

**Олексій ТЕРНОВЦЕВ<sup>1</sup>**,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-1761-2444

**Яніна ПЕКУТІН<sup>2</sup>**,

професор, доктор філософії (PhD)

ORCID: 0000-0001-6192-7449

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

<sup>2</sup>Білостоцький технічний університет, Польща

## **АНАЛІЗ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ОСНОВНИХ ДЖЕРЕЛ УТВОРЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ЯКІ З'ЯВЛЯЮТЬСЯ В ПРОЦЕСІ ХІМІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

*В статті на основі аналізу літературних та інших джерел, а також лабораторних досліджень хімічного складу води наведено аналіз хімічного складу та основні джерела утворення стічних вод що отримуються в процесі хімічної підготовки води на деяких підприємствах теплоенергетики. Стічні води теплоенергетики, зокрема установок хімічної підготовки води, містять значну кількість солей, завислих речовин та інших мінеральних і іноді органічних домішок. Такі води зазвичай скидаються в каналізаційну мережу та водні об'єкти майже без очистки. Основний об'єм хімічно забруднених стічних вод, що утворюються в процесі хімічної підготовки води складають стічні води установок іонообмінного пом'якшення та знесолення. Охорона навколишнього середовища від забруднення стічними водами і раціональне використання водних ресурсів, є однією з найважливіших задач. Для вирішення цієї задачі все більше уваги набувають замкнені системи водопостачання промислових підприємств, які повністю виключають скид стічних вод у водні об'єкти (безстічні системи).*

*Створення замкнених а особливо безстічних, екологічно чистих систем зворотного водопостачання підприємств теплоенергетики, є дуже актуальною задачею як для України, так і для інших країн, які відчують дефіцит прісної води.*

*Стаття надає актуальні вихідні дані щодо джерел утворення і якості стічних вод енергетичних та енергогенеруючих об'єктів для майбутніх розробок і впровадження методів і технологічних рішень під час реконструкції або проєктування таких підприємств.*

*Розробка нових методів регенерації розчинів дозволить зменшити фінансові витрати на регенерацію іонообмінних фільтрів, значно збільшити об'єм води в замкнутому циклі і підійти до створення безстічного підприємства. У такій спосіб можна покращити екологічний стан в зоні підприємства яке використовує замкнену безстічну оборотну схему.*

**Ключові слова:** *стічні води, ефект очистки, пом'якшення, знесолення, іонообмінні установки.*



**Вступ.** При експлуатації ТЕС утворюються великі об'єми стічних вод, які забруднені різними домішками. До їх числа слід віднести стічні води з відпрацьованих регенеруючих розчинів (елюатів), хімічні реагенти, що використовуються на водопідготовчих установках при обробці вихідної води та конденсатів, при хімічному очищенні енергетичного обладнання, при консервації котлів і т. п. Крім того, в залежності від типу використаного на ТЕС органічного палива, масел і змащувальних речовин, стічні води можуть містити у великій кількості нафтопродукти, масла, компоненти золи, шлаку і т. п.

**Об'єкт досліджень** – стічні води установок хімічної підготовки підприємств теплоенергетики, джерела утворення таких вод.

**Мета** – отримання актуальних вихідних даних для майбутнього наукового обґрунтування і розробки технологічних процесів і систем для обробки стічних вод від хімічної підготовки на підприємствах теплоенергетики з використанням води в замкнутому циклі підприємства, що виключає скид стічних вод у водні об'єкти;

**Основна частина.** Забруднюючі домішки можуть перебувати в стічних водах як у розчинному стані, так і у вигляді суспензії і емульсії [1, 2-4]. На сучасних ТЕС утворюються такі категорії стічних вод [5, 6, 7, 8, 9-11]:

1. Продувні води систем оборотного водопостачання і охолоджуючі води конденсаторів парових турбін, що викликають в основному теплове забруднення водних об'єктів;
2. Води від водопідготовчих установок (ВПУ) і конденсатоочисток, які характеризуються високою мінералізацією;
3. Води систем гідрозоловилучення (ГЗУ) ТЕС, що спалюють тверде паливо;
4. Відпрацьовані розчини після хімічного очищення теплосилового обладнання і його консервації;
5. Води від обмивок зовнішніх поверхонь котлів, що працюють на сірчанних мазутах;
6. Поверхнево - дощові стічні води з території підприємств. Склад і кількість стічних вод визначаються типом ТЕС, її потужністю, видом використовуваного палива, складом вихідної води, схемою ВПУ та іншими факторами.

