкого порушення герметичності систем. Крім того, локомотивні депо споживають для доливання та ремонту акумуляторних батарей додаткові значні кількості високочистої води, яку вони отримують шляхом дистиляції, що вимагає природно, значних витрат електроенергії [37].

Як приклад практичного застосування розробленої технології нижче нами наведені результати демінералізації води в умовах локомотивного депо Мелітополь.

В результаті проведених аналізів вихідної води, що використовується на одному з типових локомотивних депо, які перебувають в районі з високою мінералізацією, а саме депо ст. Мелітополь, були визначені основні показники води, які наведені в таблиці 5.4. Крім того, в цій воді було проведено

визначення вмісту нафтопродуктів (прилад "Микран") і водневого показника рН. Ці величини склали відповідно: нафтопродукти – 0,058 - 0,005 мг/л, рН = 8,1.

Вміст катіонів лужних металів нами було розраховано з даних таблиці 5.4. і балансу кількостей заряджених частинок.

Як видно з даних таблиці 5.4, в охолоджуючій воді містяться значні кількості активних домішок, що провокують корозію, а також солевідкладення. Так як солі тимчасової жорсткості мають негативний коефіцієнт розчинності, тобто їх розчинність падає зі збільшенням температури, то при роботі систем охолодження в умовах підвищених температур відбувається перенасичення розчину і випадання накипу. Найбільш поширеними відкладеннями в системах охолодження є виділення карбонату кальцію CaCO_3 і гідроксиду магнію $\text{Mg}(\text{OH})_2$, що утворюються в результаті розкладання гідрокарбонатів цих металів[38].

Зазначені осади, які відклалися на поверхні систем охолодження призводять до зниження ефективності роботи дизелів, до перегріву металу, що супроводжується зниженням міцності і деформацією пристроїв. Особливо небезпечним є наявність значних кількостей хлорид-іонів, що перевищують в 13 разів вимоги до охолоджуючої води для дизелів локомотивів [8], а також іонів жорсткості, що перевищує ці вимоги в 90-100 разів.

Крім того, вміст іонів гідрокарбонатів перевищує сумарний вміст іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} . Іншими словами, лужність води підвищена, що підтверджується вимірюванням рН. Найбільш ймовірний сольовий склад води, що досліджується представлений сполуками: NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Вся присутня у воді двоокис вуглецю представлена гідрокарбонатними іонами HCO_3^- .

Нами рекомендовано при підготовці води для систем охолодження двигунів тепловозів використовувати метод знесолення води, заснований на послідовному здійсненні процесів Н-катіонування і ОН-аніонування. Так при знесоленні води ставиться завдання видаляти не тільки катіони жорсткості, але

і натрій, потрібно вимикати Н-катіонітові фільтри на регенерацію за проскоком натрію, який настає значно ранішепроскоку жорсткості.

Таблиця 5.4 – Склад води, яка використовується для систем охолодження дизелів в локомотивному депо станції Мелітополь

Катіони			Аніони			Сухий залишок, мг/дм ³	Вільний зал., хлор, мг/дм ³	Жорсткість, мгЕ/дм ³			Загальна лужність, мгЕ/дм ³
Тип	Концентрація		Тип	Концентрація				загальна	тимчасова	постійна	
	мг/дм ³	мгЕ/дм ³		мг/дм ³	мгЕ/дм ³						
Ca ²⁺	328,7 ± 0,4	4,1 ± 0,1	HCO ₃ ⁻	3050 ± 30	50 ± 0,5	2000 ± 20	2,17 ± 0,01	19,4 ± 0,1	12,41 ± 0,05	7,03 ± 0,05	5000 ± 0,5
Mg ²⁺	743,6 ± 0,5	15,3 ± 0,2	Cl ⁻	381,4 ± 3,5	10,76 ± 0,1						
Fe ³⁺	6,7 ± 0,01	0,01 ± 0,002	SO ₄ ²⁻	1032,4 ± 9,6	21,5 ± 0,2						
Лужні метали (Na ⁺ , K ⁺)	1446	62,9*	NO ₃ ⁻	0,81 ± 0,12	0,01 ± 0,002						

Для отримання фільтрату з меншою залишковою концентрацією катіонів необхідно підвищувати ступінь регенерації катіоніту. В умовах прямооточної регенерації це пов'язано з істотним збільшенням кількості кислоти на регенерацію і зі збільшенням кількості кислоти, що йде на скидання. Так само як і в схемах пом'якшення, для регенерації Н-катіонітових фільтрів ми рекомендуємо використовувати сірчану кислоту через її більшу доступність і меншу вартість, а також менший вплив іонів сульфатів на корозію металів в порівнянні з іонами хлориду.