Переважна частина споживання води в теплоенергетиці витрачається на охолодження (до 90% загальної витрати) [12]. Основна кількість води витрачається на охолодження конденсаторів парових турбін. Залежно від потужності турбін і використовуємих параметрів пари питома витрата води на ТЕС може становити 0.12-0.45м<sup>3</sup>/(кВт-год). Кількість охолоджуючої води, необхідної для відведення теплоти, для конденсації пари та інших потреб, наприклад, на конденсаційних станціях потужністю 2400 МВт становить 250-300 тис.м<sup>3</sup>/год. Для конденсації 1т відпрацьованого в турбіні пару витрачається залежно від часу року 50-60 т води, а наприклад, на ТЕС потужністю 4000 МВт виробляється в 1год близько 13000 т пари [3, 5, 7].

Крім конденсаторів парових турбін, охолоджуюча вода використовується у газу і повітряохолоджувачах турбогенераторів і електродвигунів, маслоохолоджувачах турбогенераторів, а також для охолодження підшипників допоміжних механізмів.

На теплових і атомних електростанціях з охолоджувальною водою у водні об'єкти скидається величезна кількість теплоти. Так, питома кількість теплоти, що відводиться з охолоджувальною водою при нагріванні її в конденсаторах парових турбін на 8-10° С, становить на ТЕС близько 43 кДж / (кВт-год), а на АЕС - 73кДж / (кВт-год) при витраті води 170 – 200 м<sup>3</sup>/с [5,7].

Скидати ці теплі води безпосередньо в річки або ставки не можна, оскільки навіть незначне підвищення температури позначається на екологічному стані природних водойм. Таке скидання призводить до розростання синьо-зелених водоростей, знижується кількість розчиненого кисню у воді, гине флора та фауна водойм. [5, 7, 8, 9].

Сучасні підприємства теплоенергетики в залежності від якості вихідної і вимог до доданої води застосовують різні схеми водопідготовчих установок (ВПУ). У загальному вигляді всі вони включають в себе передочистку води (очищення від механічних домішок) і іонного обміну [12]. У результаті хімічної підготовки води на ВПУ утворюються такі види стічних вод: промивні води освітлювачів попереднього очищення, промивні води механічних фільтрів, відпрацьовані регенераційні та відмивні води іонітових фільтрів [7, 8, 9, 10].

В загальному обсязі стічних вод ТЕС, що містить охолоджуючу воду конденсаторов парових турбін, стоки ВПУ складають 0.2-0.3%. Проте в балансі сольових скидів ТЕС частка солей, що надходять з ВПУ велика. Так, на установках продуктивністю 2000 м<sup>3</sup>/год зі стічними водами скидається 1.5-2 т/год різних особистих солей [1, 5]. Сольові скиди ВПУ містять нейтральні солі, кислоти і луки що не мають специфічних токсичних властивостей. Однак ці скиди призводять до суттєвого підвищення солевмісту водойм [5, 7, 12]. Зі стічними водами передочищення скидаються також всі затримані органічні речовини, що підвищують БПК води водойми і певна кількість завислих речовин (підвищує каламутність) [5, 7].

Стічні води попередньої очистки містять недопал, шлам, грубодисперсні органічні речовини, сполуки заліза і алюмінію, гідроксид магнію, карбонат кальцію. Якісний і кількісний склад домішок таких вод залежить від якості вихідної води і застосованих методів її обробки. При вапнуванні скидається вода, яка має підвищене значення рН (10 - 12). Так, при розпушуванні і промивці одного фільтра діаметром 3м із висотою шару завантаження 1.1 м скидається 8-20 кг шламу [5, 7].

При регенерації Н- і ОН- іонітових фільтрів витрачаються розчини Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> і NaOH, тому і стічні води мають відповідно кислу або лужну реакції. Н-катионітові фільтри 1 ступеню скидають до 75% всіх кислих вод, а решту скидають Н-катионітові фільтри 2 ступеню. Стічні води після регенерації Na-катионітових фільтрів мають нейтральну реакцію середовища. Вони містять в основному хлориди натрію, кальцію і магнію. Кількість хлориду натрію (NaCl) складає 70-75% від загального солевмісту [3, 5, 7]. Узагальнені дані по солевмісту стічних вод іонообмінних фільтрів наведено в табл. 1.

*Таблиця 1*

**Солевміст стічних вод іонообмінних фільтрів ВПУ**

Показник	Стічні води		
	Na-катионітних фільтрів	Н-катионітних фільтрів	ОН- аніонітних фільтрів
Максимальний солевміст, г/л	50-70	до 50	20-60
Середній солевміст, г/л	–	0.5-5.5	1.4-1.6
Середня кислотність, %	–	0.3-0.4	–
Середня лужність, %	–	–	0.5-0.7
Загальна жорсткість, мг-екв/л	до 100	35-45	–

З таблиці 1 видно що хімічний склад регенераційних стічних вод характеризується високим солемістом і великою загальною жорсткістю. У середньому, при виробленні 1 МВт-год електроенергії з усіх стадій іонообмінного очищення (ВПУ) на ТЕС скидається близько 0.7 кг солей. При існуючому обсязі виробництва електроенергії в країнах Європейського континенту це становить щороку понад 1 млн. т солей [5, 7, 8, 11].

Мінералізовані стічні води від іонообмінних установок мають 3-5 кратне перевищення за солемістом відносно вихідної води в процесі її обробки [12].

При експлуатації і ремонті мазутного господарства, в результаті витіку трансформаторного та турбінного масел, змиву підлоги приміщень, в яких проводяться операції з нафтопродуктами, при аварійних витіках і ремонтних роботах, при витіках охолоджуючої води насосів утворюються нафтовміщуючі стічні води, що містять нафтопродукти у вигляді мазуту, мастильних та ізоляційних масел, гасу, бензину і т.п. [7, 8, 9]. Кількість і ступінь забруднення цих стічних вод залежить від потужності ТЕС і виду палива. Нафтопродукти можуть потрапляти у водойми у емульгованому, колоїдному і розчиненому стані. Концентрація нафтопродуктів у стічних водах мазутного господарства коливається від 20-30 до 200-300 мг/л [8].

Теплові електростанції з котлами високого і надвисокого тиску, на відміну від інших технічних споживачів води, є вельми вимогливими до її якості. Отримання водяної пари при високій температурі забезпечується в парових котлах різної продуктивності і різних параметрів (в першу чергу тиску) за умов, при яких окремі домішки живильної води, присутні навіть у незначних кількостях, можуть призвести до аварійного стану котельних агрегатів та виходу їх з ладу. Найбільш високі вимоги до якості води, що використовується в енергетичному циклі (живильній воді). На ТЕС вода витрачається на живлення і продування котлів, охолодження конденсаторів парових турбін, масло і повітроохолоджувачів, підшипників та інших механізмів, на золовидалення і т. п. Основними показниками якості води охолоджувальних систем зворотного водопостачання є: концентрації завислих речовин, масел, нафтопродуктів, величини загального солемісту, лужності, хлоридів, сульфатів, температури, рН та ін. Вода, що використовується для охолодження, не повинна створювати механічних, карбонатних та інших відкладень і не сприяти розвитку корозії та біологічних наростів. Тому в більшості випадків необхідне очищення або обробка води.

Основним джерелом накопичення завислих речовин в зворотній воді може бути завись природної води, що використовуються для підживлення систем водопостачання. Завислі речовини накопичуються також внаслідок біологічних наростів теплообмінників і особливо охолоджуваних поверхонь, контактуючих із зворотною водою [10, 11, 13]. Для запобігання механічних відкладень може знадобитися відстоювання і фільтрування повного об'єму або додаткової частки зворотної води. Припустимий вміст завислих речовин уточнюється в процесі експлуатації систем водопостачання залежно від швидкості руху води в теплообмінних апаратах і обладнанні, гідравлічної крупності завислих речовин.