На першому етапі в результаті Н-катіонування була отримана вода наступної якості: рН = 2,0; сухий залишок-79 мг/л; загальна кислотність-3,2 мгЕ/л; загальна жорсткість-0,005 мгЕ/л.

Виходячи з балансу заряджених частинок, а також з огляду на, що іони

HCO_3^- при Н-катіонуванні руйнуються з утворенням вуглекислоти за рівнянням (5.12):



Співвідношення між вмістом аніонів мінеральних кислот, жорсткістю і іонів H^+ (в мгЕ/л) можна уявити орієнтовним співвідношенням 5.13 :

$$\sum (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{H}^+) = \sum (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-) \quad (5.13)$$

Згідно з даними таблиці 5.4 і результатами визначення загальної кислотності рівняння 5.3 задовольняється з похибкою, що не перевищує 1%. З урахуванням коефіцієнтів активності іонів, вміст мінеральних кислот і виміряне значення рН також знаходяться у згоді [39].

Досліди, поставлені нами щодо обробки вихідної води ОН-аніонуванням, показують, що вміст найбільш небезпечної домішки, що провокує корозію, а саме вміст хлорид-іонів в обробленій воді становить приблизно 1,8 мг/л, тобто знижується в порівнянні з вихідним більш ніж в 200 разів і цілком задовольняє вимогам до охолоджувальної води дизелів локомотивів. Отримання перших порцій очищеної води дає можливість використання її для доливання та ремонту акумуляторних батарей, тому що вона цілком відповідає необхідним вимогам за вмістом хлорид-іонів (не більше 0,2 мг/л) і жорсткості (не більше 0,1 мгЕ / л).

Схема іонообмінної установки для отримання води в локомотивних депо наведена на рисунку 5.9 . Установка складається:

а) Основне обладнання:

- катіонітові фільтри, з об'ємом завантаження катіоніту КУ-2-8 -0,5 м³.
- аніонітові фільтри, з об'ємом завантаження аніоніту АВ-17-8 - 0,6 м³.

б) Допоміжне обладнання:

- бак I – бак подачі води на розпушення катіоніту КУ-2-8, об'ємом $V = 1 \text{ м}^3$
- бак II – бак для приготування регенераційного розчину NaOH, об'ємом $V = 1 \text{ м}^3$;
- бак III – бак для приготування регенераційного розчину H_2SO_4 , об'ємом $V = 1 \text{ м}^3$;

- бак IV – бак подачі води для розпушення аніоніту АВ-17-8, об'ємом $V = 1 \text{ м}^3$;
- бак V – бак для нейтралізації кислотно-лужних стоків після регенерації катіоніту і аніоніту, об'ємом $V = 2 \text{ м}^3$;
- бак VI – бак подачі води для відмивання катіоніту КУ-2-8 після регенерації, об'ємом $V = 1 \text{ м}^3$.
- бак VII – бак для збору очищеної знесоленої води після іонообмінної установки, об'ємом $V = 3 \text{ м}^3$.
- манометри з триходовими кранами для відбору проб.
- витратоміри для визначення швидкостей подачі розчинів і продуктивності фільтрів.