Крім охолоджуючих систем оборотного водопостачання в теплоенергетиці є споживачі хімічно обробленої води, які пред'являють до води підвищені вимоги. До них відносять парові котли, випарники, пароутворювачі, теплові мережі з закритою або відкритою системою теплопостачання (включаючи водогрійні котли) [3, 7]. Вимоги, що пред'являються до обробленої води залежать від робочого тиску котла, якості палива що спалюється (тверде паливо, газ або мазут), особливостей конструкції котла. Вимоги, що пред'являються до якості додаткової води для відновлення втрат у

пароводяному циклі, також надзвичайно високі, і підвищуються із зростанням тиску, при якому працює теплоенергетичне обладнання, а також визначаються конструктивними особливостями котлів.

В основному всі методи що використовуються для обробки води на ТЕС можна поділити на безреагентні (фізичні) методи та реагентні. [2, 7, 12]. Як правило хімічна підготовка води для живлення парових котлів містить в собі декілька стадій:

1-й етап – попередня очистка води від механічних домішок методом осідання, який дозволяє видалити більшу частину домішок, що знаходяться в крупнодисперсному або колоїдному стані. На цій стадії в якості споруд для обробки води використовують відстійники, освітлювачі та механічні фільтри. Для прискорення процесів осадження та освітлення оброблюваної води застосовується коагуляваня.

2-й етап – реагентне пом'якшення (первинне). Найчастіше застосовується вапняно-содовий метод, при якому з води видаляється основна маса солей тимчасової (карбонатної) та постійної (некарбонатної) жорсткості. У процесі реагентного пом'якшення води утворюються завислі речовини, що складаються в основному з нерозчинних сполук солей жорсткості, які випадають в осад. Для видалення цих речовин використовуються освітлювачі і механічні фільтри.

Окрім того, в деяких випадках, воду для живлення парових котлів високого і надвисокого тиску необхідно піддавати знекремлюванню, оскільки кремнієва кислота є основним компонентом складних силікатних відкладень (відклади утворюються з катіонами кальцію, магнію та ін.) Глибина знекремлення живильної води для котлів залежить від їхнього робочого тиску, температури і конструкції. Вибір методу знекремлення води залежить від вимог та економічних показників. Найбільш часто застосовується магnezіальне знекремлення.

3-й етап – іонний обмін, при якому вилучається частина солей жорсткості, що залишилася і, якщо потрібно, повне або часткове знесолення води. Найбільш поширеним є метод Na-катіонування. При пом'якшенні води Na-катіонуванням катіони Na замінюються на катіони жорсткості, які містяться у воді. У залежності від того, до якого ступеню потрібно видалити солі жорсткості, Na-катіонування може бути як одноступеневе, так і двоступеневе, при якому пом'якшувальна вода послідовно проходить через Na-катіонітові фільтри першої, а потім другої ступені. При одноступеневому Na-катіонуванні жорсткість води знижується до 0.03-0.05 мг-екв/л, при двоступеневому Na-катіонуванні – до 0.01 мг-екв/л [12]. Після виснаження робочої обмінної ємності катіоніту його регенерують зазвичай 5-7% розчином кухонної солі (NaCl) для відновлення обмінної здатності. Води від регенерації іонообмінних фільтрів являють собою стічні води, забруднені солями жорсткості, хлоридами та іншими компонентами солевого складу.

Однак ці методи дають можливість видалити лише солі жорсткості, а інші компоненти солевмісту (хлориди, сульфати і т.і.) залишаються. Таку воду в котли подавати не можна. Тому, поряд з методами пом'якшення, потрібно також зменшувати загальний солевміст. Норми якості води для живлення котлів, особливо високого і надвисокого тиску, вимагають практично повного її знесолення. У таких випадках зазвичай застосовуються іонообмінні процеси H-катіонування та OH -аніонування [1], а також зворотній осмос. У практиці водопідготовки ТЕС найбільше розповсюдження набули такі методи пом'якшення води [11, 12, 13]:

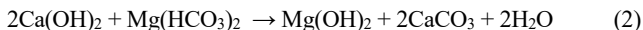
- реагентні, при яких іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  зв'язуються різними реагентами в практично нерозчинні з'єднання з подальшим їх відділенням в освітлювачах, відстійниках і прояснювальних фільтрах;

- іонообмінні, засновані на фільтруванні пом'якшуючої води через спеціальні матеріали, що обмінюють іони  $\text{Na}^+$  або  $\text{H}^+$  на іони  $\text{Ca}^{2+}$  або  $\text{Mg}^{2+}$ , що містяться у воді.

В якості реагентів для пом'якшення води застосовують вапно, кальциновану соду, їдкий натр та інші речовини. Реагентне пом'якшення води виконують як без підігріву води, так і з її підігрівом. В залежності від використаного реагенту розрізняють вапняний, вапняно-содовий, їдко-натрієвий, фосфатний і барієвий способи пом'якшення.

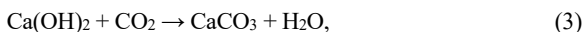
Одним з найбільш дешевих реагентів є вапно. Пом'якшення води вапнуванням (декарбонізація) застосовується при високій карбонатній і низькій некарбонатній жорсткості, а також у разі, коли не потрібно видаляти з води солі некарбонатної жорсткості.

Процес вапнування води заснований на наступних реакціях [13]:

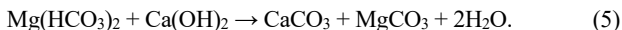


З метою покращення процесу осадження суспензії  $\text{CaCO}_3$  до води крім вапна додають коагулянт, в результаті чого вода звільнюється від органічних домішок які можуть затримувати процес пластівцеутворення і випадіння солей жорсткості в осад. При вапняно-содовій обробці води, поряд з вапном, яке сприяє видаленню солей карбонатної і магнієвої жорсткості, у воду додають кальциновану соду для видалення солей некарбонатної жорсткості. Сутність вапняно-содового методу пом'якшення зводиться до наступних процесів:

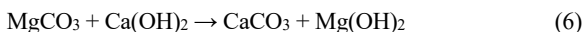
Гашене вапно реагує з розчиненим у воді вуглекислим газом:



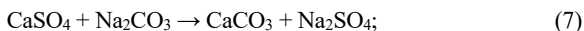
а також вступає в реакцію з гідрокарбонатами кальцію і магнію:



При надлишку вапна карбонат магнію взаємодіє з ним, утворюючи гідроксид магнію, який випадає в осад:



Видалення солей некарбонатної жорсткості відбувається наступним чином:



Далі  $\text{MgCO}_3$  реагує з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з утворенням  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Повністю усунути жорсткість цим методом не вдається через деяку розчинність  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , тому він застосовується лише для відносно неглибокого пом'якшення (до 1.4-1.8 мг-екв/л). При застосуванні підігріву і введенні деякого надлишку реагентів (10-20%) кінцева жорсткість може бути знижена до 0.35-1 мг-екв/л.

Хімічні методи, які застосовуються в даний час в теплоенергетиці для очищення природних і стічних вод при певних перевагах мають і спільний недолік - велика витрата хімічних реагентів і, як наслідок, збільшення обсягів мінералізованих стоків.

Процес обробки води на Na-катионітових фільтрах складається з наступних послідовних операцій:

1. фільтрування води через шар катионіту у фільтрах першого або другого ступеню до моменту досягнення гранично допустимої жорсткості фільтрату (швидкість фільтрування в межах 10-25 м/год);

2. розпушування шару катионіту висхідним потоком води;

3. скид водної подушки на катионіт щоб уникнути розбавлення регенеруючого розчину;

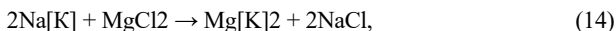
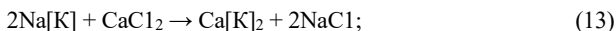
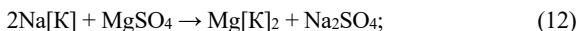
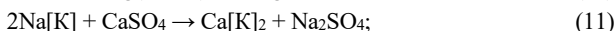
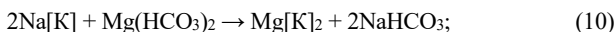
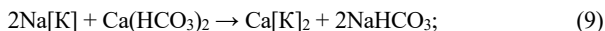
4. регенерація катионіту фільтруванням через нього розчину повареної солі (швидкість фільтрування 3-5 м/год);

5. відмивання катионіту.