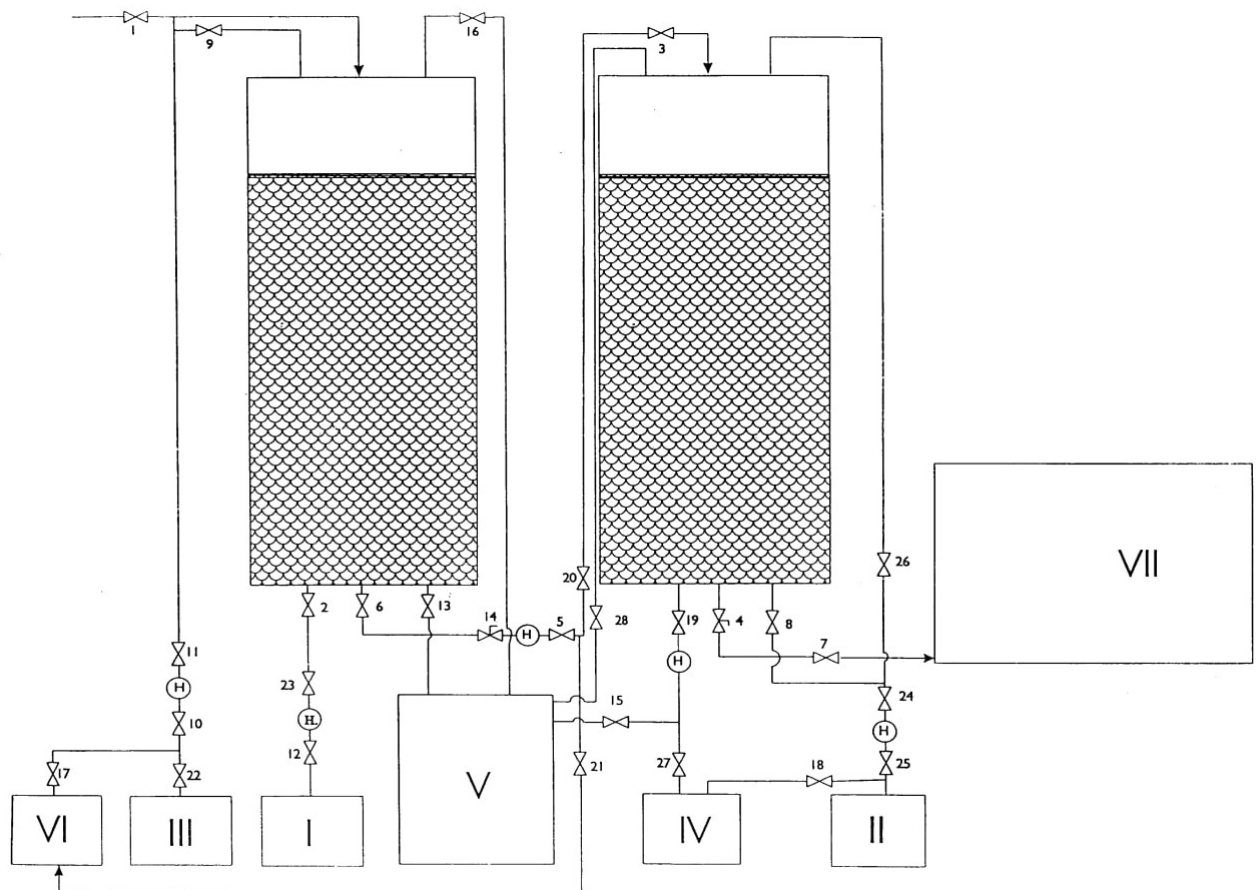


Рисунок 5.9 - Схема іонообмінної установки.

I – бак з водою для розпушення катіоніту; II – бак з регенераційним розчином лугу; III – бак з регенераційним розчином сірчаної кислоти; IV – бак

з водою для розпушення аніоніту; V – бак для нейтралізації кислотно-лужних стоків; VI – бак з водою для відмивання катіоніту; VII – бак очищеної води.

Основні конструктивні вузли фільтрів:

- -корпус апарату
- -верхній і нижній розподільні пристрої
- -верхня кришка
- -нижня кришка
- -трубопроводи з арматурою і контрольно-вимірювальними приладами.

Іонообмінні фільтри виконані у вигляді вертикальних колонок з верхніми і нижніми розподільними пристроями і кришками.

За своєю конструкцією аніонітові і катіонітові фільтри відрізняються тим, що корпус і вся розподільна система Н-катіонітового фільтру виконані з неіржавної сталі, в той час як аніонітові фільтри виконані зі сталі Ст.20.

Відповідно баки і всі трубопроводи виконані також з неіржавної сталі.

Верхня роз'ємна кришка фільтрів виконана на фланцях і передбачає вивантаження і додаткове завантаження фільтруючого матеріалу.

Під шаром іонообмінного матеріалу знаходиться нижній розподільний пристрій (дренажна система), призначений так само як і верхній розподільний пристрій, для рівномірного розподілу загального потоку води по перетину апарату, а також для запобігання виносу частинок іонітів в трубопровід. Дренажна система являє собою днище з неіржавної сталі з рівномірно розташованими отворами, в які вкручуються пластмасові ковпачки [41].

Кришки фільтрів опуклі, простір верхньої кришки утворює "повітряну подушку", простір нижньої кришки служить для збору дренажу.

В якості арматури використовуємо засувки і вентилі, виконані з неіржавної сталі. На трубопроводах виходу очищеної води з фільтрів встановлюємо манометри з триходовими кранами для відбору проб і витратоміри, що контролюють продуктивність фільтрів.

Подача знесоленої води для приготування регенераційних розчинів здійснюється з бака очищеної води (VII) ручним насосом.

6. Техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем

Метою аналізу (оцінки) еколого-економічної ефективності проектів є включення в проектний аналіз екологічних аспектів (пов'язаних із цим проектом екологічних витрат і вигід) запланованої діяльності, виражених у вартісному вираженні за допомогою порівняння загальних економічних вигід від планованого проекту й пов'язаних з ним витрат від непередбачених негативних впливів на навколишнє середовище.

У разі неможливості або недоцільності використання традиційного аналізу «витрати – вигоди» або у разі оцінки ефективності окремих природоохоронних заходів і устаткування можливе застосування аналізу «витрати – ефективність». Подібний аналіз допускається у випадках, коли вигоди представити в грошовому виразі неможливо, важко, існує значна невизначеність відносно майбутніх вигод тощо. Або ж коли потрібно одержати певний результат, наприклад, забезпечити заданий рівень викидів речовин в атмосферу чи зберегти якийсь природний об'єкт. В останньому випадку для вибору оптимального варіанта визначаються витрати, які необхідні для досягнення потрібного ефекту або цілі. Найбільш ефективним вважається проект, у якому витрати є мінімальними за умови здійснення заданої мети [42].

6.1 Техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем

Об'єм вод, які будуть очищуватися за розробленою технологічною схемою становить $Q = 750 \text{ м}^3/\text{доб}$. Кількість робочих днів у році – 250 днів. Робота здійснюється у дві зміни (тривалість зміни – 7 год).

6.1.1 Розрахунок капітальних вкладень

Ціна обладнання, що входить у систему, знаходиться за формулою 6.1:

$$Ц = C_m + C_p + C_k, \quad (6.1)$$

де $Ц$ – ціна устаткування, грн.;

C_m – вартість матеріалу, грн.;

C_p – вартість будівельно-монтажних робіт, грн.;

C_k – вартість конструктивних особливостей, грн.

Вартість матеріалу знаходимо за формулою 6.2:

$$C_m = M_a \cdot C_{ст}, \quad (6.2)$$

де M_a – маса апарату,

кг; $C_{ст}$ – ціна тони сталі,

$C_{ст} = 70$ грн/кг.

Вартість будівельно-монтажних робіт знаходимо за формулою 6.3:

$$C_p = 2/3 \cdot C_m \quad (6.3)$$

Вартість конструктивних особливостей апарата знаходимо за формулою 6.4:

$$C_k = 1/5 \cdot C_m \quad (6.4)$$

1. Розрахуємо вартість допоміжного устаткування за формулами (6.1-6.5):

а) Розрахуємо вартість розчинного бака для аніонообмінної колони.

Через простоту конструкції розчинного бака вартістю конструктивних особливостей можна зневажити.

Масу розчинного бака знаходимо за формулою (6.5):

$$M_6 = S \cdot L \cdot \rho, \quad (6.5)$$

де M_6 – маса бака (апарата), кг;

S – площа металевого покриття, m^2 ;

L – товщина металевого покриття, $L = 0.004$ м;

ρ – щільність сталі, $\rho = 7850$ m^3/kg

$$M_6 = 0,004 \cdot 7850 \cdot 24 = 754 \text{ кг}$$

$$C_m = 754 \cdot 70 = 52780 \text{ грн.}$$

$$C_p = 35187 \text{ грн.}$$

Одержуємо ціну бака:

$$Ц_6 = 52780 + 35187 = 87967 \text{ грн.}$$

б) Розрахуємо вартість розчинних баків для іонообмінних колон по формулах (6.1-6.5):

$$M_6 = 0,004 \cdot 7850 \cdot 29.5 = 926 \text{ кг}$$

$$C_p = 926 \cdot 70 = 64820 \text{ грн.}$$

$$C_p = 43213 \text{ грн.}$$

Одержуємо ціну одного бака:

$$Ц_6 = 64820 + 43213 = 108033 \text{ грн.}$$

Так як використовується три баки, то одержуємо:

$$Ц_6 = 324099 \text{ грн.}$$

Загальна вартість всіх баків:

$$Ц_{\text{заг}} = 412066 \text{ грн.}$$

Разом вартість допоміжного устаткування: 500033 грн.

2. Розрахуємо вартість аніонообмінної колони (висота колони $H_{a.k.} = 3 \text{ м}$, діаметр колони $D_{a.k.} = 1,2 \text{ м}$).

Ціна металоконструкції розраховується за формулами (6.1-6.5):

$$M_a = 0,004 \cdot 7850 \cdot 12,44 = 390,6 \text{ кг}$$

$$C_m = 27342 \text{ грн.}$$

$$C_p = 18228 \text{ грн.}$$

$$C_k = 5468 \text{ грн.}$$

$$Ц_a = 51038 \text{ грн.}$$

Як завантаження колони використовується аніоніт марки АВ-17-8 вартість кілограму аніоніту $З = 70 \text{ грн./кг}$; щільність аніоніту $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$; об'єм аніоніту $V = 2,6 \text{ м}^3$.