Для цілей пом'якшення використовуються катионіти природного і штучного походження, що мають здатність обмінювати катіони натрію або водню на катіони жорсткості, які містяться у воді. До катионіту штучного походження відносяться глауконіт, сульфовуглі, катионіти КУ-1, КУ-2, КУ-23 та інші імпортного виробництва. Процес Na-катионування може бути як одноступеневим, так і двохступеневим. Сутність цієї технології полягає в тому, що вода послідовно проходить через одну або дві ступені катионіту, що містить у ролі обмінних іонів катіони натрію.

При фільтруванні жорсткої води через шар катионіту іони кальцію, магнію та інші катіони поглинаються катионітом, за рахунок іонного обміну, а замість них в розчин переходять іони натрію, які раніше містилися в катионіті.

При Na-катионуванні відбуваються реакції взаємодії зарядженого Na-катионіту з наступними солями, що містяться у вихідній воді:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  і ін;

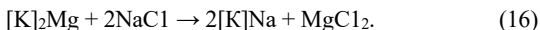
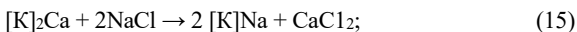


де  $[\text{K}]$  – радикал катионіту, складного нерозчинного у воді високомолекулярного з'єднання.

В процесі експлуатації катионіт, поступово насичуючись катіонами кальцію і магнію, втрачає здатність пом'якшувати воду, що призводить до проскоку іонів жорсткості до фільтрату. Це виснаження катионіту відбувається пошарово. Спочатку насичуються іонами кальцію і магнію верхні шари катионіту, втрачаючи при цьому свою поглинальну здатність. Далі катіонами  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  насичуються наступні шари. Таким чином, процес пом'якшення поступово переходить до нижньої частини фільтра, а через верхній шар виснаженого катионіту жорстка вода проходить майже без змін хімічного складу. Як тільки нижня границя «зони пом'якшення» збігається з нижньою границею завантаження катионітового матеріалу, в зм'якшеній воді починає підвищуватися жорсткість внаслідок проскоку катіонів жорсткості (понад 200 мкг-екв/л - на фільтрах 1-го ступеню і 500 мкг-екв/л - на 2-го ступеня). Na-катионіт виснажився, і для відновлення іонообмінної здатності, його потрібно регенерувати.

Після виснаження обмінної ємності катионітових фільтрів виконують регенерацію катионіту. Регенерація виснаженого Na-катионіту здійснюється шляхом пропуску

розчину повареної солі через шар катіоніту для відновлення катіонів натрію. При цьому внаслідок великої концентрації іонів  $\text{Na}^+$  в регенераційному розчині, вони витісняють з катіоніту раніше поглинені ім іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . При цьому іони  $\text{Ca}$  і  $\text{Mg}$ , поглинені при пом'якшенні води, вимиваються і переходять в промивну воду, іони  $\text{Na}$  відновлюються в катіонообмінному матеріалі (при використанні  $\text{Na}$  - катіонування). При цьому протікають такі реакції:



Регенерацію іонообмінних фільтрів проводять зазвичай за протитечійною схемою. При цьому оброблювана вода і регенераційний розчин рухаються в протилежних напрямках, внаслідок чого при фільтруванні вихідна вода спочатку стикається з неповністю відрегенованим іонітом і виснажує його, а потім на виході з фільтру контактує з глибоко відрегенованим іонітом, що практично повністю поглинає з води залишки сорбуємих іонів і забезпечує високу якість фільтрату.

Розпушення маси катіоніту забезпечує вільний доступ регенераційного розчину до зерен катіоніту. Крім того, при розпушенні здійснюється видалення з фільтру накопичених у шарі катіоніту завислих речовин. Після розпушування на фільтр подається регенераційний розчин ( $\text{NaCl}$ ). Регенерація відбувається на протязі 20-30 хвилин. Після цього здійснюють відмивання фільтру від продуктів регенерації. Для проведення операції відмивання  $\text{Na}$ -катіонітового фільтра потік води пропускають в напрямку робочого потоку (зверху вниз). При цьому відмивання фільтрів 1-го ступеня проводять освітленою водою після механічних фільтрів, а 2-го ступеня пом'якшеною водою після фільтрів 1-го ступеня.