Розрахуємо вартість аніоніту :

$$Ц_{an} = 291200 \text{ грн.}$$

Знайдемо вартість аніонообмінної колони із завантаженням аніоніту:

$$Ц_{a.k.} = 51038 + 291200 = 342238 \text{ грн.}$$

3. Розрахуємо вартість катіонообмінної колони (висота колони $H_{k.k.} = 3 \text{ м}$, діаметр $D_{k.k.} = 1,4 \text{ м}$).

Ціна металоконструкції розраховується за формулами (6.1-6.5):

$$M_a = 462,5 \text{ кг}$$

$$C_m = 32375 \text{ грн.}$$

$$C_p = 21584 \text{ грн.}$$

$$C_k = 6475 \text{ грн.}$$

$$C_a = 60434 \text{ грн.}$$

Як завантаження катіонообмінної колони використовується катіоніт марки КУ-2-8, вартість кілограма якого $З = 25 \text{ грн./кг}$, щільність катіоніту $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$, об'єм катіоніту $V = 3,2 \text{ м}^3$.

Розрахуємо вартість катіоніта :

$$C_k = 108000 \text{ грн.}$$

Знайдемо вартість катіонообмінної колони із завантаженням катіонітом:

$$C_{k.k.} = 168432 \text{ грн.}$$

Всі контрольно-вимірювальні прилади, насоси, вентилятор задіяні з існуючої схеми [32].

Загальні грошові вкладення складають:

$$D_o = 500033 + 342238 + 168432 = 1010703 \text{ грн.}$$

6.1.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Витрати на сировину та матеріали наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Витрати на сировину й матеріали

Найменування реагенту	Вартість реагенту, грн./кг	Витрата реагенту, кг/рік	Витрати на реагент, грн./рік
Сірчана кислота (H_2SO_4)	1,28	268128	343204
Гідроксид натрію (NaOH)	5,65	52000	293800
Хлорид натрію (NaCl)	1,0	39000	39000
Разом	-	-	676004

Витрати на електроенергію наведені в таблиці 6.2.

Амортизаційні відрахування на основне обладнання складають 10%.

$$A_o = 1010703 * 0,1 = 101070,3 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.2 – Витрати на електроенергію (за даними відділу головного енергетика).

Найменування приладу	Кількість, шт.	Кількість спожитої енергії, кВт*ч/рік	Витрати на електроенергію, грн.
1	2	3	4
Насос марки 2-НФ	2	7000	14000
Насос марки 2ДО-6А	2	7000	14000
Вентилятор Ц4-70№2	1	3000	6000
Разом	-	-	34000

Розрахунок витрат на заробітну плату наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Фонд заробітної плати установки пом'якшення води

Посада	Розряд	Кількість, чол.	Зарплатня одного працівника, грн.	Загальна річна зарплатня, грн.
Майстер-змінник		2	3500	84000
Лаборант хім. аналізу	4	2	1800	43200
Апаратник	4	2	2000	48000
Машиніст насосних установок	5	2	2000	48000
Всього	-	8	-	223200

Відрахування на соціальне страхування становить 37% від фонду заробітної плати, тобто 82510грн.

Експлуатаційні витрати становлять:

$$E = 676004 + 34000 + 223200 + 82510 = 1015714 \text{ грн.}$$

6.1.3 Розрахунок збитків

Під економічним збитком розуміється сума витрат на попередження шкідливого впливу забрудненого середовища на реципієнтів (населення, об'єкти житлово-комунального господарства, тварин, рослини й інш.).

Економічна оцінка збитку від скидання стічних вод у міську каналізацію складала:

$$B_1 = 201151 \text{ грн. (дані підприємства)}$$

У процесі використання запропонованої схеми очищення, скидання стічних вод у міську каналізацію не застосовується, тому що очищена вода надходить в обігову систему. За запропонованою технологією не утворюються осади які потрібно утилізувати. Тому збиток від впровадження природоохоронного заходу умовно приймаємо $B_3 = 0$.