Таким чином утворюються елюати, в складі яких в основному присутні іони магнію та кальцію а також залишкового натрію. Жорсткість обробленої води при катіонітовому пом'якшенні практично близька до нуля (0,01-0,02 мг-екв/л), рН та лужність залишаються без змін. При необхідності зменшити лужність води застосовують часткове пом'якшення води вапнуванням з наступним  $\text{Na}$ -катіонуванням;  $\text{Na}$ -катіонування з підкисленням пом'якшеної води сірчаною кислотою і, нарешті,  $\text{H}$ - $\text{Na}$ -катіонування. Змішуючи кислий фільтрат після  $\text{H}$ -катіонітових фільтрів з фільтратом після  $\text{Na}$ -катіонітових, можна отримати пом'якшену воду з різною лужністю.

Вибір того чи іншого методу видалення солей жорсткості визначається якістю вихідної води, необхідною глибиною зм'якшування і техніко-економічними міркуваннями. У процесі  $\text{Na}$ -катіонування замість кальцієвих і магнієвих солей в оброблюваній воді утворюється еквівалентна кількість добре розчинних натрієвих солей. Карбонатна жорсткість вихідної води замінюється у фільтраті на еквівалентну кількість бікарбонату натрію; лужність води при  $\text{Na}$ -катіонуванні не змінюється; величина рН фільтрату збільшується в порівнянні з вихідною водою за рахунок заміни  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  на  $\text{Na}^+$  - більш лужний катіон. Загальний солевміст  $\text{Na}$ -катіонованої води збільшується в порівнянні з вихідною водою за рахунок обміну катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  на  $\text{Na}^+$  і визначається за формулою:

$$\text{SNa} = \text{Sv.v.} + 2.96 \text{ ЖCa} + 10.84 \text{ ЖMg}, \quad (17)$$

де  $\text{SNa}$  – загальний солевміст натрій-катіонованої води, мг/л;  $\text{ЖCa}$  – кальцієва жорсткість вихідної води, мг-екв/л;  $\text{ЖMg}$  – магнієва жорсткість вихідної води, мг-екв/л.

Промивні води механічних фільтрів забруднені завислими речовинами. Витрата стічних вод цієї категорії становить 5% від виробничої потужності фільтрів. Ці стічні води без попереднього очищення направляють в голову очисних споруд.

Стічні води від розпушування натрій-катіонітних фільтрів першого ступеню характеризуються такими даними: концентрація зважених речовин коливається у межах від 400 мг/л (початок розпушування) до 20 мг/л (завершальна частина розпушування). Стічні води від розпушування натрій-катіонітних фільтрів другого ступеню – концентрація завислих речовин коливається від 1500 мг/л (початок розпушування) до 50 мг/л (закінчення розпушування).

Стічні води від відмивання Na-катіонітних фільтрів першого та другого ступенів поділяють на дві частини:

- перша частина – перші 20 хв (солі гіркоти), тобто вода, насичена хлористими сполуками кальцію і магнію. Ці стічні води скидаються в каналізацію.
- друга частина – залишкова порція фільтрату, що спрямовується на повторне використання для розпушування.

Концентрація хлоридів по мірі відмивання зростає, досягаючи максимуму на 8-12 хвилини. Потім концентрація хлоридів поступово знижується, досягаючи мінімуму до кінця відмивання (на першому ступені Na-катіонітних фільтрів 150-200 мг/л, на другому 85-90 мг/л). Максимальна величина жорсткості в відмивній воді спостерігається на 5-7 хвилини (950-1000 мг-екв/л на 1-ї ступені і 200-220 мг-екв/л – на 2-му ступеню Na-катіонування).

**Висновки.** Встановлені дві різні групи забруднювачів води, при її використанні в виробничому циклі підприємств теплоенергетики. Встановлено закономірності кількісної та якісної зміни хімічного складу води на різних стадіях її обробки та використання в якості живильної води парових генераторів. Визначено основні параметри роботи замкнутого контуру циркуляції промивної води Na-катіонітних фільтрів, яка забруднена солями жорсткості та хлоридами.