6.1.4 Визначення чистого економічного ефекту

Під чистим економічним ефектом R розуміється різниця між результатами природоохоронного заходу P та витратами на їх здійснення Z розраховуємо за формулою 6.6:

$$R = P - Z, \quad (6.6)$$

де R – чистий економічний ефект, грн.;

P – результат природоохоронного заходу, грн.;

Z – витрати на здійснення природоохоронних заходів, грн.;

Результат природоохоронних заходів розраховується за формулою 6.7:

$$P = P_y + D, \quad (6.7)$$

де $D = 0$;

P_y – відвернений річний економічний збиток від забруднення навколишнього середовища, грн., розраховується за формулою 6.8:

$$P_y = B_1 + B_2 - B_3 \quad (6.8)$$

Витрати на здійснення природоохоронних заходів знайдемо за формулою 6.9 :

$$Z = E + E_n \cdot D_o, \quad (6.9)$$

де E_n – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, приймаємо $E_n = 0,12$;

E – експлуатаційні витрати, грн.;

K – капітальні вкладення, грн.

У річний приріст прибутку включаємо також вартість 80% води, повернутої у виробництво (165000 грн.).

$$P = 201151 + 0 + 165000 = 366151 \text{ грн.}$$

Витрати на здійснення природоохоронних заходів:

$$Z = 1010301 \cdot 0,12 + 1015714 = 1136950,12 \text{ грн.}$$

Чистий економічний ефект склав:

$$R = 366151 - 1136950,12 = -770799,12 \text{ грн.}$$

6.1.5 Визначення загальної економічної ефективності природоохоронних витрат

Під загальною (абсолютною) економічною ефективністю природоохоронних витрат розуміється відношення повного річного ефекту від введених природоохоронних заходів до викликаних витрат.

Загальна економічна ефективність визначається за формулою 6.10:

$$E_z = P/Z, \quad (6.10)$$

де E_z – загальна економічна ефективність природоохоронних витрат, грн./грн.;

P – результат природоохоронного заходу, грн.;

Z – витрати на здійснення природоохоронних заходів, грн.

Одержуємо загальну економічну ефективність природоохоронних витрат:

$$E_z = 366151 / 1136950,12 = 0,32 \text{ грн./грн.}$$

6.1.6 Визначення загальної розрахункової економічної ефективності грошових вкладень в захист навколишнього середовища

Загальна розрахункова економічна ефективність визначається за формулою 6.11:

$$E_p = (P - E) / D_o, \quad (6.11)$$

де Р – результат природоохоронного заходу, грн.;

Е – експлуатаційні витрати, грн.; К – капітальні витрати, грн.

Загальна розрахункова економічна ефективність складала:

$$E_p = (366151 - 1015714) / 2036417 = -0,31 \text{ грн./грн.}$$

Зіставляємо коефіцієнт E_p з нормативним коефіцієнтом E_n для вирішення питання ефективності грошових вкладень і доцільності природоохоронного заходу. При $E_p > E_n$ варіант доцільний з погляду економічних витрат. Можна зробити висновок, що запропонована схема пом'якшення обігової води економічно ефективна [43].

6.1.7 Визначення загальної розрахункової економічної ефективності грошових вкладень в захист навколишнього середовища

Термін окупованості грошових вкладень розраховується за формулою 6.12 :

$$T_p = 1 / E_p, \quad (6.12)$$

де T_p – термін окупності грошових вкладень, рік; E_p – загальна розрахункова економічна ефективність грошових вкладень в захист навколишнього середовища.

$$T_p = 1/0.31 = 3.2 \text{ року}$$

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи мною:

1. Визначено вимоги до якості води в різних водних технологічних процесах підприємств залізничного транспорту.

2. Проведено критичний аналіз сучасних методів пом'якшення та знесолення живильної та охолоджуючої води для теплоенергетичних установ залізничного транспорту, зокрема для систем охолодження дизелів, в результаті якого визначено найбільш перспективні і економічно доцільні методи і технологічні схеми.

3. Обрана оптимальна технологія знесолення води методом іонного обміну для потреб локомотивного господарства.

4. Проведено маркетинг ринку іонітів. Визначено, що катіоніт КУ-2-8 має майже однакові механічні, фракційні, гранулометричні якості, його повна обмінна ємність дорівнює аналогічним характеристикам іонітів фірм DOWEX та PUROLITE, але його вартість майже в 2 рази менша ніж у останніх. Порівняно з іонітами Амберлит у КУ-2-8 та АВ-17 -8 обмінна ємність в 2,5-3,0 рази менша. Вартість вітчизняних іонітів в 4 рази менша, що робить їх найбільш економічно доцільними для використання на підприємствах залізничного транспорту.

5. Проведено оптимізацію процесу знесолення води з використанням сучасних іонітів вітчизняного виробництва. Нами рекомендовано застосування катіоніту КУ-2-8 і аніоніту АВ-17-8 виробництва Черкаського хімічного комбінату, які мають максимальну обмінну ємність і стійкі фізико-хімічні і механічні параметри. Визначено основні фізико-хімічні параметри катіонітів: статична і динамічна обмінна ємність. Паспортний термін служби - 8-10 років.

6. Досліджено вплив домішок нафтопродуктів, потенційно кислих органічних речовин і неіонообмінних поверхнево активних речовин (НПАР) на ефективність використання іонообмінних смол. Показано, що механізм впливу нафтопродуктів пов'язаний як з механічним блокуванням поверхні зерен іонітів, так обумовлений і протіканням процесів сорбції молекул вуглеводнів з

утворенням досить міцних зв'язків між молекулами нафтопродуктів і поверхнею іонітів.

При вивченні впливу НПАР нами встановлено, що в їх присутності після 50 циклів роботи динамічна обмінна ємність (ДОЄ) катіоніту КУ-2 падає на 11,8%, аніоніту АВ-17-на 48,8% і аніоніту ЕДЕ-10П на 51,4%. Повна регенерація спостерігається при використанні в якості регенераційних розчинів ізопропілового спирту (6,3 обсягу на 1 обсяг смоли).

7. Надано рекомендації щодо проведення процесу пом'якшення води з використанням катіоніту КУ-2-8. Проведено аналіз різних способів регенерації катіонітів в Na^+ форму та розроблено рекомендації щодо регенерації Na^+ катіонітових фільтрів.

8. Наведено приклад практичного застосування розробленої технології глибокого очищення води для локомотивного депо ст.Мелітополь.

9. Визначено економічне обґрунтування ефективності запропонованих технологічних схем. Терміни окупованості грошових вкладень в захист навколишнього середовища складають 3,2 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний кодекс України [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. – 6. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
2. Природоохоронна діяльність на залізничному транспорті України: проблеми і рішення / [В. М. Плахотник, Л. О. Яришкіна, В. І. Сіраков та ін.]. – Київ: Транспорт України, 2001. – 244 с.
3. Белан А. Е. Водопользование и очистка сточных вод на железнодорожном транспорте / А. Е. Белан, Г. Н. Блошенко. – Москва: Транспорт, 1978. – 165 с.
4. Гагин Л. Ф. Экипировка и экипировочные материалы / Л. Ф. Гагин, А. А. Бовин. – Киев: Вища школа, 1989. – 158 с.
5. Дикаревский В. С. Водоохранные сооружения на железнодорожном транспорте. / В. С. Дикаревский, И. И. Караваев. – Москва: Транспорт, 1986. – 211 с.
6. Дикаревский В. С. Обработка воды для теплоэнергетических установок ж/д транспорта. / В. С. Дикаревский, И. И. Караваев. – Москва: Транспорт, 1986. – 460 с.
7. Тебенихин Е. Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках / Е. Ф. Тебенихин. – Москва: Энергия, 1977. – 182 с.
8. Тугай А. М. Водопостачання. Підручник для вузів. / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Рівне: РДТУ, 2001. – 429 с.
9. ДСан ПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної призначені для споживання людиною» [Електронний ресурс] // Міністерство охорони здоров'я України. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>.
10. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик. – Київ: Лібра, 2000. – 552 с.

11. Карманов А. П. Технология очистки сточных вод / А. П. Карманов, И. Н. Полина. – Москва: Инфра-Инженер, 2018. – 212 с.
12. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок. / О. В. Лифшиц. – справочник. Москва: Энергия, 1980. – 288 с.
13. Гребенюк В. Д. Обессоливание воды ионитами / В. Д. Гребенюк, А. А. Мазо. – учебник. Москва: Химия, 2000. – 255 с.
14. Запольский А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольский. – підручник. Київ: Вища школа, 2005. – 671 с.
15. Никольский Б. П. Иониты в химической технологии / Б. П. Никольский, И. Г. Романков. – Львов: Химия, 1982. – 416 с.
16. Дадашева Г.И. Модели для расчета процесса ионообменного умягчения минерализованных вод. // Теплоэнергетика. – 1990. – №1. – С. 68–70.
17. Гомеля М. Д. Розробка маловідходної іонообмінної технології пом'якшення води : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.21 "Технологія водоочищення" / Гомеля М. Д. – Київ, 2001. – 126 с.
18. Calmon C. Ion Exchange Processes used in the production of ultrapure water required in fossi fue power plants// Ion Exchange and Solvent Extr.1983-9.- P.1-51.
19. Митченко Т.Е. Сравнительная оценка эффективности действия катионитов в установках умягчения воды малой и средней производительности / Т.Е. Митченко, П.В. Козлов, Н.В. Макарова, П.В. Стендер, И.С. Ермоленко, В.А. Резаненко // Вода и водоочис. технол. – 2005. – № 1. – С. 33–36.
20. Мамченко А. В. Умягчение воды ионитами / А. В.Мамченко, Т. И. Якимова, М. С. Новоженюк, А. Г. Еременко. – Москва: ХИТВ, 1989. – 728 с.
21. Конспект лекцій з дисципліни "Технологія очищення води від розчинених домішок" (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 7.092601 – «Водопостачання і водовідведення») / Авт.: К.Б.Сорокіна. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 103 с.
22. Lefevre J. Ion exchange: Problems and troubleshooting // Chem. Eng.(USA) 1986-93 №13- P.73-75.