#### *Список літератури:*

1. Долінський А.А., Ободович О.М., Сидоренко В.В., Лимар А.Ю. Особливості очищення води для котельних. *Теплофізика та теплоенергетика*, 2021, 43 (4), 17-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/tpe.4.2021.2>
2. Shokri A., Fard M.S. Principles, operational challenges, and perspectives in boiler feedwater treatment process. *Environmental Advances*. 2023. Vol. 13: 100389. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100389>
3. Технології захисту навколишнього середовища: навч. підруч. / Т.М. Ткаченко, О.С. Волошкіна, І.Б. Кордуба [та ін.]. Київ, КНУБА, 2024. 321 с.
4. Кульський Л.А., Строкач П.П. Технологія очистки природних вод. 2-е вид., перероб. и доп. К.: Вища шк., 1986. 352 с.
5. Корчуганова О.М., Чумак В.О., Пригородов П.В., Канарова К.І. Методи та відходи процесів водопідготовки промислових підприємств. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 5. С. 61-65.
6. A Parsons S. The effect of domestic ion-exchange water softeners on the microbiological quality of drinking water. *Water Research*, 2000, Vol. 34, Issue 8, pp. 2369-2375. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00407-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00407-8)
7. Айрапетян Т.С., Чуб І.М. Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики з використанням Na-катіонітних фільтрів: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2024. 151 с.

8. Inyang U., Olughu Ch. The importance of boiler feed water and its treatment in a chemical plant. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2025. 27. 1624-1632. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.27.1.2705>.

9. Shah Ya.T. *Water for Energy and Fuel Production*. CRC Press, 2014. 440 p. <https://doi.org/10.1201/b16904>

10. The Water Knowledge Hub. URL: <https://gwpo-gwp.org/knowledge/water-knowledge-hub/> (дата звернення 10.12.2025)

11. Толстопалова Н.М., Обушенко Т.І., Сангінова О.В. Теоретичні основи хімії та технології водопідготовки: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 256 с.

12. Шаблій Т.О. Розробка комплексної технології стабілізаційної обробки води для водооборотних систем охолодження: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.21. К.: ІКХХВ ім. А.В.Думанського, 2001. 19 с.

13. Терновцев В.О., Зоря О.В. Зміна концентрації солей у процесі регенерації іонообмінних фільтрів. *Екологічна безпека та природокористування*, 2012. Вип. 11. С. 95-100.

**Oleksiy TERNOVTSEV, Janina PIEKUTIN**

***Analysis of the chemical composition and main sources of wastewater formation that occur in the process of chemical water preparation at heat power plants***

*The article, based on the analysis of literary and other sources, as well as laboratory studies of the chemical composition of water, provides an analysis of the chemical composition and main sources of wastewater formation obtained in the process of chemical water treatment at some heat and power enterprises. Wastewater from heat and power industries, in particular from chemical water treatment plants, contains a significant amount of salts, suspended solids and other mineral and sometimes organic impurities. Such water is usually discharged into the sewerage network and water bodies almost without treatment.*

*The main volume of chemically contaminated wastewater formed in the process of chemical water treatment is wastewater from ion-exchange softening and desalination plants. Environmental protection from wastewater pollution and rational use of water resources are one of the most important tasks. To solve this problem, closed water supply systems of industrial enterprises are gaining more and more attention, which completely exclude the discharge of wastewater into water bodies (non-drainage systems).*

*The creation of closed, and especially drainless, environmentally friendly return water supply systems for heat and power enterprises is a very urgent task for both Ukraine and other countries experiencing a shortage of fresh water.*

*The article provides up-to-date initial data on the sources of formation and quality of wastewater from energy and power-generating facilities for future development and implementation of methods and technological solutions during the reconstruction or design of such enterprises. The development of new methods for the regeneration of solutions will reduce the financial costs of regenerating ion-exchange filters, significantly increase the volume of water in a closed cycle and approach the creation of a drainless enterprise. In this way, it is possible to improve the ecological situation in the area of the enterprise that uses a closed drainless recycling scheme.*

**Keywords: wastewater, purification effect, softening, desalination, ion-exchange plants.**

Дата надходження статті: 19.01.2026

Дата прийняття статті: 25.02.2026