23. Kunzmann Ch. Im Spannungsfeld zwischen Menge und Kosten / Kunzmann Ch., Teubner M., Ahrens A. // Brauindustrie. – 2007. – № 10 (92). – С. 38–42..
24. Ceica A. Removal of nitrates from water in presence of competitors anions using Purolite resins /A. Ceica, L. Bulgariu, L. Lazar, I. Creiescu, I. Balasanian // Bul. Inst. Polit. Iași. – 2010. – t. LVI (LX), №. 4. – Pp. 119–131.
25. Семенова И.В. Обработка воды природным щелочным коагулянтом / И. В. Семенова, А. В. Хорошилов // 17 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, 21–26 сент. 2003. г. Казань: тезисы докл. – Т. 3. – Казань., 2003. – С. 381.
26. Резник Я.Є Натрий-катионирование в водоподготовке для паровых котлов / Я.Є. Резник //Аква-Терм. – 2003. – № 6. – С. 40– 41, 43.
27. Амосова Э.Г. Применение карбоксильных катионитов и органопоглощающих анионитов в технологиях подготовки воды в котельных / Э.Г. Амосова, П.И. Долгополов // Энергосбережение и водоподгот. – 2003. – № 1. – С. 25–28.
28. Мамченко А.В. и др. Технологические характеристики анионитов разных типов при обессоливании воды// Хитв ,1997, т.19 №4 С.404-416..
29. Мамченко А.В., Якимова Т.И., Новоженюк М.С., Еременко А.Г. Умягчение воды ионитами //Хитв, 1989, т.11 №8 С.728-740.
30. Дадашева Г.И. Модели для расчета процесса ионообменного умягчения минерализованных вод //Теплоэнергетика, 1990 №1 С.68-70.
31. Мамченко А.В. и др. Технологические характеристики анионитов разных типов при обессоливании воды// Хитв ,1997, т.19 №4 С.404-416.
32. Дадашева Г.И. Модели для расчета процесса ионообменного умягчения минерализованных вод //Теплоэнергетика, 1990 №1 С.68-70.
33. Ходырев Б.Н.О критериях выбора типа ВПУ для обессоливания воды, содержащей органические вещества/ Ходырев Б.Н., Федосеев Б.С., Панченко В.В. и др. // Энергетик, 1992 №12 С.15-18.

34. Лапотышкина Н. П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей / Н. П. Лапотышкина, Р. П. Сазонов. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 200 с.
35. Смирнов А. Д. Справочная книжка энергетика / А. Д. Смирнов, К. М. Антипов. – Москва: Атомиздат, 1987. – 568 с.
36. О критериях выбора типа ВПУ для обессоливания воды, содержащей органические вещества / [Б. Н. Ходырев, Б. С. Федосеев, В. В. Панченко та ін.]. // Энергетик. – 1992. – №12. – С. 15–18.
37. Мамченко А.В., Новоженюк М.С. Сорбция гумусовых веществ ионитом при умягчении воды// Хитв, 1997, т.19 №3 С.242-253.
38. ГОСТ 202255.1-89. Методы определения обменной емкости.
39. Шаблій Т. О. Ресурсозберігаючі технології водокористування в енергетиці і промисловості / Т. О. Шаблій, М. Д. Гомеля // Екологічна безпека. – 2009. – № 3(7). – С. 17–22.
40. Агамалиев М.М., Султанова Ф.М., Мамедбекова Р.Г. и др. Магний-натрий катионирование минерализованных вод широкого класса //Учен. Записки АГНА Баку, 1996 №3. – С.13-17.
41. Колотило Д. М. Екологія і економіка : навчальний посібник / Д. М.Колотило; Мін-во освіти і науки України, Київський нац. економічний ун-т. – 2-е вид. доп. і перероб. – К. : КНЕУ, 2005. – 576 с.